

## Exercice : Calcul des délais dans une réseau

L'objectif principal de cet exercice est de comprendre le calcul du délai de bout en bout d'un message (délai de transfert) dans un réseau en termes de :

- **délai de transmission** : nombre de bits à la couche physique du message/débit de la carte réseau
- **délai de propagation** : distance entre émetteur et récepteur/vitesse de la propagation du signal ( $2/3$  de la vitesse de la lumière  $c$ )
- **délai de traitement** (appelé aussi latence) dans un nœud : correspond au temps de traitement du message, dépend de la capacité du traitement du nœud (puissance CPU), temps souvent borné et donné par le fournisseur de l'équipement
- **délai d'attente** (ou de bufferisation) chaque fois une file d'attente se forme (dans les nœuds où la capacité de stockage, i.e., mémoire se présente) : dépend de la charge du nœud, de la politique d'ordonnancement des messages dans le nœud, délai souvent aléatoire mais peut être borné si l'on dispose d'une connaissance suffisante sur le trafic entrant dans le nœud.

On considère un réseau en étoile.  $N$  stations  $S_i$  sont reliées à une station centrale SC. Les distances  $S_i - SC$  sont de  $D$  km. Le débit de la carte réseau est de  $B$  bit/s, la vitesse de propagation de  $v = 2c/3$ . Les trames physiques sont de longueur  $L$  bits. On suppose qu'un message est toujours envoyé (ou encapsulé) dans une trame physique (c'est à dire qu'il n'y a jamais lieu la segmentation/ré-assemblage du message).

### Cas 1 : Hub

La station SC est un HUB de  $B$  bit/s et le protocole MAC des cartes réseaux des autres stations est CSMA/CD d'Ethernet.

#### Question 1.1

Représenter le transfert d'une trame entre deux stations  $S_i$  et  $S_j$  en passant par SC sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

#### Question 1.2

Si seule la station  $S_i$  envoie une trame vers  $S_j$ , quel est le délai de propagation entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quels sont les délais de transmission et de transfert d'une PDU physique de  $L$  bits ? Applications numériques dans une feuille Excel: pour  $D = 0,1$  km (paire torsadée) et 2 km (fibre optique),  $B = 10$  Mbit/s et 100 Mbit/s et  $L = 1$  bit, 96 bits, 64+8 octets et 1518+8 octets.

#### Question 1.3

Si plusieurs stations émettent des trames en même temps que la station  $S_i$ , quel sera le délai de transfert de  $S_i$  à  $S_j$  ? Ce délai est-il borné ? Un échec d'envoi est-il signalé à l'émetteur ?

### Cas 2 : Commutateur de circuit

La station SC établit une liaison directe entre  $S_i$  et  $S_j$  sans retard pour les PDU au passage dans SC. On est dans le cas de la commutation de circuits utilisée dans le téléphone. La liaison est bidirectionnelle à l'alternat (half-duplex). On n'étudie pas le mécanisme d'établissement de la connexion.

#### Question 2.1

Quel est le délai de propagation entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quels sont les délais de transmission et de transfert d'une PDU physique de  $L$  bits ?

Quel est le throughput d'une telle liaison ? Quel est le throughput du réseau complet ?

Application numérique

$D=10\text{km}$ ,  $L=50$  octets,  $B=10\text{Mbit/s}$ ,  $N=10$  stations

Si on considère IFG d'Ethernet, quelle est la fréquence maximale d'émission des PDU de 64 octets en 10Mbit/s ?

Question 2.2

On considère maintenant un protocole de couche liaison entre  $S_i$  et  $S_j$  qui impose au récepteur d'acquiescer positivement ou négativement toute PDU utile émise par l'émetteur. La liaison est à l'alternat (half-duplex). L'acquiescement est une PDU de  $L_{acq}$  bits. Les stations ont un temps de retournement noté  $T_{retour}$ . On rappelle que c'est le temps nécessaire pour une station de passer de l'état de réception à celui d'émission. On suppose qu'il n'y a ni erreur ni perte de PDU. Les informations de contrôle des couches liaison et physiques représentent 10 octets.

Question 2.2.1

Quelle est la fréquence maximale d'émission des PDU utiles ?

Quel est le throughput d'une telle liaison ?

Question 2.2.2 Application numérique

$L_{utile}=40$  octets ( $L = 40+10 = 50$  octets),  $L_{acq}=100$  bits (y compris l'en-tête de 10 octets),  $T_{retour} = 35 \mu\text{s}$

Question 2.2.3

On considère maintenant un protocole à anticipation de  $n$  PDU avec un délai intertrame (IFG) noté  $T_{in}$ , et on suppose toujours qu'il n'y a ni erreur ni perte. Le temps intertrame est le temps qui sépare l'émission du dernier bit d'une trame de celle du premier bit de la trame suivante. Quel est le throughput d'une telle liaison ?

Question 2.2.4 Application numérique

Mêmes valeurs que précédemment avec  $T_{in} = 10\mu\text{s}$ ,  $n=2$  puis 3 PDU

Question 2.3

La station SC peut établir un maximum de  $K$  liaisons simultanées. Que se passe-t-il si le nombre de stations est  $>2K$  ?

**Cas 3 : Commutateur de paquets**

La station SC est un commutateur Ethernet. Elle reçoit des MAC-PDU d'une station  $S_i$ , les stocke, analyse l'adresse de destination et réémet la PDU vers la station destinataire. On considère le délai de traitement pour transiter une PDU égal à  $T_r$ . Chaque station  $S_i$  peut établir une connexion logique de niveau liaison avec une autre station  $S_j$ . On ne considère pas l'établissement de la connexion.

**Cas 3.1 : « store and forward » avec peu de trafic**

SC est en mode « store and forward ». On suppose qu'il n'y a pas de formation de file d'attente (pas de temps d'attente) à l'émission d'une PDU par SC quand il y a peu de trafic (une PDU arrive dans une file vide avec une très grande probabilité).

Question 3.1.1

Représenter le transfert d'une PDU entre deux stations  $S_i$  et  $S_j$  sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

### Question 3.1.2

Quel est le délai de transfert entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quel est le retard introduit par SC par rapport à la question ? Quel est alors le throughput d'une telle liaison dans le cas où chaque PDU est acquittée séparément ?

### Question 3.1.3

Quel est le throughput dans le cas d'un protocole de liaison avec anticipation de  $N$  PDUs ?

### Question 3.1.4 Application numérique

On prend les mêmes valeurs que précédemment avec un temps  $T_r$  de traitement égal à 40 microsecondes,  $N = 2$  PDU puis  $N = 3$  PDU.

## **Cas 3.2 : « cut-through » avec peu de trafic**

On suppose que le médium est fiable (plus besoin de vérifier CRC dans SC) et on configure SC est en mode « cut-through » pour accélérer le transit des PDU. On note  $T_{ad}$  le temps de transmission du début jusqu'à la fin du champ d'adresse de destination d'une PDU. On suppose qu'il n'y a pas de formation de file d'attente (pas de temps d'attente) à l'émission d'une PDU par SC quand il y a peu de trafic (une PDU arrive dans une file vide avec une très grande probabilité).

### Question 3.2.1

Représenter le transfert d'une PDU entre deux stations  $S_i$  et  $S_j$  sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

### Question 3.2.2

Quel est le délai de transfert entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quel est le retard introduit par SC par rapport à la question ? Quel est alors le throughput d'une telle liaison dans le cas où chaque PDU est acquittée séparément ?

### Question 3.2.3

Quel est le throughput dans le cas d'un protocole de liaison avec anticipation de  $N$  PDUs ?

### Question 3.2.4 Application numérique

On prend les mêmes valeurs que précédemment avec un temps  $T_r$  de traitement égal à 40 microsecondes,  $N = 2$  PDU puis  $N = 3$  PDU. On suppose que l'adresse de destination est à la fin de l'en-tête de la MAC-PDU (10 octets)

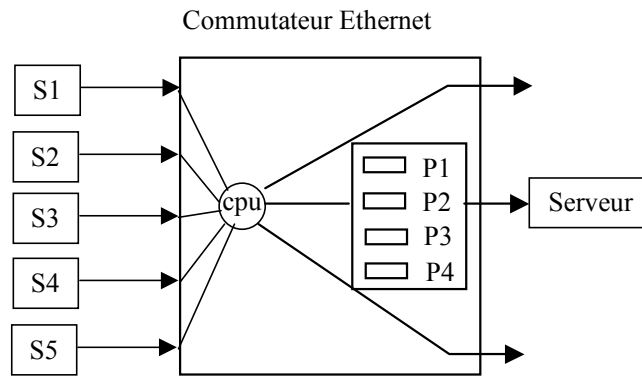
### Question 3.2.5

Pour qu'il n'y ait pas de rejet comme dans le cas de Question 2.3 du cas 2, on doit bufferiser les PDU entrant dans SC. Pourquoi préfère-t-on d'implémenter buffer de sortie au buffer à l'entrée ?

## **Cas 3.3 : « store and forward » avec file d'attente**

On considère SC comme un commutateur Ethernet avec buffers de sortie et fonctionner en mode « store and forward ». Quand il y a beaucoup de trafic ou quand plusieurs PDU se dirigent vers la même destination (même buffer de sortie), le temps d'attente dans la file d'attente n'est plus négligeable.

Supposons que 5 stations envoient périodiquement des trames Ethernet de taille de  $L = 1250$  octets vers un serveur avec des périodes  $T_1 = 2\text{ms}$ ,  $T_2 = 5\text{ms}$ ,  $T_3 = 5\text{ms}$ ,  $T_4 = 30\text{ms}$  et  $T_5 = 30\text{ms}$ .



Les trames envoyées par S1 est de priorité 1, par S2 est de priorité 2, par S3 est de priorité 3, par S4 est de priorité 4 et par S5 est de priorité 5. Tous les ports du commutateur sont à 10Mbit/s. On suppose que notre commutateur ne gère que 4 files d'attente de 4 priorités différentes (P1, P2, P3, P4) par port de sortie. Les priorités les plus faibles (4 et 5) vont partager la même file de priorité la plus faible P4.

Question 3.3.1

Calculer le pire temps d'attente  $R_m$  dans le buffer de sortie pour des trames de priorité  $m = 2$  et 3

Question 3.3.2

Calculer le pire délai de transfert (délai de bout en bout) pour des trames de priorité  $m = 2$  et 3.

## Corrigé de l'Exercice : Calcul des délais dans une réseau

On considère un réseau en étoile.  $N$  stations  $S_i$  sont reliées à une station centrale SC. Les distances  $S_i - SC$  sont de  $D$  km. Le débit de la carte réseau est de  $B$  bit/s, la vitesse de propagation de  $v = 2c/3$ . Les trames physiques sont de longueur  $L$  bits. On suppose qu'un message est toujours envoyé (ou encapsulé) dans une trame physique (c'est à dire qu'il n'y a jamais lieu la segmentation/ré-assemblage du message).

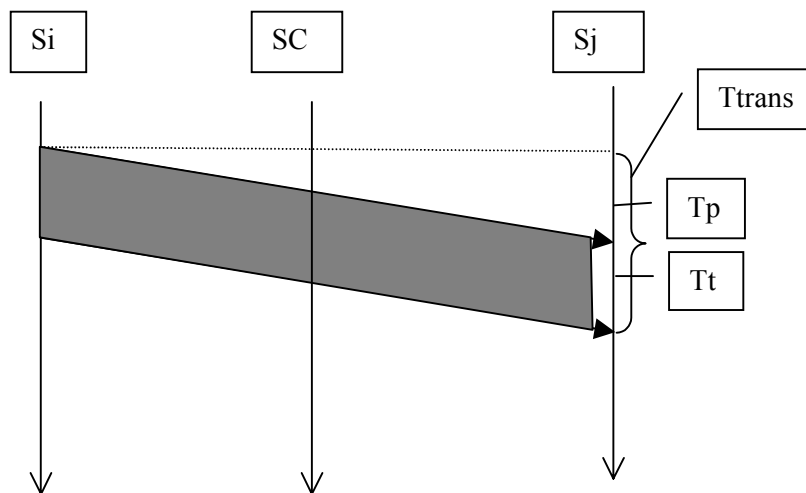
### Cas 1 : Hub

La station SC est un HUB de  $B$  bit/s et le protocole MAC des cartes réseaux des autres stations est CSMA/CD d'Ethernet.

#### Question 1.1

Représenter le transfert d'une trame entre deux stations  $S_i$  et  $S_j$  en passant par SC sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

Corrigé :



#### Question 1.2

Si seule la station  $S_i$  envoie une trame vers  $S_j$ , quel est le délai de propagation entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quels sont les délais de transmission et de transfert d'une PDU physique de  $L$  bits ? Applications numériques dans une feuille Excel: pour  $D = 0,1$  km (paire torsadée) et 2 km (fibre optique),  $B = 10$  Mbit/s et 100 Mbit/s et  $L = 1$  bit, 96 bits, 64+8 octets et 1518+8 octets.

Corrigé :

$$T_p = 2 * D / v$$

$$T_t = L / B$$

$$T_{trans} = T_p + T_t$$

D	B (Mbps)	L	Tp (µs)	Tt (µs)	Ttrans (µs)
0,1	10	1	1	0,1	1,1
0,1	10	96	1	9,6	10,6
0,1	10	576	1	57,6	58,6
0,1	10	12208	1	1220,8	1221,8
0,1	100	1	1	0,01	1,01
0,1	100	96	1	0,96	1,96
0,1	100	576	1	5,76	6,76
0,1	100	12208	1	122,08	123,08
2	10	1	20	0,1	20,1
2	10	96	20	9,6	29,6
2	10	576	20	57,6	77,6
2	10	12208	20	1220,8	1240,8
2	100	1	20	0,01	20,01
2	100	96	20	0,96	20,96
2	100	576	20	5,76	25,76
2	100	12208	20	122,08	142,08

**Remarque :** Le slot time 512 temps bit (bit time) correspond au temps de transmission de 64 octets (taille minimale de trame Ethernet). Mais pour transmettre une telle trame,  $Tt = L/B = (64+8)/B$ .

### Question 1.3

Si plusieurs stations émettent des trames en même temps que la station Si, quel sera le délai de transfert de Si à Sj ? Ce délai est-il borné ? Un échec d'envoi est-il signalé à l'émetteur ?

### Corrigé :

Ce délai sera aléatoire à cause des collisions possibles. Mais avec BEB (Binary Exponential Back-off) du protocole CSMA/CD, le nombre maximal de collision est 16 au-delà duquel un échec d'envoi est signalé à l'émetteur.

Selon BEB, le délai avant réémission est choisi dans l'intervalle  $[0, 2^n[ * \text{slot\_time}$ , avec  $n = 10$  après le 10<sup>ème</sup> tentative. Le tableau suivant donne la borne de délai supplémentaire à ajouter pour obtenir le Ttrans. Notons que le « slot time » est 512 bit time (soit 51,2 µs pour 10Mbps).

N° tentative	n	délai min (slot)	délai max (slot)	délai max cumulé (slot)	délai max cumulé (ms)
1	1	0	1	1	0,0512
2	2	0	3	4	0,2048
3	3	0	7	11	0,5632
4	4	0	15	26	1,3312
5	5	0	31	57	2,9184
6	6	0	63	120	6,144
7	7	0	127	247	12,6464
8	8	0	255	502	25,7024
9	9	0	511	1013	51,8656
10	10	0	1023	2036	104,2432
11	10	0	1023	3059	156,6208

12	10	0	1023	<b>4082</b>	208,9984
13	10	0	1023	<b>5105</b>	261,376
14	10	0	1023	<b>6128</b>	313,7536
15	10	0	1023	<b>7151</b>	366,1312
16	10	0	1023	<b>8174</b>	418,5088

## Cas 2 : Commutateur de circuit

La station SC établit une liaison directe entre Si et Sj sans retard pour les PDU au passage dans SC. On est dans le cas de la commutation de circuits utilisée dans le téléphone. La liaison est bidirectionnelle à l'alternat (half-duplex). On n'étudie pas le mécanisme d'établissement de la connexion.

### Question 2.1

Quel est le délai de propagation entre Si et Sj ? Quels sont les délais de transmission et de transfert d'une PDU physique de L bits ?

Quel est le throughput d'une telle liaison ? Quel est le throughput du réseau complet ?

### Application numérique

D=10km, L=50 octets, B=10Mbit/s, N=10 stations

Si on considère IFG d'Ethernet, quelle est la fréquence maximale d'émission des PDU de 64 octets en 10Mbit/s ?

### **Corrigé :**

$$T_p = 2 * D / v$$

$$T_t = L / B$$

$$T_{trans} = T_p + T_t$$

$$Th_l = L / T_{trans}$$

$$Th_{réseau} = N / 2 * Th_l$$

On note qu'en cas de full-duplex,  $Th_{réseau} = N * Th_l$

$$T_p = 2 * D / v = 2 * 10^4 / 2.10^8 = 10^{-4} s = 100 \mu s$$

$$T_t = L / B = 400 / 10^7 = 40 \mu s$$

$$T_{trans} = T_p + T_t = 140 \mu s$$

$$Th_l = L / T_{trans} = 400 / 140.10^{-6} = 40 / 14 * 10^6 \approx 3 Mbit / s$$

$$Th_{réseau} \approx 15 Mbit / s$$

$$F_{max} = B / (L + IFG)$$

$$= 10 * 10^6 / [(64 + 8) * 8 + 96] = 14880 pps$$

### Question 2.2

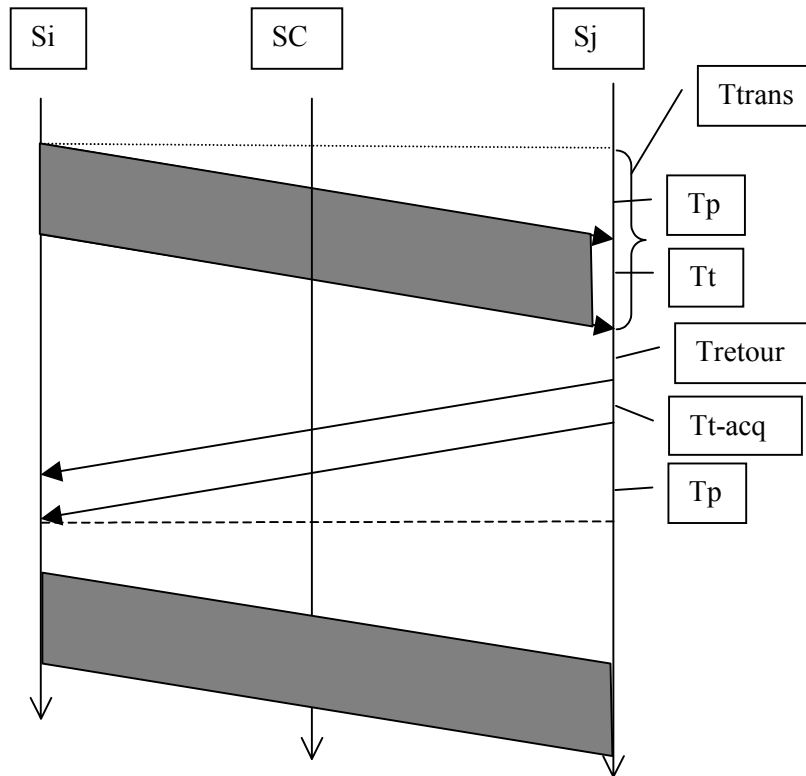
On considère maintenant un protocole de couche liaison entre Si et Sj qui impose au récepteur d'acquiescer positivement ou négativement toute PDU utile émise par l'émetteur. La liaison est à l'alternat (half-duplex). L'acquiescement est une PDU de  $L_{acq}$  bits. Les stations ont un temps de retournement noté  $T_{retour}$ . On rappelle que c'est le temps nécessaire pour une station de passer de l'état de réception à celui d'émission.

On suppose qu'il n'y a ni erreur ni perte de PDU. Les informations de contrôle des couches liaison et physiques représentent 10 octets.

Question 2.2.1

Quelle est la fréquence maximale d'émission des PDU utiles ?  
 Quel est le throughput d'une telle liaison ?

**Corrigé :**



Le temps de transfert d'un acquittement est  $T_{trans-acq} = T_p + T_{t-acq}$

La période minimale d'émission d'une PDU utile est alors

$$P = T_{trans} + T_{trans-acq} + 2 * T_{retour}$$

Noter qu'il faut compter deux fois le temps de retournement pour obtenir la période, une fois pour le récepteur de PDU émetteur de l'acquittement, une fois pour l'autre station.

La fréquence est alors  $F_{max} = 1/P$

Le throughput d'une telle liaison est  $Th_{12} = L_{utile}/P$  où  $L_{utile}$  est la longueur de l'information utile transportée par la PDU utile.

Question 2.2.2 Application numérique

$L_{utile} = 40$  octets ( $L = 40 + 10 = 50$  octets),  $L_{acq} = 100$  bits (y compris l'en-tête de 10 octets),  $T_{retour} = 35 \mu s$

**Corrigé :**

$$T_p = 100\mu s$$

$$T_t = 40\mu s$$

$$T_{trans} = T_p + T_t = 140\mu s$$

$$T_{trans-acq} = T_p + \frac{100}{10^7} = 100 + 10 = 110\mu s$$

$$P = T_{trans} + T_{trans-acq} + 2 * T_{retour}$$

$$P = 140 + 110 + 70 = 320\mu s$$

$$Th_{12} = \frac{L_{utile}}{P} = \frac{320}{320 \cdot 10^{-6}} = 1 \text{ Mbit} / s$$

$$F = \frac{1}{P} = \frac{1}{320 \cdot 10^{-6}} = 3125 \text{ PDU} / s$$

### Question 2.2.3

On considère maintenant un protocole à anticipation de n PDU avec un délai intertrame (IFG) noté  $T_{in}$ , et on suppose toujours qu'il n'y a ni erreur ni perte. Le temps intertrame est le temps qui sépare l'émission du dernier bit d'une trame de celle du premier bit de la trame suivante. Quel est le throughput d'une telle liaison ?

**Corrigé :**

Le temps de transfert de n PDU est de

$$T_{trans-mpdu} = T_p + n * T_t + (n-1)T_{in}$$

$$P_2 = T_{trans-mpdu} + T_{trans-acq} + 2 * T_r$$

$$Th_{mpdu} = \frac{L_{utile}}{P_2}$$

NB : On ne compte que le dernier ACK car les autres se déroulent en parallèle avec les n transmissions des PDU.

### Question 2.2.4 Application numérique

Mêmes valeurs que précédemment avec  $T_{in} = 10\mu s$ , n=2 puis 3 PDU

**Corrigé :**

n=2

$$T_p = 100\mu s$$

$$T_t = 40\mu s$$

$$T_{trans-2PDU} = T_p + 2 * T_t + T_{in} = 190\mu s$$

$$T_{trans-acq} = 110\mu s$$

$$P_2 = 190 + 110 + 70 = 370\mu s$$

$$Th_{13} = \frac{L_{utile}}{P_2} = \frac{640}{370 \cdot 10^{-6}} \approx 1,73 \text{ Mbit} / s$$

n=3

$$T_p = 100\mu s$$

$$T_i = 40\mu s$$

$$T_{trans-3PDU} = T_p + 3 * T_i + 2 * T_{in} = 240\mu s$$

$$T_{trans-acq} = 110\mu s$$

$$P2 = 240 + 110 + 70 = 370\mu s$$

$$Th_3 = \frac{L_{utile}}{P_2} = \frac{960}{370.10^{-6}} \approx 2,6 Mbit / s$$

### Question 2.3

La station SC peut établir un maximum de K liaisons simultanées. Que se passe-t-il si le nombre de stations est >2K ?

### **Corrigé :**

Il y aura le rejet des demandes de connexion. Si l'on veut éviter le rejet, il faut implémenter un buffer pour stocker ces demandes. C'est ce qu'un commutateur Ethernet implémente.

Pour éviter la saturation du buffer, on peut implémenter un contrôle de flux (Pause Commande ou Back Pressure d'Ethernet commuté par exemple).

### **Cas 3 : Commutateur de paquets**

La station SC est un commutateur Ethernet. Elle reçoit des MAC-PDU d'une station Si, les stocke, analyse l'adresse de destination et réémet la PDU vers la station destinataire. On considère le délai de traitement pour transiter une PDU égal à Tr. Chaque station Si peut établir une connexion logique de niveau liaison avec une autre station Sj. On ne considère pas l'établissement de la connexion.

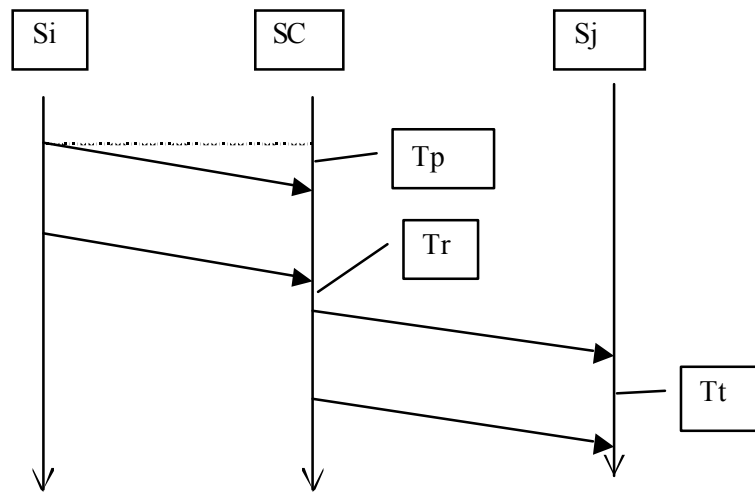
### **Cas 3.1 : « store and forward » avec peu de trafic**

SC est en mode « store and forward ». On suppose qu'il n'y a pas de formation de file d'attente (pas de temps d'attente) à l'émission d'une PDU par SC quand il y a peu de trafic (une PDU arrive dans une file vide avec une très grande probabilité).

### Question 3.1.1

Représenter le transfert d'une PDU entre deux stations Si et Sj sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

**Corrigé :**



Question 3.1.2

Quel est le délai de transfert entre Si et Sj ? Quel est le retard introduit par SC par rapport à la question ? Quel est alors le throughput d'une telle liaison dans le cas où chaque PDU est acquittée séparément ?

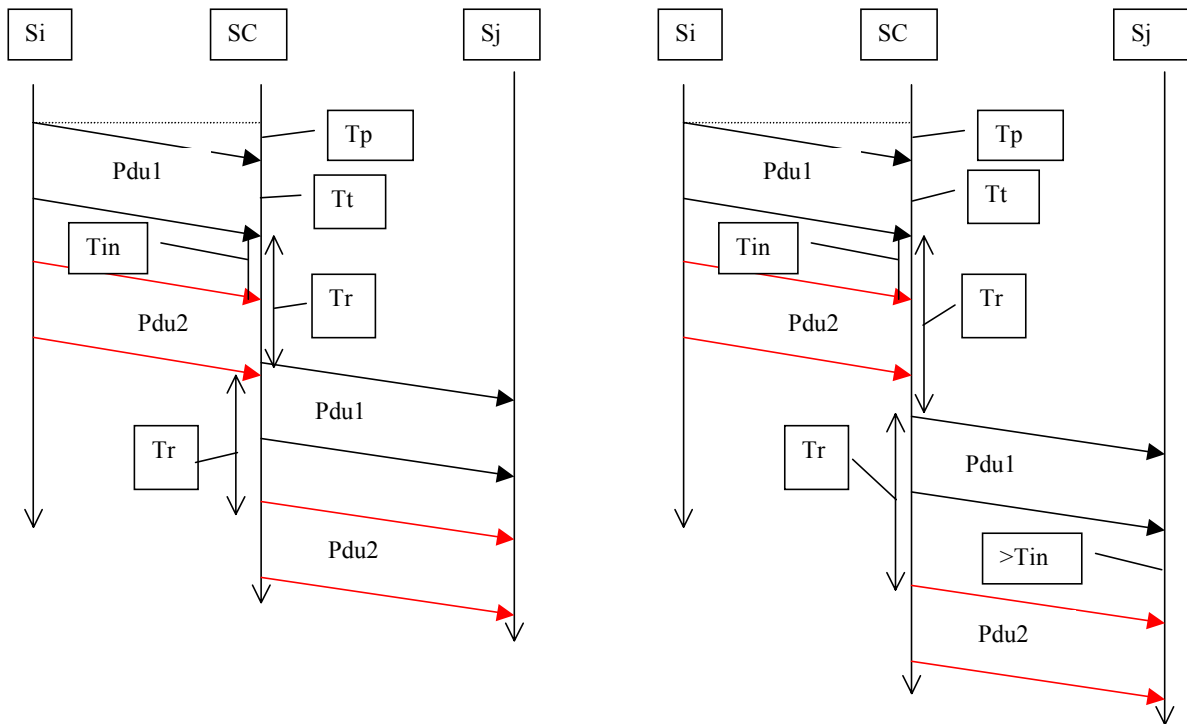
**Corrigé :**

$$\begin{aligned} \text{Délai}_{\text{transf}} &= 2 * T_p + 2 * T_t + T_r \\ \text{délai}_1 &= \frac{L}{B} + \frac{2 * D}{v} \\ \text{retard} &= \text{délai}_{\text{transf}} - \text{délai}_1 \\ \text{retard} &= 2 * \left( \frac{L}{B} + \frac{D}{v} \right) + T_r - \left( \frac{L}{B} + 2 \frac{D}{v} \right) \\ \text{retard} &= \frac{L}{B} + T_r \\ \text{Th1} &= \frac{L_{\text{utile}}}{T_{\text{trans-1PDU}}} \\ T_{\text{trans-1pdu}} &= T_{\text{trans}} + T_{\text{transacq}} + 2 * T_{\text{retour}} \\ T_{\text{trans}} &= 2 * (T_t + T_p) + T_r \\ T_{\text{transacq}} &= 2 * (T_{\text{tacq}} + T_p) + T_r \end{aligned}$$

Question 3.1.3

Quel est le throughput dans le cas d'un protocole de liaison avec anticipation de N PDUs ?

**Corrigé :**



Si  $Tr < (Tt + Tin)$

$$T_{transf-Npdu} = T_{transmN} + (T_r + T_t) + 2 * T_p$$

$$T_{transmN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

Explication :

La technique de « store and forward » conduit à décaler la réémission de la durée d'une transmission d'une trame et du délai  $Tr$ , i.e.,  $(Tt+Tr)$ .

Le temps complet de transmission des trames et du dernier acquittement est donc égal à  $Ttotal$  et le Throughput donné par la formule suivante.

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

NB. On a compté deux fois le temps de retournement pour inclure le temps minimum d'attente pour émettre la PDU suivante.

On note également sur le diagramme que si  $Tr > (Tin + Tt)$ , il y aura la formation de file d'attente des PDU dans SC. Le système ainsi paramétré n'est pas stable et peut conduire à la saturation du buffer. Dans la pratique, un mécanisme de contrôle de flux peut éviter ce problème.

#### Question 3.1.4 Application numérique

On prend les mêmes valeurs que précédemment avec un temps  $Tr$  de traitement égal à 40 microsecondes,  $N = 2$  PDU puis  $N = 3$  PDU.

**Corrigé :**

On vérifie que  $T_r = 40 \mu s$  est bien inférieur à  $(T_t + T_{in}) = 50 \mu s$

$N=2$

$$T_{transf-Npdu} = T_{transmN} + T_r + T_t + 2 * T_p$$

$$T_{transmN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

$$T_{transmN} = 2 * 40 + 1 * 10 = 90 \mu s$$

$$T_{transf-Npdu} = 90 + 40 + 40 + 2 * 50 = 270 \mu s$$

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$T_{trans-acq} = 2T_{t-acq} + 2 * T_p + T_r$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

$$T_{trans-acq} = 2 * T_{t-acq} + 2 * T_p + T_r = 20 + 100 + 40 = 160 \mu s$$

$$T_{total} = 270 + 35 + 160 = 465 \mu s$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}} = \frac{640}{500.10^{-6}} = 1,28 Mbit / s$$

$N=3$

$$T_{transf-Npdu} = T_{transmN} + T_r + T_t + 2 * T_p$$

$$T_{transmN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

$$T_{transmN} = 3 * 40 + 2 * 10 = 140 \mu s$$

$$T_{transf-Npdu} = 140 + 40 + 40 + 2 * 50 = 320 \mu s$$

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$T_{trans-acq} = 2T_{t-acq} + 2 * T_p + T_r$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

$$T_{trans-acq} = 2 * T_{t-acq} + 2 * T_p + T_r = 20 + 100 + 40 = 160 \mu s$$

$$T_{total} = 320 + 35 + 160 = 515 \mu s$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}} = \frac{960}{550.10^{-6}} = 1,75 Mbit / s$$

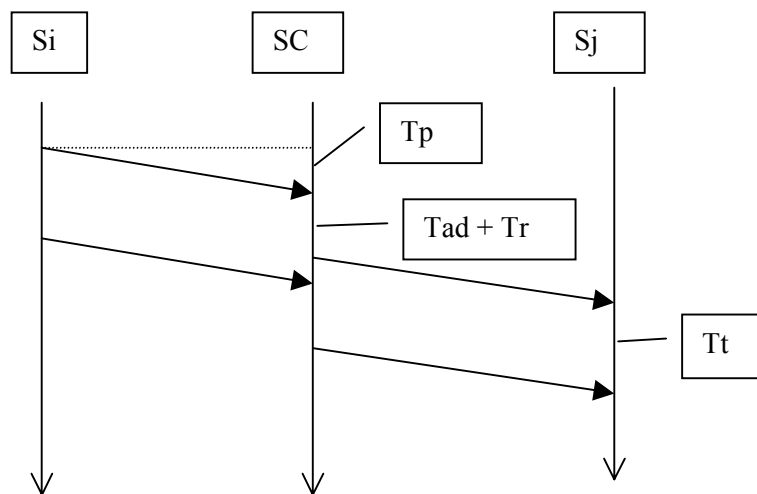
### Cas 3.2 : « cut-through » avec peu de trafic

On suppose que le médium est fiable (plus besoin de vérifier CRC dans SC) et on configure SC est en mode « cut-through » pour accélérer le transit des PDU. On note  $T_{ad}$  le temps de transmission du début jusqu'à la fin du champ d'adresse de destination d'une PDU. On suppose qu'il n'y a pas de formation de file d'attente (pas de temps d'attente) à l'émission d'une PDU par SC quand il y a peu de trafic (une PDU arrive dans une file vide avec une très grande probabilité).

#### Question 3.2.1

Représenter le transfert d'une PDU entre deux stations  $S_i$  et  $S_j$  sur un diagramme spatio-temporel en précisant tous les délais.

**Corrigé :**



NB :  $T_t > T_{ad}$  est toujours vrai. Mais ce mode n'est vraiment intéressant que lors que  $(T_{ad} + T_r) < T_t$ , réalisant ainsi la commutation à la volé.

#### Question 3.2.2

Quel est le délai de transfert entre  $S_i$  et  $S_j$  ? Quel est le retard introduit par SC par rapport à la question ? Quel est alors le throughput d'une telle liaison dans le cas où chaque PDU est acquittée séparément ?

**Corrigé :**

$$\begin{aligned} \text{Délai}_{\text{transf}} &= T_p + T_{ad} + T_r + T_p + T_t \\ \text{délai}_1 &= \frac{L}{B} + \frac{2 * D}{v} \\ \text{retard} &= \text{délai}_{\text{transf}} - \text{délai}_1 \\ \text{retard} &= \left( \frac{L}{B} + 2 \frac{D}{v} \right) + T_{ad} + T_r - \left( \frac{L}{B} + 2 \frac{D}{v} \right) \\ \text{retard} &= T_{ad} + T_r < \frac{L}{B} + T_r \end{aligned}$$

$$Th1 = \frac{L_{utile}}{T_{trans-1PDU}}$$

$$T_{trans-1pdu} = T_{trans} + T_{transacq} + 2 * T_{retour}$$

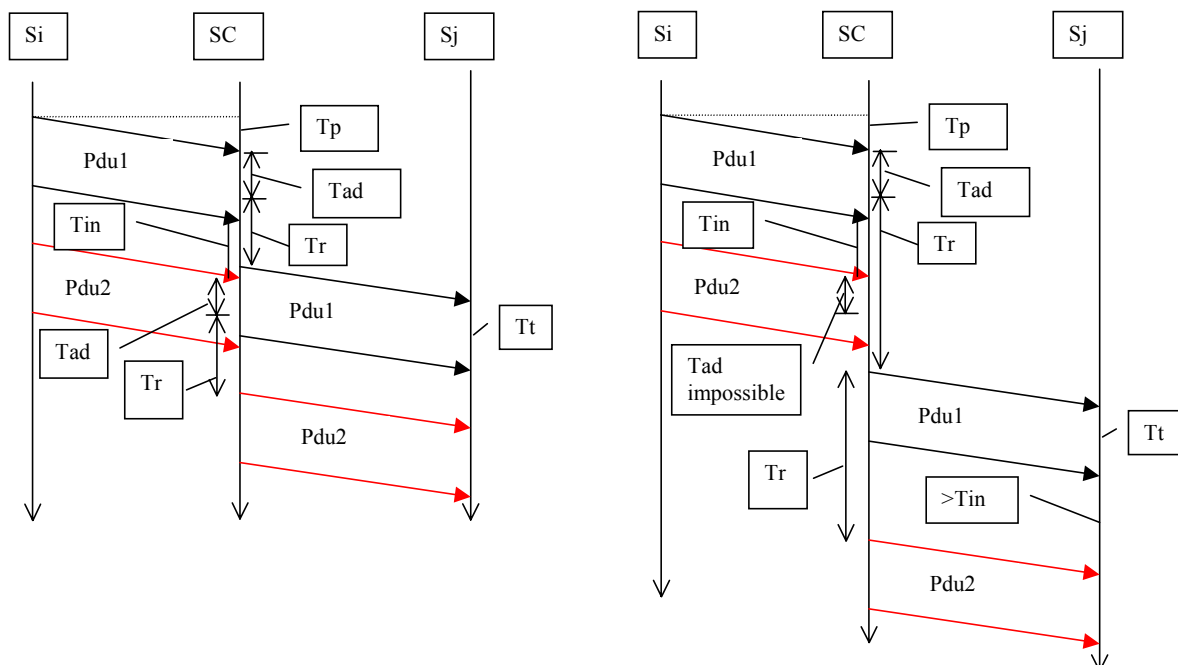
$$T_{trans} = T_t + 2T_p + T_{ad} + T_r$$

$$T_{transacq} = T_{tacq} + 2T_p + T_{ad} + T_r$$

### Question 3.2.3

Quel est le throughput dans le cas d'un protocole de liaison avec anticipation de N PDUs ?

Corrigé :



Si  $(T_{ad} + T_r) < (T_t + T_{in})$

$$T_{trans-Npdu} = T_{transN} + (T_r + T_{ad}) + 2 * T_p$$

$$T_{transN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

Sinon

*situation non stable*

Explication

La technique de « cut-through » conduit à décaler la réémission de la durée  $T_{ad} + T_r$ . Mais pour que « cut-through » fonctionne, il faut pas qu'il y ait le cumul des PDU dans SC. La condition est alors que  $(T_{ad} + T_r) < (T_t + T_{in})$  comme on peut voir sur le diagramme. A moins qu'un traitement parallèle soit possible dans SC. Sinon, seule la

première PDU est traitée en mode « cut-through » et les suivantes en mode « store and forward » + délai de bufferisation.

Le temps complet de transmission des trames et de l'acquittement est donc égal à  $T_{total}$  et le Throughput donné par la formule suivante.

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

NB. On a compté deux fois le temps de retournement pour inclure le temps minimum d'attente pour émettre la PDU suivante.

### Question 3.2.4 Application numérique

On prend les mêmes valeurs que précédemment avec un temps  $T_r$  de traitement égal à 40 microsecondes,  $N = 2$  PDU puis  $N = 3$  PDU. On suppose que l'adresse de destination est à la fin de l'en-tête de la MAC-PDU (10 octets)

### **Corrigé :**

On vérifie d'abord si le mode « cut-through » peut fonctionner, i.e. si  $(T_{ad} + T_r) < (T_t + T_{in})$ .

Comme l'en-tête de couches physique et liaison représente 10 octets, avec 10 Mbit/s,  $T_{ad} = 8 \mu s$ . Avec  $T_t = 40 \mu s$ ,  $T_r = 40 \mu s$ ,  $T_{in} = 10 \mu s$  on a bien  $T_{ad} < T_{in}$ . Le mode « cut-through » peut donc fonctionner.

$N=2$

$$T_{transf-Npdu} = T_{transmN} + T_r + T_{ad} + 2 * T_p$$

$$T_{transmN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

$$T_{transmN} = 2 * 40 + 1 * 10 = 90 \mu s$$

$$T_{transf-Npdu} = 90 + 40 + 8 + 2 * 50 = 238 \mu s$$

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$T_{trans-acq} = (T_{t-acq} + T_{ad}) + 2 * T_p + T_r$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

$$T_{trans-acq} = (T_{t-acq} + T_{ad}) + 2 * T_p + T_r = 10 + 8 + 100 + 40 = 158 \mu s$$

$$T_{total} = 238 + 35 + 158 = 431 \mu s$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}} = \frac{640}{466.10^{-6}} = 1,37 Mbit / s$$

$$N=3$$

$$T_{transf-Npdu} = T_{transmN} + T_r + T_{ad} + 2 * T_p$$

$$T_{transmN} = N * T_t + (N - 1) * T_{in}$$

$$T_{transmN} = 3 * 40 + 2 * 10 = 140 \mu s$$

$$T_{transf-Npdu} = 140 + 40 + 8 + 2 * 50 = 288 \mu s$$

$$T_{total} = T_{transf-Npdu} + T_{retour} + T_{trans-acq}$$

$$T_{trans-acq} = (T_{t-acq} + T_{ad}) + 2 * T_p + T_r$$

$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}}$$

$$T_{trans-acq} = (T_{t-acq} + T_{ad}) + 2 * T_p + T_r = 10 + 8 + 100 + 40 = 158 \mu s$$

$$T_{total} = 288 + 35 + 158 = 481 \mu s$$

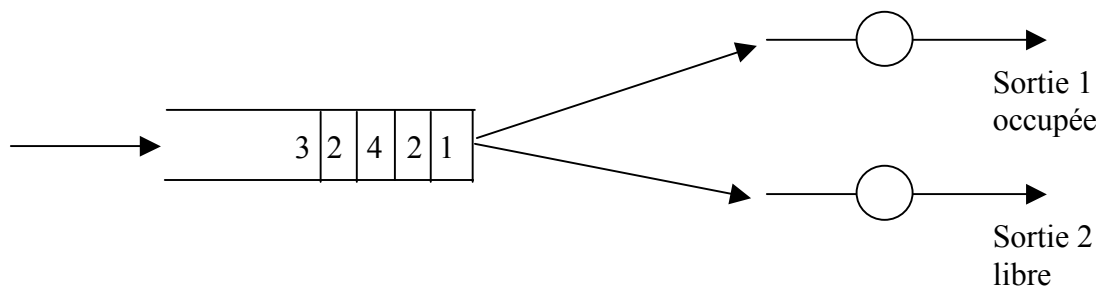
$$Th = \frac{N * L_{utile}}{T_{total} + T_{retour}} = \frac{960}{516.10^{-6}} = 1,86 Mbit / s$$

### Question 3.2.5

Pour qu'il n'y ait pas de rejet comme dans le cas de Question 2.3 du cas 2, on doit bufferiser les PDU entrant dans SC. Pourquoi préfère-t-on d'implémenter buffer de sortie au buffer à l'entrée ?

### **Corrigé :**

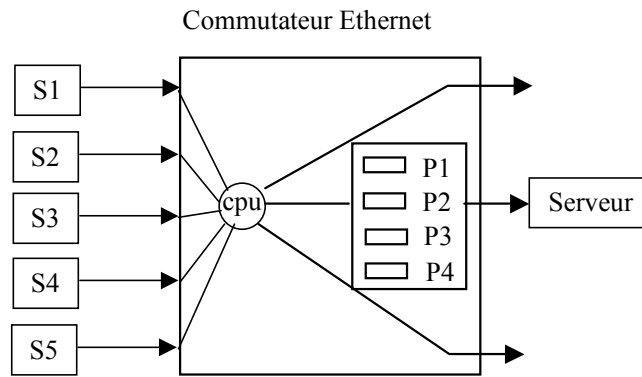
Problème connu sous le nom du blocage HOL (Head Of Line blocking)



### **Cas 3.3 : « store and forward » avec file d'attente**

On considère SC comme un commutateur Ethernet avec buffers de sortie et fonctionner en mode « store and forward ». Quand il y a beaucoup de trafic ou quand plusieurs PDU se dirigent vers la même destination (même buffer de sortie), le temps d'attente dans la file d'attente n'est plus négligeable.

Supposons que 5 stations envoient périodiquement des trames Ethernet de taille de  $L = 1250$  octets vers un serveur avec des périodes  $T_1 = 2ms$ ,  $T_2 = 5ms$ ,  $T_3 = 5ms$ ,  $T_4 = 30ms$  et  $T_5 = 30ms$ .



Les trames envoyées par S1 est de priorité 1, par S2 est de priorité 2, par S3 est de priorité 3, par S4 est de priorité 4 et par S5 est de priorité 5. Tous les ports du commutateur sont à 10Mbit/s. On suppose que notre commutateur ne gère que 4 files d'attente de 4 priorités différentes (P1, P2, P3, P4) par port de sortie. Les priorités les plus faibles (4 et 5) vont partager la même file de priorité la plus faible P4.

Question 3.3.1

Calculer le pire temps d'attente  $R_m$  dans le buffer de sortie pour des trames de priorité  $m = 2$  et 3

**Corrigé :**

Le pire temps d'attente :

$$R_m = T_{im} + I_m$$

$$\text{Avec : } I_m^{n+1} = B_m + \sum_{j=1}^{m-1} \left\lceil \frac{I_m^n}{T_j} \right\rceil T_j$$

Pour  $m = 2$  et 3, on a vérifié que  $\sum_{i=1}^m \frac{T_{ti}}{T_i} \leq 1$ . Ce temps d'attente est donc borné.

Pour  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ,  $T_{ti} = 1250 * 8 / 10.10^6 = 1$  ms. On a :

i	T <sub>ti</sub>	T <sub>i</sub>	R <sub>i</sub>
1	1	2	
2	1	5	
3	1	5	
4	1	15	
5	1	15	

Or dans notre cours, nous avons déjà traité une configuration équivalente :

i	C <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	R <sub>i</sub>
1	6	12	12
2	6	30	24
3	6	30	48
4	6	90	96

Nous avons alors :

<b>i</b>	<b>T<sub>ti</sub></b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>R<sub>i</sub></b>
1	1	2	2
2	1	5	4
3	1	5	8
4	1	15	
5	1	15	

Question 3.3.2

Calculer le pire délai de transfert (délai de bout en bout) pour des trames de priorité  $m = 2$  et  $3$ .

**Corrigé :**

$$Délai_{transf} = 2T_p + T_t + T_r + R_m = 2 * 50 + 1000 + 40 + R_m = 1140 + R_m$$

$$Délai_{transf-m2} = 1140 + 4000 = 5140 \mu s$$

$$Délai_{transf-m3} = 1140 + 8000 = 9140 \mu s$$