

# MIF05 Réseaux

Contrôle terminal - 2023-2024

Durée : 1h30 minutes

Aucun document autorisé - Calculatrice (non sur téléphone) et règle autorisées

L'énoncé comprend deux parties : un énoncé sur la partie de Florent Dupont et un énoncé sur la partie d'Isabelle Guérin Lassous. Vous répondrez directement sur les énoncés qui seront rendus dans une copie d'examen. Le numéro d'anonymat de la copie d'examen sera reporté sur les énoncés.

**Numéro d'anonymat (à reporter de la copie d'examen) :**  
**Il ne s'agit pas de votre numéro étudiant !**

Barème :

Partie F. Dupont			Partie I. Guérin Lassous		
7 pts			13 pts		
Exo1	Exo 2	Exo3	Exo1	Exo2	Exo3
2 pts	2,5 pts	2,5 pts	5 pts	5 pts	3 pts

## Partie I. Guérin Lassous

### Exercice 1 - Étude des performances d'un réseau

Considérons le réseau donné dans la figure 1. Les liens qui interconnectent les différents nœuds du réseau sont des liens filaires bidirectionnels. La figure indique, pour chaque lien, sa capacité d'émission et son délai de propagation. Un flux TCP transite du nœud n0 au nœud n3 et un flux UDP transite du nœud n1 au nœud n3.

#### Questions :

1. Indiquez, dans le tableau ci-dessous, pour chaque buffer indiqué, si des paquets de données UDP, des paquets de données TCP ou des acquittements TCP peuvent être stockés. Vous répondrez par **oui** ou **non** pour chaque type de paquet.

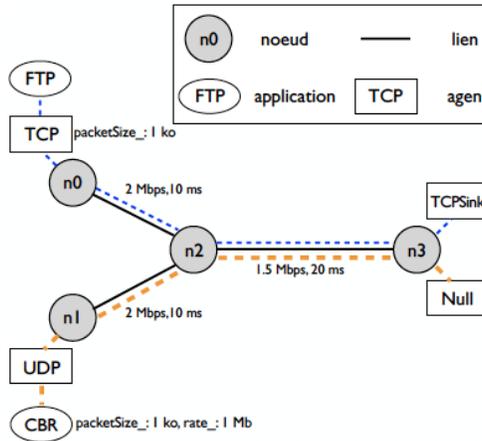


FIGURE 1 – Réseau de l'exercice 1

Buffer	Paquets données UDP	Paquets données TCP	Acquittements TCP
de n0 vers n2			
de n2 vers n0			
de n1 vers n2			
de n2 vers n1			
de n2 vers n3			
de n3 vers n2			

Buffer	Paquets données UDP	Paquets données TCP	Acquittements TCP
de n0 vers n2	non	oui	non
de n2 vers n0	non	non	oui
de n1 vers n2	oui	non	non
de n2 vers n1	non	non	non
de n2 vers n3	oui	oui	non
de n3 vers n2	non	non	oui

2. Combien de sockets sont ouvertes sur le nœud n3 ?

2 sockets sont ouvertes : une socket UDP et une socket TCP.

3. Quel(s) est le ou les nœuds dans le réseau étudié qui calculent et remplissent le champ somme de contrôle de chaque segment UDP ?

C'est la source des segments UDP qui calcule la somme de contrôle de chacun des paquets et qui remplit le champ associé, soit le nœud n1.

4. Quel(s) est le nœud ou les nœuds dans le réseau étudié qui vérifient que les segments UDP arrivent sans erreur au niveau Transport ?

C'est le destinataire des segments UDP qui détermine si les paquets reçus sont sans erreur, soit le nœud n3.

5. Supposons que, dans un premier temps, seul le flux UDP transite et qu'il n'y a pas d'erreurs de transmission. Est-ce que, dans le cas du réseau étudié, des segments UDP peuvent être perdus sachant que le débit applicatif du flux UDP est de 1 Mb/s? Vous justifierez votre réponse.

Non il n'y aura pas de paquets perdus car le débit applicatif du flux UDP est inférieur aux capacités d'émission des liens traversés dans le réseau.

6. Le RTT (Round Trip Time) d'un segment TCP correspond au temps entre le moment où le segment TCP est envoyé par le nœud source et le moment où ce segment est acquitté. Estimer, aussi précisément que possible avec les paramètres qui sont fournis, la valeur minimale du RTT du flux TCP. Vous supposerez que les acquittements TCP ont une taille négligeable et vous négligerez les différents en-têtes. Vous détaillerez votre calcul (aucun point ne sera attribué si le détail du calcul n'est pas donné). Vous exprimerez cette valeur **en ms** et avec 2 chiffres après la virgule.

RTT minimal = temps émission sur 1er lien + temps propagation sur 1er lien + temps d'émission sur 2e lien + temps propagation sur 2e lien + temps de propagation retour de l'ACK (sur les 2 liens)

$$\text{RTT minimal} = \frac{8 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} + 0,01 + \frac{8 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^6} + 0,02 + 0,03 \text{ s}$$

$$\text{RTT minimal} = 4 \cdot 10^{-3} + 0,01 + 5,33 \cdot 10^{-3} + 0,02 + 0,03 \text{ soit } 69,33 \text{ ms.}$$

7. Estimer la valeur maximale du RTT que peut subir un segment du flux TCP qui ne subit pas de perte si le buffer entre n2 et n3 peut contenir au plus 10 paquets. Vous supposerez les mêmes hypothèses que la question précédente, qu'il n'y a pas d'attente au niveau du nœud n0 et que seul le flux TCP transite. Vous détaillerez votre calcul (aucun point ne sera attribué si le détail du calcul n'est pas donné). Vous exprimerez cette valeur **en ms** et avec 2 chiffres après la virgule.

$RTT_{\text{maximal}} = RTT_{\text{minimal}} + \text{temps d'attente maximal sur le nœud n2}$   
 Le temps d'attente maximal sur le nœud n2 correspond au temps d'émission de 9 paquets sur le lien n2 - n3, soit  $9 \times \frac{8 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^6} = 48 \cdot 10^{-3}$  secondes.  
 $RTT_{\text{maximal}} = 117,33 \text{ ms.}$

8. En simulant ce réseau avec le simulateur ns-2, vous obtenez l'évolution de l'occupation du buffer de n2 vers n3. Expliquez le comportement obtenu et donné dans la figure 2 sachant que le flux UDP démarre au temps 1s et termine au temps 5s, tandis que le flux TCP démarre au temps 2s et termine au temps 4s et que ce buffer peut contenir au maximum 10 paquets. Vous prendrez le soin d'expliquer chaque partie de la courbe.

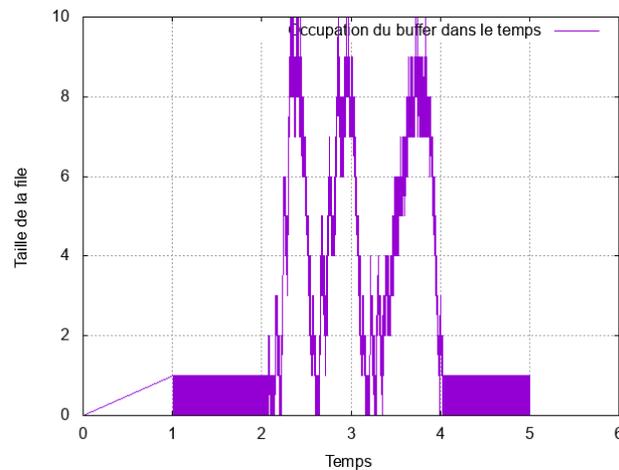


FIGURE 2 – Évolution du buffer de n2 vers n3

Entre les temps 1s et 2s et les temps 4s et 5s, seul le flux UDP transite. Comme la capacité d'émission du lien n2 - n3 est supérieure au débit applicatif du flux UDP, il n'y a pas d'accumulation de segments UDP dans le buffer, et le seul paquet qui est stocké est tout de suite traité (envoyé sur le lien).

Entre les temps 2s et 4s, le flux TCP est aussi présent. Le comportement en dent de scie s'explique par l'algorithme de contrôle de congestion de TCP qui augmente la taille de la fenêtre d'anticipation de la source TCP jusqu'à ce qu'il y ait des pertes. La taille de la fenêtre d'anticipation est alors réduite lorsque des pertes de segments TCP surviennent.

9. À partir d'une partie de la trace de simulation ns-2 donnée ci-dessous, estimez le débit moyen obtenu par le flux TCP entre le temps 2s et le temps 4s. Pour rappel, le flux TCP démarre au temps 2. Vous expliquerez votre raisonnement et vous exprimerez le résultat en **bit/s**. Des éléments explicatifs sur le fichier de traces ns-2 sont donnés après la trace à analyser.

Le fichier contenant les traces d'une simulation ns est un fichier ascii organisé en ligne de 12 champs. La signification de chacun de ces champs est la suivante :

- (a) Le premier champ indique le type de l'événement. 5 symboles sont possibles r, +, -, d, e. Ils signifient respectivement que :

pour r	le paquet a été reçu à la sortie du lien (au noeud suivant)
pour +	le paquet a été mis en attente dans un buffer (celui de l'interface de sortie vers le noeud suivant)
pour -	le paquet a quitté le buffer (correspond au début de l'émission sur le lien)
pour d	le paquet a été rejeté du buffer (correspond à une perte)
pour e	le paquet a subi une erreur (correspond à une erreur binaire)

```

- 3.973147 2 0 ack 40 ----- 1 3.1 0.0 98 619
+ 3.973147 2 0 ack 40 ----- 1 3.1 0.0 98 619
r 3.974 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 370 620
+ 3.974 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 370 620
r 3.974267 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 363 610
- 3.9756 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 368 617
+ 3.976 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 372 622
- 3.976 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 372 622
r 3.9796 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 364 611
- 3.980933 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 369 618
r 3.982 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 371 621
+ 3.982 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 371 621
r 3.983307 2 0 ack 40 ----- 1 3.1 0.0 98 619
+ 3.983307 0 2 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 99 623
- 3.983307 0 2 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 99 623
+ 3.983307 0 2 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 100 624
+ 3.984 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 373 625
- 3.984 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 373 625
r 3.984933 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 365 613
- 3.986267 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 370 620
- 3.987467 0 2 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 100 624
r 3.99 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 372 622
+ 3.99 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 372 622
r 3.990267 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 366 614
- 3.9916 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 371 621
+ 3.992 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 374 626
- 3.992 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 374 626
r 3.9956 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 367 616
- 3.996933 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 372 622
r 3.997467 0 2 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 99 623
+ 3.997467 2 3 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 99 623
r 3.998 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 373 625
+ 3.998 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 373 625
+ 4 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 375 627
- 4 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 375 627
r 4 2 3 tcp 1040 ----- 1 0.0 3.1 99 623
r 4.000933 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 3.0 368 617

```

- (b) Ce champ indique l'instant auquel l'événement s'est produit.
- (c) Ce champ indique le nœud source sur le lien (adresse couche 2)
- (d) Ce champ indique le nœud destination sur le lien (adresse couche 2)
- (e) Ce champ indique le type du paquet (par exemple CBR ou TCP)
- (f) Ce champ indique la taille du paquet (avec les en-têtes des couches 3 et 4)
- (g) Ce champ indique quelques drapeaux ("flags")
- (h) Ce champ indique l'identifiant du flux. Cette identifiant peut être fixé dans le script ns et permet notamment de colorer les flux avec NAM
- (i) Ce champ indique l'adresse source globale désignée dans le format "noeud.port" (adresse couche 3)
- (j) Ce champ indique l'adresse destination globale (même format) (adresse couche 3)
- (k) Ce champ indique le numéro de séquence du paquet tel qu'il est donné par le protocole de transport.
- (l) Ce dernier champ indique un identifiant unique du paquet pour toute la simulation.

Le dernier segment TCP reçu au nœud 3 est le segment ayant le n° de séquence 99. Si on suppose que tous les segments précédents ont été reçus, la débit moyen du flux TCP est :

nombre octets reçus / durée du flux, soit  $\frac{99.8.1040}{2} = 411840$  bit/s.

## Exercice 2 - Acheminement des données dans un réseau

Pour cet exercice, considérons le réseau donné en figure 3. Ce réseau est composé de 7 routeurs (R1, R2, R3, R4, R5, R6 et R7), de 3 commutateurs (S1, S2 et S3), de 3 PCs (PC1, PC2 et PC3) et de 2 serveurs Web (SWeb1 et SWeb2). Les capacités d'émission des liens de communication qui relient les routeurs sont données sur la figure. Il n'y a pas de VLAN configuré sur les commutateurs.

### Questions :

- De combien de sous-réseaux est constitué ce réseau ?

12 sous-réseaux

- Un routage par état de liens est utilisé dans ce réseau. Le coût d'un lien correspond à  $\frac{10^8}{C}$  avec  $C$  la capacité d'émission du lien (exprimée en bit/s). Compléter le tableau des coûts des liens donné ci-dessous.

Lien	R1-R2	R1-R4	R2-R3	R2-R5	R3-R5	R3-R6	R4-R5	R5-R7	R6-R7
Coût									
R1 - R2	R1 - R4	R2 - R3	R2 - R5	R3 - R5	R3 - R6	R4 - R5	R5 - R7	R6 - R7	
0,1	1	0,1	1	0,1	0,1	1	1	1	

- Quel est l'algorithme utilisé par chaque nœud pour construire sa table de routage ?

Algorithme de Dijkstra

- Donner la table de routage de R1 une fois cet algorithme appliqué.

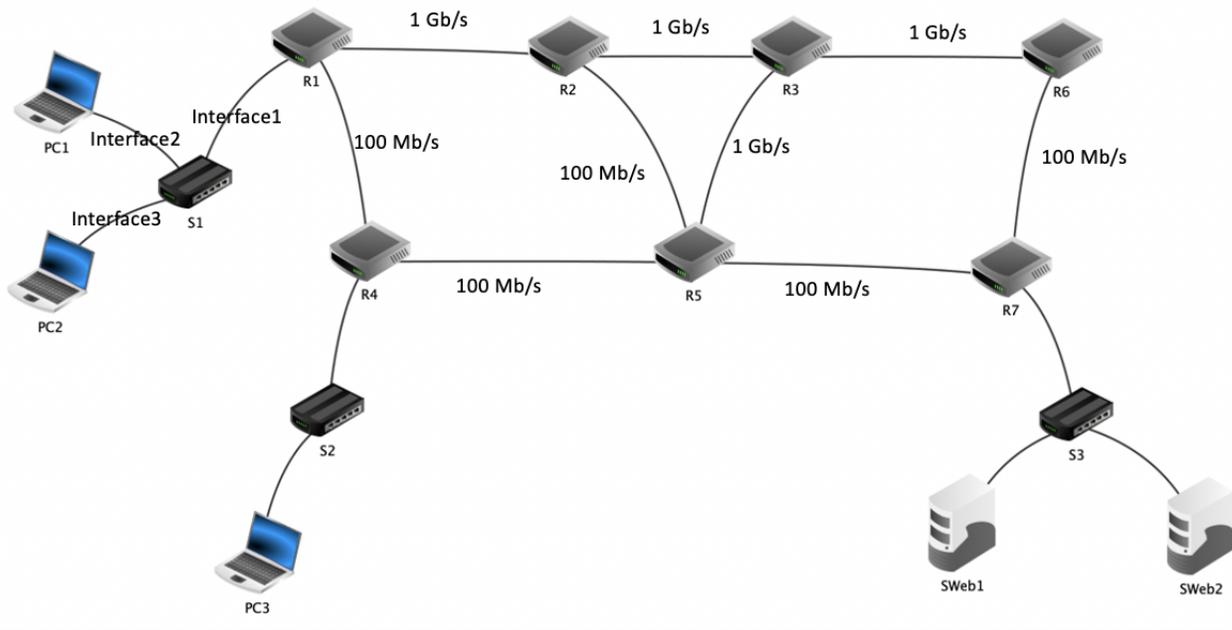


FIGURE 3 – Réseau de l'exercice 2

Destination	Saut suivant
R2	
R3	
R4	
R5	
R6	
R7	

Destination	Saut suivant
R2	R2
R3	R2
R4	R4
R5	R2
R6	R2
R7	R2

On suppose que tous les routeurs ont calculé leur table de routage.

5. Quel est le chemin emprunté par les messages envoyés du PC1 au serveur Web 1 (SWeb1) ? Vous donnerez la liste des routeurs dans l'ordre.

Chemin emprunté : R1 - R2 - R3 - R6 - R7

6. Le sous-réseau qui interconnecte PC1, PC2 et R1 a comme adresse de sous-réseau : 192.168.32.144/28. Donner un plan d'adressage possible des interfaces des équipements

listés ci-dessous en choisissant les premières adresses possibles de la plage d'adresses de ce sous-réseau. Si aucune adresse IP ne doit être attribuée à une interface, vous indiquerez **NA**.

Interface	Adresse IP
Interface de PC1	
Interface de PC2	
Interface1 de S1	
Interface2 de S1	
Interface3 de S1	
Interface de R1	

Plan d'adressage possible :

Interface	Adresse IP
Interface de PC1	192.168.32.145/28
Interface de PC2	192.168.32.146/28
Interface1 de S1	NA
Interface2 de S1	NA
Interface3 de S1	NA
Interface de R1	192.168.32.147/28

7. Donner l'adresse de diffusion de ce sous-réseau.

192.168.32.159/28
-------------------

8. PC1 envoie une requête HTTP au serveur Web 1 (SWeb1). On suppose que PC1 connaît l'adresse IP de SWeb1 et que toutes les tables ARP sont vides. Remettre dans l'ordre les actions listées ci-dessous (toutes les actions associées à cet envoi ne sont pas données). Vous noterez, dans le tableau ordonné ci-dessous, les lettres associées aux actions.

- a) PC1 envoie une requête HTTP destinée à SWeb1
- b) R2 retransmet la requête HTTP destinée à SWeb1
- c) R3 envoie une requête ARP
- d) R1 envoie une réponse ARP
- e) SWeb1 envoie un ACK TCP suite à la réception de la requête HTTP
- f) PC1 envoie une requête ARP
- g) R6 retransmet un ACK TCP
- h) R6 retransmet la requête HTTP destinée à SWeb1

ordre des actions	1	2	3	4	5	6	7	8
lettres associées aux actions								

ordre des actions	1	2	3	4	5	6	7	8
lettres associées aux actions	f	d	a	b	c	h	e	g

9. Compléter les adresses MAC source et destination et les adresses IP source et destination de la requête HTTP émise par PC1 à destination de SW1. Pour simplifier, vous ne donnerez, dans chaque case, que le nom de l'équipement et non son interface.

Requête HTTP émise par PC1			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination

Requête HTTP retransmise par R3			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination

ACK TCP retransmis par S3			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination

Requête HTTP émise par PC1			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination
PC1	R1	PC1	SWeb1

Requête HTTP retransmise par R3			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination
R3	R6	PC1	SWeb1

ACK TCP retransmis par S3			
@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination
SWeb1	R7	SWeb1	PC1

10. PC1 envoie un message avec comme adresse IP destination l'adresse de diffusion du sous-réseau dans lequel il se trouve. Quels sont les équipements qui reçoivent les trames associées à ce message ?

PC2, S1 et R1

### Exercice 3 - Performances d'un réseau Wi-Fi

Considérons un réseau composé d'un point d'accès (noté AP par la suite) et de deux stations S1 et S2. L'AP et les stations communiquent avec la technologie Wi-Fi. On rappelle que cette technologie repose sur le principe d'accès au médium CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

#### Questions :

1. Remettre dans l'ordre les différentes actions données ci-après et réalisées sur l'AP lorsqu'une trame est traitée par la carte Wi-Fi de l'AP pour envoi :  
SIFS - réception de l'ACK Wi-Fi - DIFS - envoi de la trame de données - Backoff.

DIFS - Backoff - envoi de la trame de données - SIFS - réception de l'ACK Wi-Fi.

2. Supposons que l'AP a des paquets à envoyer à la station S1 seulement, que le flux transmis est un flux UDP à saturation (l'AP a donc toujours un paquet à transmettre à S1). Les conditions radio entre l'AP et S1 sont telles que toutes les trames envoyées sont reçues avec succès par S1 et que la capacité d'émission utilisée entre l'AP et S1 est de 50 Mb/s. Quel est le débit moyen en réception au niveau de la couche réseau de la station S1 ? Tous les autres paramètres nécessaires à ce calcul sont indiqués dans la table 1. Le débit sera exprimé en **Mb/s** et avec 2 chiffres après la virgule.

Paramètre	Valeur
Taille données utiles	1000 octets
Taille en-tête MAC	34 octets
Taille trame ACK Wi-Fi	14 octets
Temps émission en-tête physique	192 $\mu$ s
DIFS	50 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
Temps attente aléatoire moyen	310 $\mu$ s

TABLE 1 – Valeurs pour les calculs de l'exercice 3

Chaque  $T$  secondes, la station S1 reçoit un segment UDP.

$T$  comprend le temps d'accès au médium induit par le protocole MAC de la technologie Wi-Fi, le temps d'émission de la trame de données, le temps SIFS et le temps de transmission de la trame ACK Wi-Fi.

$T = \text{DIFS} + \text{Temps attente aléatoire moyen} + \text{Temps émission en-tête physique} + \text{Temps émission trame données} + \text{SIFS} + \text{Temps émission en-tête physique} + \text{Temps émission trame ACK Wi-Fi}$

$$T = 50 + 310 + 192 + (1034 * 8) / 50 + 10 + 192 + (14 * 8) / 50 = 754 + 167,68 = 921,68 \mu\text{s}$$

Le débit de réception moyen au niveau de la couche réseau de la station S1 = nombre octets reçus /  $T = \frac{1000 * 8}{921,68} = 8,68 \text{ Mb/s}$

3. Supposons maintenant que l'AP a des paquets à envoyer à la station S2 seulement, que le flux transmis est un flux UDP à saturation (l'AP a donc toujours un paquet à transmettre à S2). Les conditions radio entre l'AP et S2 sont telles que la capacité d'émission utilisée entre l'AP et S2 est de 100 Mb/s et que toutes les trames envoyées doivent être retransmises une fois (et une seule) : la première transmission n'est pas reçue correctement par S2, l'AP retransmet donc la trame et cette retransmission est reçue correctement par S2. La retransmission d'une trame se fait de la manière suivante : si au bout d'un temps

SIFS l'AP n'a pas reçu le début de l'ACK Wi-Fi attendu, il rentre dans le processus d'accès au médium pour retransmettre la trame. Ce processus est identique à la première transmission de la trame sauf que le temps d'attente aléatoire moyen est deux fois plus grand.

Quel est le débit moyen en réception au niveau de la couche réseau de la station S2 ? Tous les autres paramètres nécessaires à ce calcul sont indiqués dans la table 1. Le débit sera exprimé en **Mb/s** et avec 2 chiffres après la virgule.

Chaque  $T$  secondes, la station S2 reçoit correctement un segment UDP.

$T$  comprend le temps d'accès au médium induit par le protocole MAC de la technologie Wi-Fi, le temps d'émission de la trame de données, le temps SIFS, de nouveau le temps d'accès au médium induit par le protocole MAC avec un temps d'attente moyen deux fois plus grand, le temps d'émission de la trame de données, le temps SIFS et le temps de transmission de la trame ACK Wi-Fi.

$$T = \text{DIFS} + \text{Temps attente aléatoire moyen} + \text{Temps émission en-tête physique} + \text{Temps émission trame données} + \text{SIFS} + \text{DIFS} + 2 * \text{Temps attente aléatoire moyen} + \text{Temps émission en-tête physique} + \text{Temps émission trame données} + \text{SIFS} + \text{Temps émission en-tête physique} + \text{Temps émission trame ACK Wi-Fi}$$

$$T = 50 + 310 + 192 + (1034 * 8)/100 + 10 + 50 + 620 + 192 + (1034 * 8)/100 + 10 + 192 + (14 * 8)/100 = 1626 + 166,56 = 1792,56 \mu s$$

Le débit de réception moyen au niveau de la couche réseau de la station S2 = nombre octets reçus /  $T = \frac{1000 * 8}{1792,56} = 4,46 \text{ Mb/s}$

4. Supposons maintenant que l'AP a un flux à envoyer à S1 et un flux à envoyer à S2. Pour simplifier le calcul, on supposera que l'AP alterne les envois entre les stations (1 trame à S1, puis 1 trame à S2, puis 1 trame à S1, puis 1 trame à S2, etc.). Les conditions radio n'ont pas changé, ce qui implique que l'AP envoie à S1 avec une capacité d'émission de 50 Mb/s et chaque trame est reçue avec succès en S1, et que l'AP envoie à S2 avec une capacité d'émission de 100 Mb/s et chaque trame doit être transmise deux fois (comme expliqué à la question précédente). Calculer les débits moyen en réception au niveau de la couche réseau pour chaque station.

Chaque  $T$  secondes, les stations S1 et S2 reçoivent correctement un segment UDP.  
 $T$  comprend le temps calculé à la question 2 et le temps calculé à la question 3.  
 $T = 921,68 + 1792,56 = 2714,24\mu s$ .

Le débit de réception moyen au niveau de la couche réseau de la station S1 ou de la station S2 = nombre octets reçus /  $T = \frac{1000*8}{2714,24} = 2,95 \text{ Mb/s}$

5. Lorsque les flux changent de sens, c'est-à-dire lorsque S1 et S2 envoient à l'AP, le débit obtenu par le flux entre S1 et l'AP est supérieur au débit calculé à la question précédente tandis que le débit obtenu par le flux entre S2 et l'AP est inférieur au débit calculé à la question précédente, alors que les conditions radio n'ont pas changé. Expliquer pourquoi.

Ceci s'explique par le fait que S1 accède plus souvent au médium que S2 car lors des retransmissions S2 a un plus long temps aléatoire que S1. Donc S1 envoie plus de paquets (avec succès) que S2, alors qu'à la question précédente, le même nombre de paquets était envoyé pour les deux flux.