

Travaux dirigés

S2 – R2.04 B, R2.05 : Réseaux

2025-01-28



Table des matières

1 Ethernet et Wi-Fi	1
1.1 Transmission sur un réseau Ethernet	1
1.2 Transmission sur un réseau Wi-Fi	2
1.3 Utilisation d'une table de commutation	3
1.4 Mise à jour d'une table de commutation	4
1.5 Échanges de trames Wi-Fi au niveau MAC	5
2 Adressage IP	6
2.1 Adressage IPv4	6
2.2 Adressage IPv6	7
2.3 Allocation d'un sous-réseau IPv4	8
3 Routage IP	10
3.1 Routage dans l'inter-réseau de l'exemple du cours	10
3.2 Routage IP dans un inter-réseau d'entreprise	11
3.3 Révision : commutation Ethernet, ARP et routage IP	12
4 Protocole TCP	13
4.1 Schéma d'échange à compléter	13
4.2 Phase d'ouverture d'une connexion TCP	14
4.3 Échange de données et segmentation	14
4.4 Paramètres à l'ouverture d'une connexion TCP	15
4.5 Échange de données sur une connexion TCP	16
5 Applications et encapsulation	19
5.1 Analyse d'une trame	19
5.2 Analyse d'une trace Wireshark	20
5.3 Échange DHCP	22
6 VLANs	24
6.1 Inter-réseau constitué de trois VLANs	24
6.2 Transformation d'une installation Ethernet	25
A Format des entêtes/unités de données	27

1 Ethernet et Wi-Fi

1.1 Transmission sur un réseau Ethernet

On considère un réseau Ethernet 1000BASE-T reliant un ensemble de stations à travers un commutateur, comme sur la figure ci-dessous (cf. figure 1).

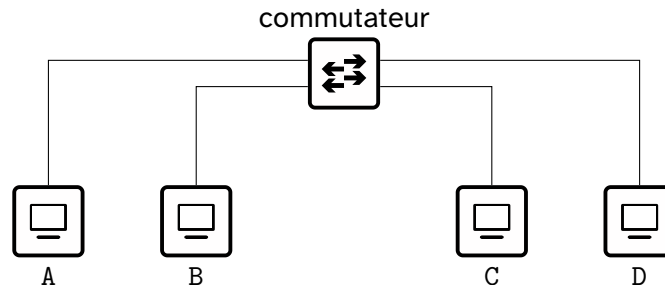


Figure 1 – Topologie Ethernet.

1.1.1 Temps de propagation

Question 1. Donner l'expression du temps de propagation T_p d'un signal transmis entre une station et le commutateur, en fonction de la vitesse de propagation V_p et de la longueur L entre les deux équipements.

Question 2. Calculer ce temps T_p avec les données suivantes : la vitesse de propagation V_p d'un signal électrique dans un câble est de 200 000 km/s; les deux équipements sont à 100 m l'un de l'autre. Donner cette valeur T_p en microsecondes (μs).

1.1.2 Temps d'émission

Question 3. Donner l'expression du temps d'émission T_e d'une trame par une station, en fonction de la longueur de la trame (en nombre de bits noté N) et du débit d'émission D_e .

Question 4. D'après la norme utilisée pour ce réseau, quel est le débit d'émission maximal D_e^{\max} de ce réseau ?

Question 5. À partir du format standard de la trame Ethernet donné en cours, calculer le temps d'émission T_e^{\max} d'une trame de taille maximale émise par une station de ce réseau.

Question 6. Quelle serait la valeur T_e^{\max} si la technologie 100BASE-T était utilisée ?

1.1.3 Silence inter-trame

Question 7. Le délai appelé « silence inter-trame » est nécessaire entre deux émissions (cf. cours). Quelle est l'utilité de ce délai ?

Question 8. Calculer la durée T_i du silence inter-trame utilisé dans un réseau Ethernet 1000BASE-T.

1.1.4 Représentation graphique

Question 9. Représenter, sur un graphique similaire à celui ci-dessous (cf. figure 2), tous les temps nécessaires à l'envoi de deux trames de taille maximale émises de la station A vers la station B. Les commutateurs des salles de TP de l'IUT traitent les trames en mode différé (*store-and-forward*) : la trame est transmise une fois reçue complètement et vérifiée¹.

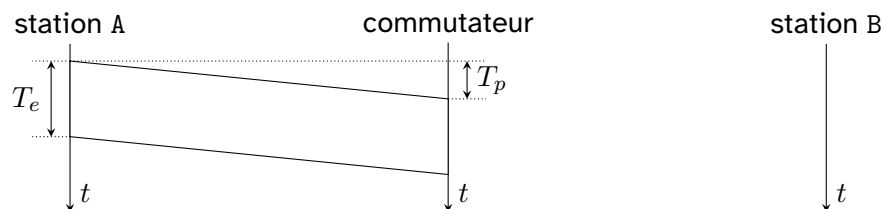


Figure 2 – Représentation d'un échange de trames.

Question 10. Noter sur chacun de ces trois traits verticaux les événements correspondants à cet acheminement (envois, délais, arrivées) avec les durées associées.

Question 11. Reporter sur ce schéma les délais calculés dans les questions précédentes. Prendre comme temps de latence (temps de traitement de la trame par le commutateur) la valeur T_c de $2.3 \mu s$ qui est celle indiquée dans la documentation des commutateurs HP 2530-48G des salles de TP de l'IUT.

Question 12. Calculer alors le temps total T_{total} nécessaire pour la transmission de ces deux trames.

Question 13. Quels sont les temps qui peuvent être négligés dans les transmissions Ethernet 1000BASE-T ?

1.1.5 Transmission d'un fichier sur le réseau

Question 14. Calculer le temps T_{total} de transmission d'un fichier de 1 Mo (1×10^6 o) entre deux stations d'un même réseau TCP/IP sur Ethernet 1000BASE-T. On appliquera les mêmes hypothèses de simplification des délais que dans la question précédente.

Indication : on supposera qu'il n'y a que ce fichier de 1 Mo à émettre sur le réseau. Le fichier est découpé en fragments, chacun étant encapsulé dans un segment TCP, lui-même encapsulé dans un paquet IP, lui-même encapsulé dans une trame Ethernet. Il est donc nécessaire de prendre en compte non seulement le format des trames Ethernet mais aussi celui des paquets IP et segments TCP. On considérera que l'en-tête des paquets IP et l'en-tête des segments TCP sont chacun de 20 octets.

Question 15. Quel est le débit utile D_u de cette transmission ?

1.2 Transmission sur un réseau Wi-Fi

On considère une communication entre deux stations A et B reliées par un réseau Wi-Fi 802.11g en mode infrastructure (cf. figure 3). Pour les calculs, on prendra comme débit d'émission D_e le débit maximal de ce standard en 802.11g (cf. cours).

On considère la transmission d'une trame, dont le champ de données est de 1500 octets, entre la station A et le point d'accès AP situés à 100 m de distance l'un de l'autre.

1. L'autre mode de traitement est le mode direct (*cut-through*), où les trames sont transmises dès que possible sans vérification.

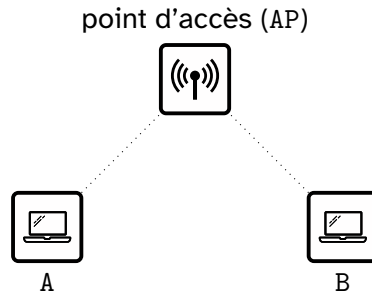


Figure 3 – Topologie Wi-Fi.

Remarque. La taille théorique maximale du champ de données Wi-Fi est de 2312 octets, mais elle est ramenée à 1500 octets par compatibilité avec Ethernet.

Question 16. Calculer le temps de propagation T_p du signal sur ce lien, en prenant comme vitesse de propagation de l'onde électromagnétique celle de la vitesse de la lumière dans le vide, soit 300 000 km/s.

Question 17. Calculer le temps d'émission T_e de cette trame.

Question 18. Peut-on négliger certains temps lors du calcul du temps de transfert T_t (le temps T_t est égal à $T_e + T_p$) ?

On considère maintenant la transmission de cette trame de données entre les stations A et B.

Question 19. Représenter graphiquement les temps nécessaires à l'acheminement de cette trame de données de A à B. Penser à représenter les délais nécessaires avant toute transmission en Wi-Fi (*backoff*, DIFS, etc.). Comme sur la figure 2, l'axe vertical sera l'axe du temps et vous noterez les échanges entre les trois équipements (les deux stations et le point d'accès) entre les trois traits représentant ces équipements.

Question 20. Calculer le temps de transmission T_{total} de cette trame de A à B.

Question 21. Comparer avec ce qui se passe entre deux stations d'un réseau Ethernet reliées par un commutateur (cf. question 12).

1.3 Utilisation d'une table de commutation

Soit un réseau Ethernet réalisé avec un commutateur COM_1. À l'instant d'observation du trafic, la table de commutation de ce commutateur COM_1 est reportée dans le tableau 1.

adresse Ethernet destination	port de sortie associé
00:18:8b:d5:8d:39	P1
00:16:76:d1:6f:e9	P2
00:0e:0c:64:6b:7d	P3
00:0e:0c:60:1b:88	P2
01:02:03:ab:ee:99	P4

Table 1 – Table de commutation de COM_1

Question 22. Le commutateur COM_1 reçoit par son port P5 la trame d'adresse source 00:16:01:66:bb:33 et d'adresse destination 00:0e:0c:64:6b:7d. Comment le commutateur retransmet-il cette trame et comment met-il à jour sa table de commutation ?

Question 23. Le commutateur COM_1 reçoit par son port P2 la trame d'adresse source 00:0e:0c:60:1b:88 et d'adresse destination 00:18:8b:44:66:54. Comment le commutateur retransmet-il cette trame et comment met-il à jour sa table de commutation ?

Question 24. Le commutateur COM_1 reçoit par son port P2 la trame d'adresse source 00:0e:0c:58:9c:20 et d'adresse destination 00:18:8b:d5:8d:39. Comment le commutateur retransmet-il cette trame et comment met-il à jour sa table de commutation ?

Question 25. Le commutateur COM_1 reçoit par son port P6 la trame d'adresse source 00:0e:0c:64:6b:7d et d'adresse destination ff:ff:ff:ff:ff:ff. Comment le commutateur retransmet-il cette trame et comment met-il à jour sa table de commutation ?

Question 26. Représenter la topologie du réseau Ethernet (ensemble des stations, commutateur(s) et câbles de connexion) telle qu'on peut la déduire de la table de ce commutateur et de l'ensemble des échanges ci-dessus. On représentera la topologie la plus simple qui permette d'observer la table de commutation de COM_1.

Question 27. En supposant que ce réseau Ethernet ne change pas (pas de nouvelle station ni de commutateur, aucun déplacement des équipements), est-il possible que la trame d'adresse source 00:16:76:d1:6f:e9 et d'adresse destination 00:0e:0c:60:1b:88 arrive au commutateur COM_1 par son port P2 ? Justifier votre réponse.

1.4 Mise à jour d'une table de commutation

L'objectif de cet exercice est d'analyser le comportement et la mise à jour de la table d'un commutateur Ethernet en fonction des événements qui lui arrivent (en l'occurrence des trames qui arrivent sur ses ports).

Les hypothèses et le scénario observés sont les suivants :

- Initialement, la table de commutation du commutateur est vide ;
- Sept trames arrivent dans l'ordre indiqué dans le tableau 2. Pour chaque trame sont indiqués le port d'entrée dans le commutateur ainsi que les adresses Ethernet destination et source.

ordre	port d'entrée	adresse destination	adresse source
1	P1	ff:ff:ff:ff:ff:ff	01:02:03:ab:ee:22
2	P3	01:02:03:ab:ee:22	01:02:03:ab:ee:11
3	P2	ff:ff:ff:ff:ff:ff	01:02:03:ab:ee:66
4	P2	01:02:03:ab:ee:11	01:02:03:ab:ee:66
5	P3	01:02:03:ab:ee:99	01:02:03:ab:ee:55
6	P4	ff:ff:ff:ff:ff:ff	01:02:03:ab:ee:77
7	P3	01:02:03:ab:ee:22	01:02:03:ab:ee:33

Table 2 – Scénario observé.

Question 28. Que fait le commutateur lorsqu'il reçoit la trame n°1 ? Justifier.

Question 29. Que fait le commutateur lorsqu'il reçoit la trame n°2 ? Justifier.

Question 30. Quelle information peut-on déduire de l'analyse de l'ensemble des trames arrivant sur le port P3 ? Expliquer quel(s) équipement(s) permet(tent) d'arriver à cette situation.

Question 31. Représenter ce réseau Ethernet tel que l'on peut le déduire de cette séquence de trames reçues. Y faire apparaître les stations, le(s) commutateur(s) et les câbles de connexion.

Question 32. Donner la table de commutation de ce commutateur à l'issue de la réception et du traitement de ces sept trames.

Question 33. Le commutateur reçoit la trame d'adresse source 01:02:03:ab:ee:99 et d'adresse destination 01:02:03:ab:ee:22 par son port P6. Décrire ce que fait le commutateur.

Question 34. Le commutateur reçoit la trame d'adresse source 01:02:03:ab:ee:77 et d'adresse destination 01:02:03:ab:ee:bb par son port P4. Décrire ce que fait le commutateur.

Question 35. Le commutateur reçoit la trame d'adresse source 01:02:03:ab:ee:77 et d'adresse destination 01:02:03:ab:ee:55 par son port P3. Décrire ce que fait le commutateur. Dans quelle situation pourrait-on imaginer que COM_1 voit effectivement arriver cette trame ?

1.5 Échanges de trames Wi-Fi au niveau MAC

Soit un inter-réseau constitué de deux réseaux Wi-Fi *A* et *B* fonctionnant en mode infrastructure. On supposera que trois stations par réseau sont associées aux points d'accès respectifs AP-A et AP-B de ces réseaux. L'adresse de ces stations est notée A1, A2, A3 sur le réseau *A* et B1, B2, B3 sur le réseau *B*. Les deux points d'accès sont connectés entre eux en Ethernet. On supposera que les transmissions Wi-Fi se font sans pré-réservation de canal (pas d'échanges RTS/CTS).

Question 36. Représenter les différents équipements de cet inter-réseau.

Question 37. Représenter les échanges et les délais mis en jeu pour que la station A1 envoie une trame d'information à la station A3, en supposant qu'aucune transmission n'était en cours.

Question 38. Même question pour un échange entre A2 et B1.

Question 39. Sur le réseau *A*, une transmission est en cours du point d'accès AP-A vers la station A3. Pendant cette transmission, les stations A1 et A2 cherchent toutes deux à émettre. Représenter le diagramme temporel des délais et des échanges jusqu'à la réussite de l'envoi des données par ces stations.

Question 40. Avec le scénario précédent, dans quel cas une collision peut-elle survenir ?

Question 41. Quel serait l'intérêt d'utiliser un mode de transmission avec pré-réservation de canal (échanges RTS/CTS) en cas de collisions fréquentes ?

2 Adressage IP

2.1 Adressage IPv4

Pour cet exercice, il est recommandé de se rappeler quelques éléments du codage en base deux non signé, comme :

- $(1000_0000)_2 = 2^7 = 128$,
- $(0100_0000)_2 = 2^6 = 64$,
- $(0010_0000)_2 = 2^5 = 32$,
- $(1111_1111)_2 = 2^8 - 1 = 255$.

2.1.1 Adressage IP en CIDR /24

Considérons le réseau IP d'adresse CIDR 192.100.56.0/24.

Question 42. Quel est l'intervalle des adresses possibles de ce réseau ? Donner cet intervalle en binaire et en notation décimale pointée.

Question 43. Quel est le masque de réseau ? Donner ce masque en binaire et en notation décimale pointée.

Question 44. Quelle est l'adresse de diffusion de ce réseau ?

Question 45. Combien de machines au maximum peut-on connecter sur ce réseau ?

Question 46. Reprendre les questions 42 à 45 en considérant un réseau de *même adresse réseau* mais « en /25 », c'est-à-dire dont l'adresse CIDR est 192.100.56.0/25.

2.1.2 Adressage IP en CIDR /18

Considérons le réseau IP d'adresse CIDR 202.0.64.0/18.

Question 47. Quel est l'intervalle des adresses possibles de ce réseau ? Donner cet intervalle en binaire et en notation décimale pointée.

Question 48. Quel est le masque de réseau ? Donner ce masque en binaire et en notation décimale pointée.

Question 49. Quelle est l'adresse de diffusion de ce réseau ?

Question 50. Combien de machines au maximum peut-on connecter sur ce réseau ? Donner cette valeur sous la forme d'une expression avec puissances de 2.

Question 51 (indépendante). L'adresse CIDR 202.0.64.0/16 peut-elle être l'adresse d'un réseau IP ? Justifier.

2.1.3 Détermination des réseaux auxquels appartient une machine

Soit une machine sur laquelle la commande `ip addr` donne (entre autres) la réponse suivante :

```
$ ip addr
eth0: <BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    link/ether 28:80:23:0b:c8:33 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 192.1.131.13/24 brd 192.1.131.255
wlan0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 2304
    link/ether e8:b1:fc:55:2c:f1 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 192.168.16.255/23
```


Question 52. Donner en notation CIDR, l'adresse des réseaux IP auxquels cette machine appartient.

Question 53. Pour chacun des réseaux, indiquer le nombre maximum de machines qu'il peut avoir.

Question 54. Quelle est l'adresse de diffusion du deuxième réseau (la machine y est connectée par l'interface wlan0) ?

Question 55. Quelles sont les interfaces actives ?

Question 56. En considérant un message de 1500 o à transmettre, le protocole IP devra-t-il utiliser la fragmentation sur l'une des interfaces ? Vous pouvez vous référer à l'annexe A pour le format des paquets IP. On considérera qu'aucune option n'est utilisée dans l'entête IP.

2.1.4 Révision sur l'adressage IP

Question 57. Compléter le tableau.

	réseau IP n°1	réseau IP n°2
adresse de réseau en notation CIDR	192.168.2.128/26	
adresse de réseau		192.168.2.128
masque de réseau		255.255.255.128
adresse de diffusion		
nombre de stations possible dans le réseau		
192.168.2.193 dans le réseau ? (justifier)		

2.2 Adressage IPv6

La version actuelle du protocole IP (IPv4) utilise des adresses codées sur 4 octets, ce qui limite à 2^{32} (environ 4.3×10^9) le nombre d'adresses différentes. Le successeur d'IPv4, à savoir le protocole IPv6, est actuellement en cours de déploiement sur Internet. Il utilise des adresses sur 128 bit, notées en hexadécimal.

2.2.1 RENATER

Le bloc 2001:6600:0000:0000:0000:0000:0000/32 est, avec la notation CIDR, le bloc d'adresses IPv6 attribué à RENATER.

Attention

L'adresse (2001:6600:0000:0000:0000:0000:0000) est notée en hexadécimal tandis que la taille du préfixe (/32) est notée en décimal.

Remarque. En notation abrégée², ce bloc d'adresse se note 2001:6600::/32.

Question 58. Combien d'adresses différentes RENATER peut-il utiliser ? Donner le nombre d'adresses en puissance de 2.

Question 59. Donner l'intervalle d'adresses du bloc de RENATER avec la notation IPv6 (en hexadécimal).

2. La notation abrégée des adresses IPv6 est définie dans la RFC 5952.

2.2.2 Free

Depuis décembre 2007, le fournisseur d'accès à Internet (FAI) Free permet à ses abonnés un accès en IPv6. Avec ce mode d'accès, chaque abonné se voit attribuer un bloc d'adresses de la forme suivante (en notation CIDR) : 2a01:0e35:2f22:e3d0:0000:0000:0000/64. *Remarque.* En notation abrégée, le bloc se note 2a01:e35:2f22:e3d0::/64.

Question 60. Combien d'adresses IPv6 différentes un abonné de Free peut-il utiliser ? Donner le nombre d'adresses en puissance de 2.

Question 61. Donner l'intervalle d'adresses utilisables avec la notation IPv6 (en hexadécimal).

2.3 Allocation d'un sous-réseau IPv4

2.3.1 Allocation d'un sous-réseau IPv4

Nous supposons qu'un fournisseur d'accès Internet (FAI) a reçu pour exercer son activité le bloc d'adresses CIDR 202.0.64.0/18 avec lequel il a constitué son réseau. Comme tout prestataire, il est libre de découper son espace d'adresses comme il l'entend pour fournir des adresses à ses clients. La société MaBouate, cliente de ce FAI, lui demande un espace suffisant pour 1022 machines au maximum. On cherche quel intervalle d'adresses le FAI allouera au client MaBouate, sachant qu'au moment de la demande la première adresse réseau qui est libre est 202.0.96.0.

Question 62. Déterminer d'abord le nombre de bits minimum nécessaires pour la partie « machine » des adresses du réseau MaBouate.

Question 63. Donner le masque correspondant en binaire puis en notation décimale pointée.

Question 64. Représenter en binaire puis en notation décimale pointée l'intervalle des adresses allouées.

Question 65. Donner en notation CIDR l'adresse du réseau alloué à ce client.

2.3.2 Adressage et sous-réseau IP

Soit un réseau d'adresse 194.129.32.0/23.

Question 66. Combien de machines ce réseau permet-il d'adresser ? Justifier.

Question 67. Quelle est l'adresse de diffusion de ce réseau ?

L'administrateur de ce réseau 194.129.32.0/23 souhaite le découper en quatre sous-réseaux de taille maximale et de taille égale.

Question 68. Compléter le tableau ci-dessous.

Conseil : avant de remplir ce tableau, écrire en notation binaire la partie d'adresse utile pour faire ce découpage (le dernier octet de poids faible), puis convertir la valeur trouvée en décimal. Ne pas utiliser l'hexadécimal !

sous-réseau n°	adresse réseau (CIDR)	masque	adresse diffusion	nombre max. de stations
1				
2				
3				
4				

Question 69. À quel sous-réseau appartient l'adresse 194 . 129 . 33 . 188 ? Donner la méthode de calcul qu'utiliserait un routeur.

Question 70. À quel sous-réseau appartient l'adresse 194 . 129 . 32 . 214 ? Donner la méthode de calcul qu'utiliserait un routeur.

3 Routing IP

3.1 Routing dans l'inter-réseau de l'exemple du cours

On considère l'exemple de réseau dont le schéma est donné ci après (cf. figure 4).

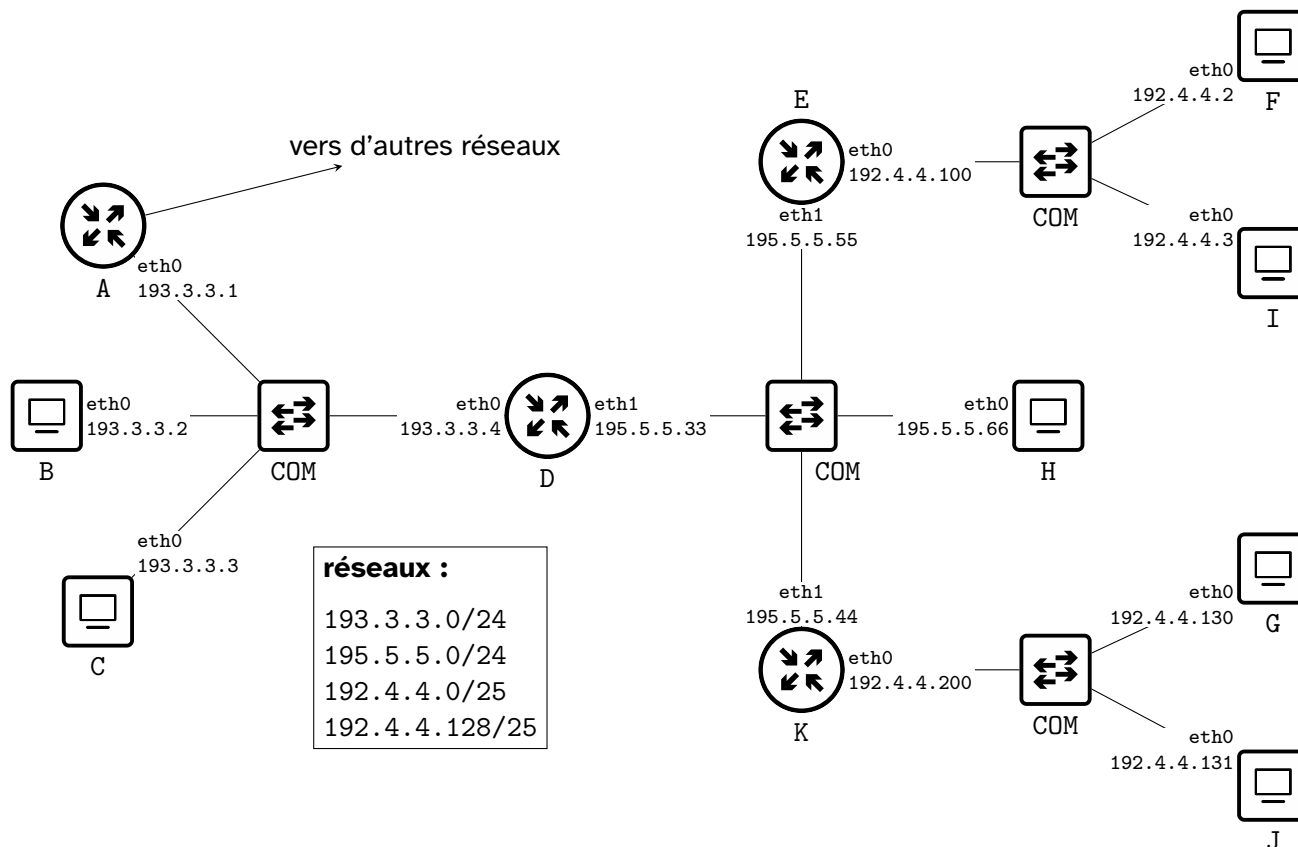


Figure 4 – Topologie inter-réseau.

Question 71. Terminer la définition des tables de routage nécessaires au bon fonctionnement de cet inter-réseau : toute station doit pouvoir communiquer avec toutes les autres et doit pouvoir accéder aux autres réseaux. Pour cela, définir les tables de routage des stations E, K et A.

Question 72. Décrire comment le routage s'applique pour différents cas d'acheminement de paquets. L'objectif est de comprendre comment les tables sont utilisées et comment les trames sont constituées pour transporter les paquets IP d'un équipement à l'autre (quelles sont leurs adresses MAC source et destination).

1. Indiquer, pour l'acheminement d'un paquet de D vers H :
 - Quelle règle de la table de routage s'applique dans le premier routeur traversé.
 - Le nombre de trames nécessaires, et pour chaque trame, les adresses MAC source et destination. Pour noter les adresses MAC, mettre une identification littérale, par exemple « @MAC-D/eth0 » (celle correspondant à sa carte réseau sur 193.3.3.0). On ne précisera l'interface que pour les routeurs.

2. Reprendre les questions précédentes pour l'acheminement d'un paquet de G vers F.

On indiquera les réponses dans un tableau de la forme suivante :

trame n°	@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination
1 X → Y				
2 Y → Z				
...				

3.2 Routing IP dans un inter-réseau d'entreprise

Soit un inter-réseau d'entreprise schématisé par la figure 5. Pour simplifier, on ne fait pas apparaître les commutateurs ou autres équipements de niveau physique/liaison. Les adresses Ethernet et IP des stations qui ne sont pas données pourront être écrites sous la forme @MAC-Si et @IP-Si, où Si est une station. Seules les adresses IP des routeurs R1 et R2 sont données avec le nom de l'interface associée à l'adresse IP. Attention, le réseau est isolé du reste du monde (déconnecté d'Internet).

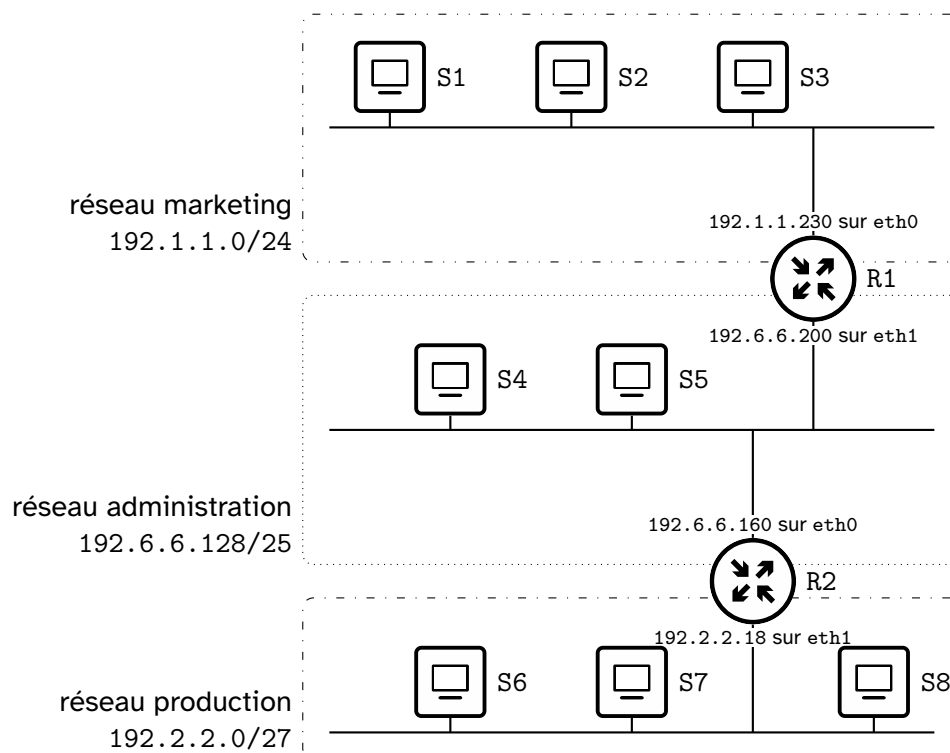


Figure 5 – Topologie inter-réseau d'une entreprise.

Question 73. Proposer une table de routage pour la station S4.

Question 74. Proposer une table de routage pour les routeurs R1 et R2 de telle sorte que toutes les stations puissent communiquer entre elles. Faire apparaître les quatre colonnes vues en cours.

Question 75. Un paquet IP est émis par la station S4 à destination de la station S6.

1. Quelles sont les adresses IP source et destination du paquet émis par S4 ?
2. Combien de trames seront nécessaires pour acheminer ce paquet ? Justifier et donner la/les trames nécessaires.
3. Expliquer comment la station S4 obtiendra les adresses MAC nécessaires pour former la trame contenant ce paquet. Indiquer à quelles machines correspondent les adresses MAC de cette trame.

4. Quelle sera la valeur des adresses IP source et IP destination, MAC source et MAC destination du paquet IP qui sera reçu par la station S6 ?

Question 76. Reprendre la question 75 pour un paquet émis par S3 et à destination de S8.

Question 77 (à traiter après avoir vu le chapitre 6). Les deux routeurs et les trois commutateurs (non représentés) sont remplacés par un unique commutateur/routeur. Représenter cet équipement avec l'ensemble des stations qui lui sont connectées. Donner la table de routage du commutateur/routeur.

3.3 Révision : commutation Ethernet, ARP et routage IP

Soit un inter-réseau constitué de stations, de commutateurs Ethernet et de routeurs selon le schéma ci-dessous (cf. figure 6). Le réseau est réalisé en suivant les standards Ethernet et en utilisant les protocoles de l'Internet. Les réseaux IP sont tous des réseaux de classe C (préfixe réseau de taille 24, notation CIDR en /24).

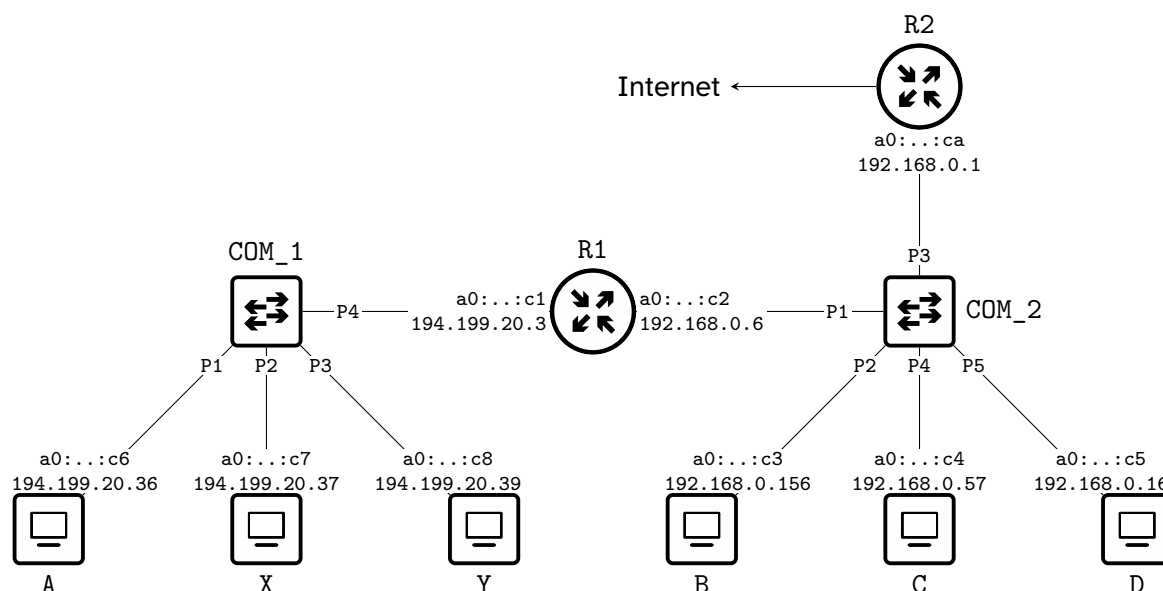


Figure 6 – Topologie inter-réseau.

Étude de la structure de cet inter-réseau

Question 78. Combien de réseaux IP y a-t-il dans cet inter-réseau ? Donner leurs adresses en notation CIDR.

Question 79. Donner la table de commutation complète du commutateur COM_2.

Question 80. Expliquer ce que contient le cache ARP d'une station.

Question 81. Donner la liste des stations qui peuvent apparaître dans le cache ARP de la station C.

Question 82. Donner la table de routage de R1, de façon à ce que toutes les stations représentées puissent communiquer entre elles et puissent également accéder à Internet.

4 Protocole TCP

4.1 Schéma d'échange à compléter

Dans cet échange (cf. figure 7) similaire à ceux vus en cours, renseigner les valeurs champs A_n , S_n , A_W et représenter l'état des tampons émission (avec S_n) et réception (avec A_n et W). À partir du dépôt des 2000 octets par l'application côté clientA, représenter tous les échanges jusqu'à acquittement complet.

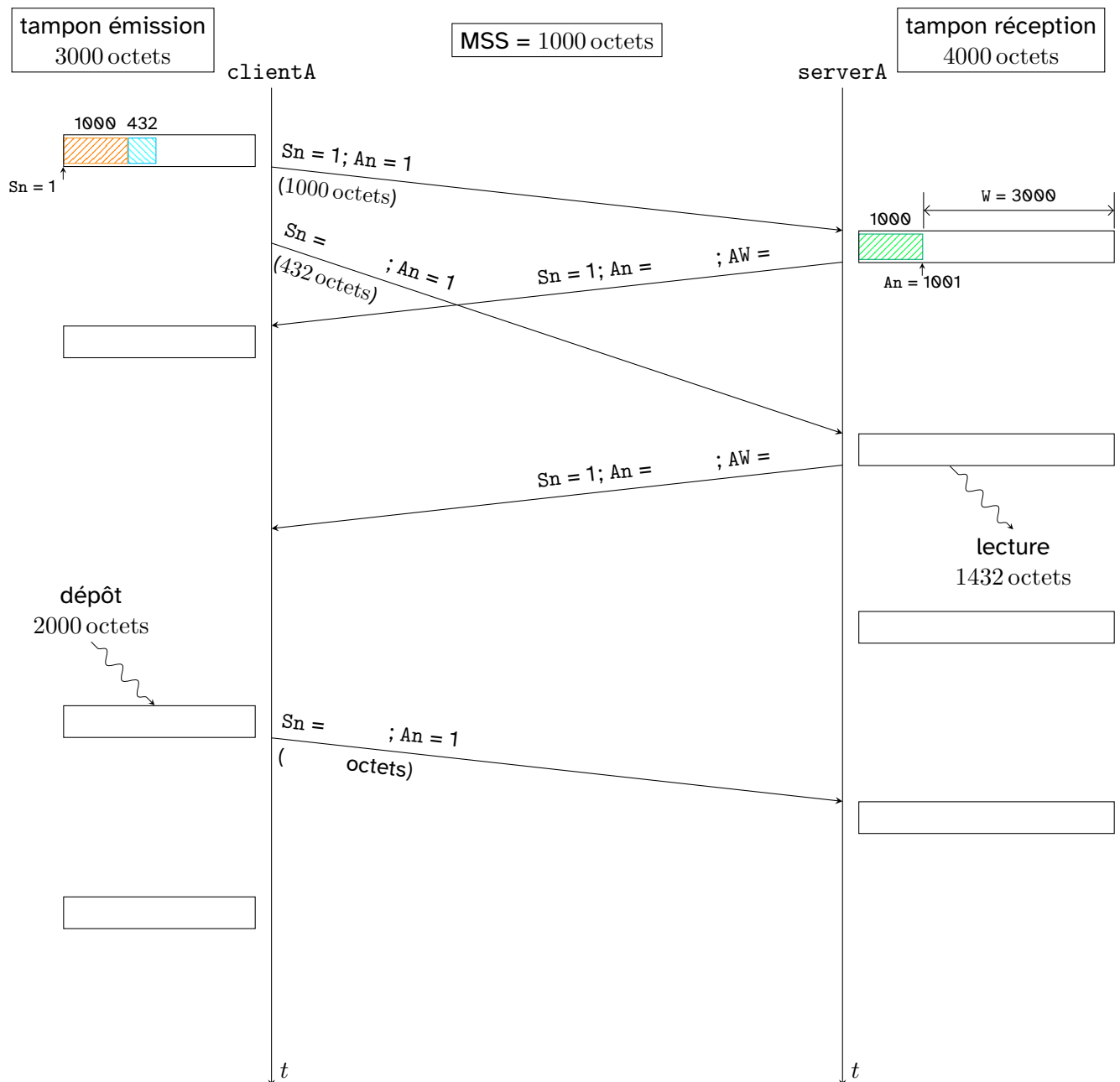


Figure 7 – Échange TCP entre clientA et serverA.

Question 89. Si le récepteur se contente simplement de confirmer cette bonne réception, combien d'octets de données sont contenus dans le champ *Données* de l'acquittement ?

Question 90. Représenter cet échange sur un diagramme similaire à ceux du cours. On supposera qu'aucune donnée n'a été encore émise côté serveur sur cette connexion.

4.3.2 Principe de segmentation des données

La valeur du MSS influe sur le nombre d'octets à envoyer.

Question 91. Si l'application souhaite émettre 3000 octets, peut-on les envoyer en un seul segment TCP ? Pourquoi ?

Question 92. Si ce n'est pas possible, combien de segments TCP faut-il alors envoyer successivement ?

Question 93. Sur le diagramme précédent, représenter les échanges nécessaires pour envoyer ces 3000 octets, acquittements inclus. On supposera que le tampon réception aura été vidé des 10 octets envoyés précédemment.

4.3.3 Principe de fonctionnement du contrôle de flux

Pour réguler l'envoi d'octets, client et serveur gèrent chacun un tampon réception pour y stocker les octets reçus. Ce tampon est vidé, totalement ou partiellement, au fur et à mesure en fonction des besoins de l'application. Lorsque le tampon est plein, l'émetteur doit suspendre ses envois tant que le tampon n'est pas suffisamment vidé pour recevoir de nouveaux blocs d'octets.

Question 94. Qu'indique la valeur du champ *AW* ?

Question 95. Que signifie une valeur de *AW* égale à 0 ?

Question 96. En fonction de la valeur du MSS et de *AW*, comment l'émetteur détermine-t-il le nombre maximum d'octets de données qu'il peut envoyer dans un segment TCP ?

Question 97. On rappelle que dans cet exemple les tampons en réception du client et serveur ont une taille de 4000 octets. L'application client souhaite émettre 5000 octets qui, une fois arrivés, ne seront pas consommés aussitôt par l'application côté serveur et resteront stockés dans le tampon en réception. Représenter ces échanges sur le diagramme en notant la valeur du champ *AW* pour chaque segment TCP et l'état des tampons (avec les indices S_n et A_n) à l'issue de chaque échange.

Question 98. Que se passe-t-il pour l'envoi des derniers 1000 octets ? Pourquoi ?

Question 99. Comment cette situation évoluera-t-elle ?

4.4 Paramètres à l'ouverture d'une connexion TCP

Soit une application cliente, située sur une machine d'adresse IP 191.11.11.11 qui souhaite établir une connexion TCP avec une application serveur située sur une machine d'adresse IP 192.12.12.12 et en attente sur le numéro de port 8765. On suppose que le système du client attribue le numéro de port 12345 pour cette connexion. Les deux machines sont chacune situées sur un réseau local Ethernet différent.

Les tampons émission et réception des programme TCP sont de 50 ko chacun.

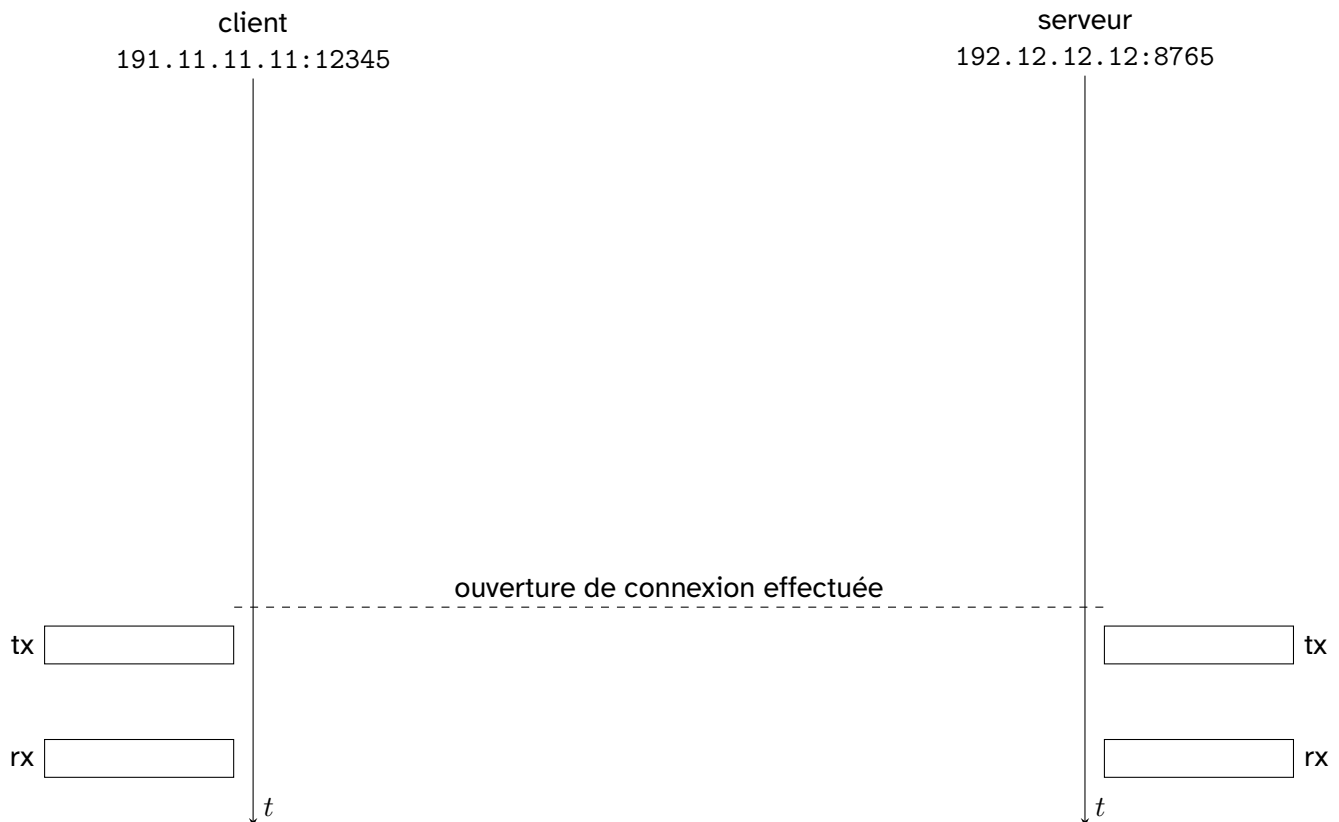


Figure 8 – Échange TCP pour une ouverture de connexion.

Question 100. Donnez la valeur des différents champs de l'en-tête du premier segment TCP envoyé pour demander l'ouverture de cette connexion.

Question 101. Représentez sur la figure 8 le diagramme d'échange de l'ouverture de cette connexion TCP.

Question 102. Représentez sur la figure 8 le délai RTT déterminé par le client et celui déterminé par le serveur. Quel paramètre de la connexion sera mis à jour grâce à ce délai RTT ?

Question 103. À l'issue de cette phase d'ouverture, quelle valeur de MSS sera utilisée par les programmes TCP côté client et côté serveur si on considère qu'aucune option IP ou TCP n'est nécessaire ?

Question 104. Représenter l'état des tampons émission et réception de chaque côté de cette connexion à l'issue de cette phase d'ouverture.

4.5 Échange de données sur une connexion TCP

Compléter la figure 9 en fonction des questions ci-dessous.

Soit une connexion TCP qui vient d'être ouverte entre un client (adresse IP 192.1.1.10, numéro de port 32432) et un serveur (adresse IP 97.1.1.49, numéro de port 80). La valeur du MSS négocié est de 1000 octets. Les tampons émission ont une capacité de 5000 octets et les tampons réception ont une capacité de 8000 octets des deux côtés de la connexion.

Le premier segment TCP échangé sur cette connexion est représenté dans le diagramme. On rappelle ci-dessous la signification de la représentation utilisée « ACK | PSH; $S_n = 1$; $A_n = 1$; $AW = 8000$ (100 octets) » pour un envoi de données :

ACK|PSH : drapeaux ACK et PSH présents;

$S_n = 1$: numéro de séquence du 1^{er} octet émis dans le segment de données (ici 1);

$A_n = 1$: numéro de séquence du prochain octet attendu (ici 1);

$AW = 8000$: le tampon réception de l'émetteur (ici le client) peut recevoir 8000 octets, le prochain octet attendu est l'octet n° A_n (ici 1);

(100 octets) : ce segment contient 100 octets de données.

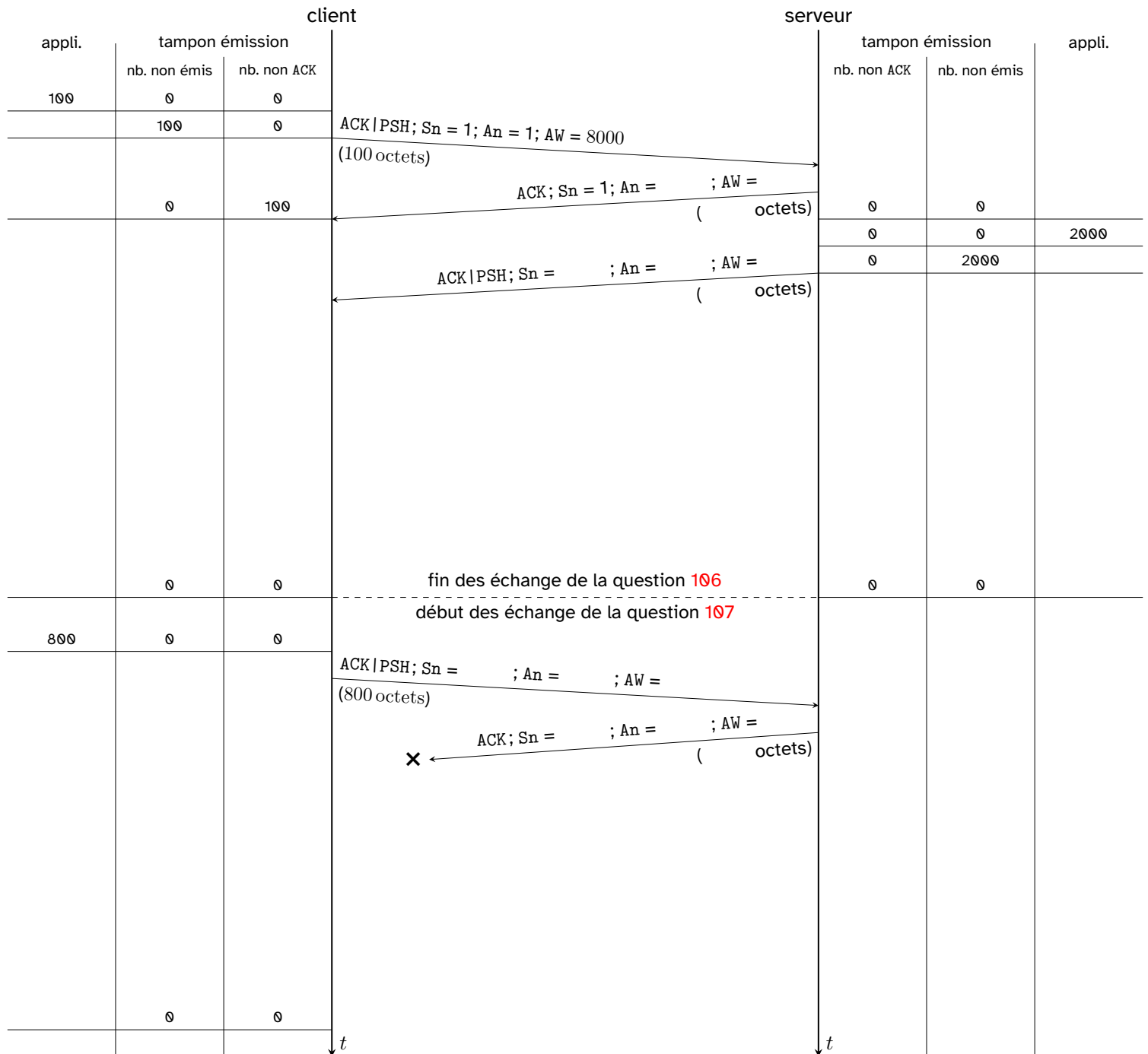
Question 105. Expliquer ce que fait le programme TCP côté serveur à la réception de ce premier segment. Compléter alors les champs du 2^e segment du diagramme en supposant qu'il n'y a pas de données à émettre par le serveur.

Question 106. Le programme application serveur souhaite ensuite envoyer un message de 2000 octets à l'application cliente. C'est ce qui est noté dans le diagramme par la valeur 2000 dans la colonne appli. à droite de la figure 9.

1. Représenter le tampon émission côté serveur avant l'envoi de ces 2000 octets par le programme TCP.
2. Combien de segments de données seront nécessaires pour réaliser cet envoi? Justifier.
3. Donner la valeur des champs de l'entête du premier segment TCP envoyé pour ce message : numéro port source, numéro port destination, S_n , A_n , AW .
4. Compléter le 3^e segment du diagramme.
5. Compléter à la suite sur le diagramme l'ensemble des segments nécessaires pour l'envoi de ce message, jusqu'à l'envoi et la réception du dernier acquittement. Appliquer les règles d'émission et de réception (acquittement) telles que définies en cours.
6. Représenter le tampon réception à la fin de cet échange. Quelle est la taille de la place libre dans ce tampon réception? Expliquer comment cette place pourra augmenter.

Question 107. Le programme application client dépose ensuite 800 octets dans le tampon émission du programme TCP. C'est ce qui est noté dans le diagramme par la valeur 800 dans la colonne appli. à gauche de la figure 9, dans la seconde portion du diagramme. Une erreur de transmission, qui est représentée par une croix sur le schéma, survient lors du transport du segment TCP d'acquittement envoyé par le serveur.

1. Qu'est-ce qui permettra au programme TCP client de détecter cette erreur?
2. Représenter graphiquement le scénario complet de cet échange, jusqu'à la réception correcte de toutes les données et des acquittements. Faire apparaître le délai de rémission.



5 Applications et encapsulation

5.1 Analyse d'une trame

La trame Ethernet ci-dessous, capturée sur un réseau TCP/IP, contient une requête HTTP, envoyée par un navigateur web à un serveur HTTP. La station du navigateur web et celle du serveur HTTP sont sur le même réseau Ethernet.

Cette capture donne le flux d'octets en hexadécimal et ne contient ni le préambule ni le code de détection d'erreurs FCS. Sur la partie droite, la correspondance du caractère ASCII de chaque octet est affichée (si elle existe, sinon un point est affiché).

Le flux d'octets de la trame est représentée par une succession de lignes de 16 octets. La colonne de gauche indique l'indice (en hexadécimal) du premier octet de chaque ligne du flux.

0000	08 00 4e 33 5b 00 08 00 20 87 b0 44 08 00 45 00	..N3[... ..D..E.
0010	00 7f 1c dd 40 00 40 06 34 11 c1 37 33 83 c1 37@.@.4..73..7
0020	33 99 c6 fa 00 50 cc 5e 19 88 d6 da 37 a5 50 18	3....P.^....7.P.
0030	c5 f8 0f b4 00 00 47 45 54 20 2f 69 6e 64 65 78GET /index
0040	2e 68 74 6d 6c 20 48 54 54 50 2f 31 2e 30 0d 0a	.html HTTP/1.0..
0050	55 73 65 72 2d 41 67 65 6e 74 3a 20 68 61 72 72	User-Agent: harr
0060	79 70 6f 74 74 65 72 0d 0a 41 63 63 65 70 74 3a	ypotter..Accept:
0070	20 74 65 78 74 2f 70 6c 61 69 6e 0d 0a 41 63 63	text/plain..Acc
0080	65 70 74 3a 20 68 74 6d 6c 0d 0a 0d 0a	ept: html....

5.1.1 Encapsulation des unités de données

Cette requête HTTP est un message de niveau application, encapsulé dans un paquet de niveau transport TCP, lui-même encapsulé dans un paquet de niveau réseau IP, lui-même encapsulé dans la trame Ethernet au niveau liaison.

L'en-tête du paquet IP a une longueur de 20 octets, soit cinq mots de 4 octets (valeur 5 du 15^e octet, 1^{re} ligne), et son champ *Protocol* contient 0x06 (23^e octet, 2^e ligne), ce qui signifie que le champ Data contient un segment TCP.

Question 108. Repérer sur la capture ci-dessus comment cette encapsulation est réalisée : surligner avec des couleurs différentes les différents entêtes des unités de données encapsulées dans cette trame capturée (Ethernet, IP, TCP) ainsi que les données applicatives (HTTP).

5.1.2 Identification des champs

Question 109 (niveau liaison).

1. Quelle est l'adresse Ethernet de la station du navigateur ?
2. Quelle est l'adresse Ethernet de la station du serveur HTTP ?
3. Comment le récepteur va déterminer que le champ *Données* contient un paquet IP ?

Question 110 (niveau réseau).

1. Quelle est l'adresse IP du serveur (en hexadécimal et en notation décimale pointée) ?
2. Quelle est l'adresse IP du navigateur (en hexadécimal et en notation décimale pointée) ?

Question 111 (niveau transport).

1. Quel est le numéro du port utilisé par le navigateur ?
2. Quel est le numéro du port utilisé par le serveur ?

5.2 Analyse d'une trace Wireshark

Question 112. On considère la trace Wireshark de la figure 10.

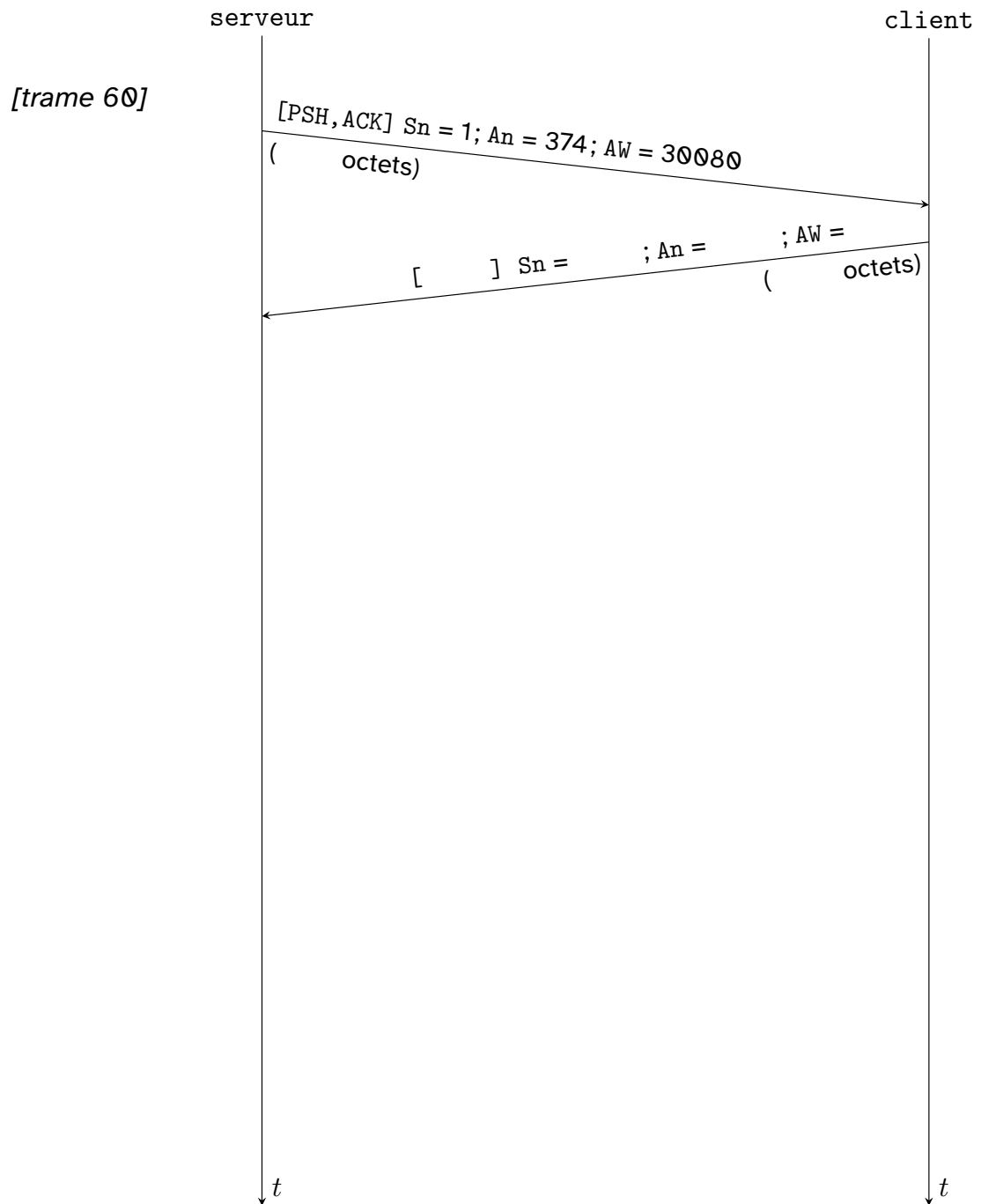
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Len	Info
43	2.555406675	192.168.0.17	188.184.21.108	TCP	74	55062 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460
56	2.587253220	188.184.21.108	192.168.0.17	TCP	74	80 → 55062 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=28960 Len=0
57	2.587326771	192.168.0.17	188.184.21.108	TCP	66	55062 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64256 Len=0
58	2.587739022	192.168.0.17	188.184.21.108	HTTP	439	GET / HTTP/1.1
59	2.623381787	188.184.21.108	192.168.0.17	TCP	66	80 → 55062 [ACK] Seq=1 Ack=374 Win=30080 Len=0
60	2.624658159	188.184.21.108	192.168.0.17	HTTP	944	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
61	2.624714112	192.168.0.17	188.184.21.108	TCP	66	55062 → 80 [ACK] Seq=374 Ack=879 Win=63488 Len=0
62	2.625018217	192.168.0.17	188.184.21.108	TCP	66	55062 → 80
63	2.625165692	188.184.21.108	192.168.0.17	TCP	66	80 → 55062
64	2.656812976	188.184.21.108	192.168.0.17	TCP	66	80 → 55062
65	2.657326771	192.168.0.17	188.184.21.108	TCP	66	55062 → 80

▶	Frame 58: 439 bytes on wire (3512 bits), 439 bytes captured (3512 bits) on interface wlp0s20f3, id 0
▶	Ethernet II, Src: IntelCor_34:c7:fe (48:51:c5:34:c7:fe), Dst: Sagemcom_9d:b4:0c (24:7f:20:9d:b4:0c)
▶	Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.17, Dst: 188.184.21.108
▶	Transmission Control Protocol, Src Port: 55062, Dst Port: 80, Seq: 1, Ack: 1, Len: 373
▶	Hypertext Transfer Protocol

0000	24 7f 20 9d b4 0c 48 51 c5 34 c7 fe 08 00 45 00	\$ HQ . 4 E .
0010	01 a9 77 da 40 00 40 06 2e 97 c0 a8 00 11 bc b8	. w @ . @
0020	15 6c d7 16 00 50 57 95 a1 8d 46 6b cc 05 80 18	. l . . PW . . . Fk
0030	01 f6 94 79 00 00 01 01 08 0a bc 74 b8 10 41 a4	. . . y t . . A .
0040	05 ff 47 45 54 20 2f 20 48 54 54 50 2f 31 2e 31	. . GET / HTTP/1.1
0050	0d 0a 48 6f 73 74 3a 20 69 6e 66 6f 2e 63 65 72	. . Host: info.cer
0060	6e 2e 63 68 0d 0a 55 73 65 72 2d 41 67 65 6e 74	n.ch . . Us er-Agent
0070	3a 20 4d 6f 7a 69 6c 6c 61 2f 35 2e 30 20 28 58	: Mozill a/5.0 (X
0080	31 31 3b 20 55 62 75 6e 74 75 3b 20 4c 69 6e 75	11; Ubun tu; Linu
0090	78 20 78 38 36 5f 36 34 3b 20 72 76 3a 31 30 39	x x86_64 ; rv:109
00a0	2e 30 29 20 47 65 63 6b 6f 2f 32 30 31 30 30 31	.0) Geck o/201001
00b0	30 31 20 46 69 72 65 66 6f 78 2f 31 31 33 2e 30	01 Firef ox/113.0
00c0	0d 0a 41 63 63 65 70 74 3a 20 74 65 78 74 2f 68	. . Accept : text/h

Figure 10 – Capture Wireshark d'une communication TCP à partir du client. Seules les trames des paquets IP transportant des segments TCP sont présentées et les informations des trames 62 à 65 ont été supprimées. En haut : échange TCP; au milieu : détail de la pile protocolaire de la trame numéro 58; en bas : représentation hexadécimale (tronquée) de la trame numéro 58.

1. Donnez l'adresse MAC, IP et le port du client et du serveur. **Attention**, une de ces informations n'est en fait pas accessible. Indiquez laquelle et justifiez votre réponse.
2. Donnez la définition des éléments **Seq=**, **Ack=**, **Win=** et **Len=**.
3. Nommez les trois phases d'une connexion TCP et associez les numéros de trames qui correspondent en face de ces noms
4. Repérez les deux segments TCP qui transportent des messages HTTP. Pour la réponse HTTP (trame 60), donnez la taille du message HTTP transmis en nombre octets. Comment avez-vous procédé pour trouver ce nombre ?
5. Sur le diagramme d'échange suivant, complétez les échanges TCP à partir de la trame 60 (réponse HTTP) jusqu'à la trame 65 en considérant que la trame 62 initie la terminaison de la connexion. Vous représenterez les drapeaux, les numéros de Sn, An, la fenêtre de réception ainsi que le nombre d'octets transmis. On considérera que les tampons ne sont jamais vidés par l'application et on ne les représentera pas sur le diagramme.



Question 113. Le code hexadécimal de la trame 58 est donné en bas de la figure 10.

À l'aide des formats des protocoles Ethernet, IP et TCP donnés en annexe A

1. Soulignez dans la représentation hexadécimale de la figure 10, les adresses MAC destination puis source. **Attention**, le préambule Ethernet n'est pas représenté sur Wireshark.
2. Entourez la taille totale du paquet IP, l'IP source et l'IP destination. **Attention**, considérez ici que le paquet IP ne contient pas d'option.
3. Mettez entre parenthèses les numéros de port TCP destination et source ainsi que les numéros de séquence et d'acquittement
4. Indiquez quelle est la version de HTTP utilisée et l'URL demandée dans le message HTTP.

5.3 Échange DHCP

Question 114. Soit la trace Wireshark d'un échange DHCP repris sur la figure 11.

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help						
Filter: <input type="text"/> Expression... Clear Apply Save						
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
153	9.061832	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342	DHCP Discover - Transaction ID 0x1cfe382f
155	9.072024	192.168.43.1	255.255.255.255	DHCP	351	DHCP Offer - Transaction ID 0x1cfe382f
156	9.072475	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	353	DHCP Request - Transaction ID 0x1cfe382f
157	9.095737	192.168.43.1	255.255.255.255	DHCP	363	DHCP ACK - Transaction ID 0x1cfe382f

Ethernet II, Src: Universa_51:78:ce (fc:4d:d4:51:78:ce), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Internet Protocol Version 4, Src: 0.0.0.0, Dst: 255.255.255.255
User Datagram Protocol, Src Port: 68 (68), Dst Port: 67 (67)
Bootstrap Protocol (Request)
Message type: Boot Request (1)
Hardware type: Ethernet (0x01)
Hardware address length: 6
Hops: 0
Transaction ID: 0x1cfe382f
Seconds elapsed: 0
Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
Client IP address: 0.0.0.0
Your (client) IP address: 0.0.0.0
Next server IP address: 0.0.0.0
Relay agent IP address: 0.0.0.0
Client MAC address: universa_51:78:ce (fc:4d:d4:51:78:ce)
Client hardware address padding: 00000000000000000000
Server host name not given
Boot file name not given
Magic cookie: DHCP
Option: (53) DHCP Message Type (Request)
Option: (61) Client identifier
Option: (50) Requested IP Address
Length: 4
Requested IP Address: 192.168.43.182
Option: (54) DHCP Server Identifier

Figure 11 – Trace Wireshark d'un échange DHCP. La partie basse détaille le message 156 (DHCP Request). Ici, *Bootstrap Protocol* est le terme utilisé par Wireshark pour désigner le protocole DHCP.

1. Représentez la pile des protocoles utilisés par le message 156 (DHCP Request).

2. Quelle est l'adresse IP du serveur DHCP ? Quelle autre information est utilisée par la couche transport pour identifier le service DHCP ?
3. Quelle sera l'adresse IP finale du client ? Dans le message *DHCP Request* (numéro 156), quelle est l'adresse IP utilisée par le client ? Pourquoi ?
4. Décrivez avec vos propres mots ce que signifie cet échange de quatre messages.

6 VLANs

6.1 Inter-réseau constitué de trois VLANs

Soit un inter-réseau réalisé avec un commutateur/routeur COM/ROUT, représenté sur le schéma ci-dessous (cf. figure 12).

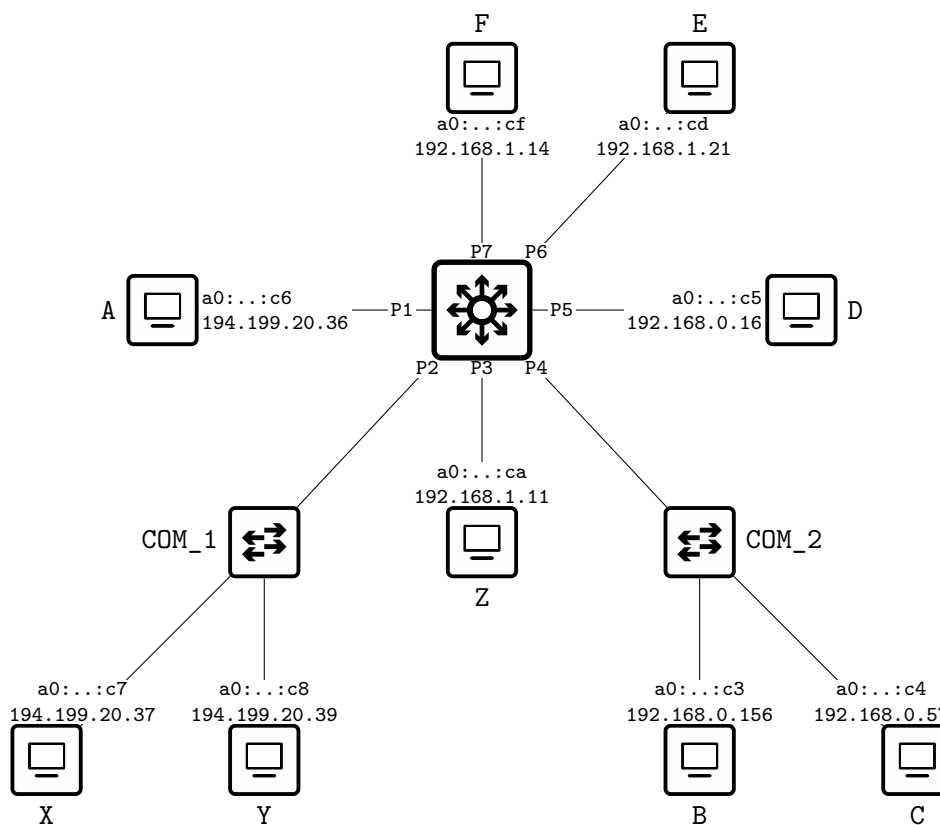


Figure 12 – Topologie inter-réseau à trois VLANs.

Ce commutateur/routeur relie trois réseaux virtuels (VLAN) : 194.199.20.0/25, 192.168.0.0/24 et 192.168.1.0/24. Comme on le voit sur la figure 12, la constitution de ces VLAN est faite statiquement.

Les adresses du commutateur/routeur sont les suivantes :

- 194.199.20.1 sur le réseau 194.199.20.0.
L'interface associée (vlan1) à cette adresse IP a pour adresse MAC a0:::b0.
- 192.168.0.1 sur le réseau 192.168.0.0.
L'interface associée (vlan2) à cette adresse IP a pour adresse MAC a0:::b1.
- 192.168.1.1 sur le réseau 192.168.1.0.
L'interface associée (vlan3) à cette adresse IP a pour adresse MAC a0:::b2.

Question 115. Entourez sur la figure 12 les stations appartenant au même VLAN.

Question 116. La station Z envoie une trame Ethernet en diffusion (adresse destination ff:ff:ff:ff:ff:ff). Quelles stations recevront cette trame ?

Question 117. Donner la table de routage de la station Y (deux lignes suffisent).

Question 118. Donner la table de routage du commutateur/routeur.

Question 119. Donner la table de commutation du commutateur/routeur.

Question 120. La station Y envoie un paquet IP à la station A.

1. Expliquer précisément ce qui est exécuté dans la station Y pour permettre l'envoi du paquet.
2. Quelle adresse MAC destination contiendra la trame qui contient le paquet émis par Y ? Justifier votre réponse.
3. Le commutateur/routeur fonctionne-t-il en tant que commutateur ou en tant que routeur ? Décrire ce qu'il fait pour acheminer ce paquet.

Question 121. Reprendre la question 120 lorsque la station Y envoie un paquet IP à la station B.

6.2 Transformation d'une installation Ethernet

Les administrateurs de l'inter-réseau dont le schéma est donné ci-dessous (cf. figure 13) ont souhaité faire évoluer leur installation. Ils ont donc remplacé les commutateurs COM_1 et COM_2 ainsi que le routeur R1 par un unique équipement de type « commutateur/routeur » et appelé COM/ROUT.

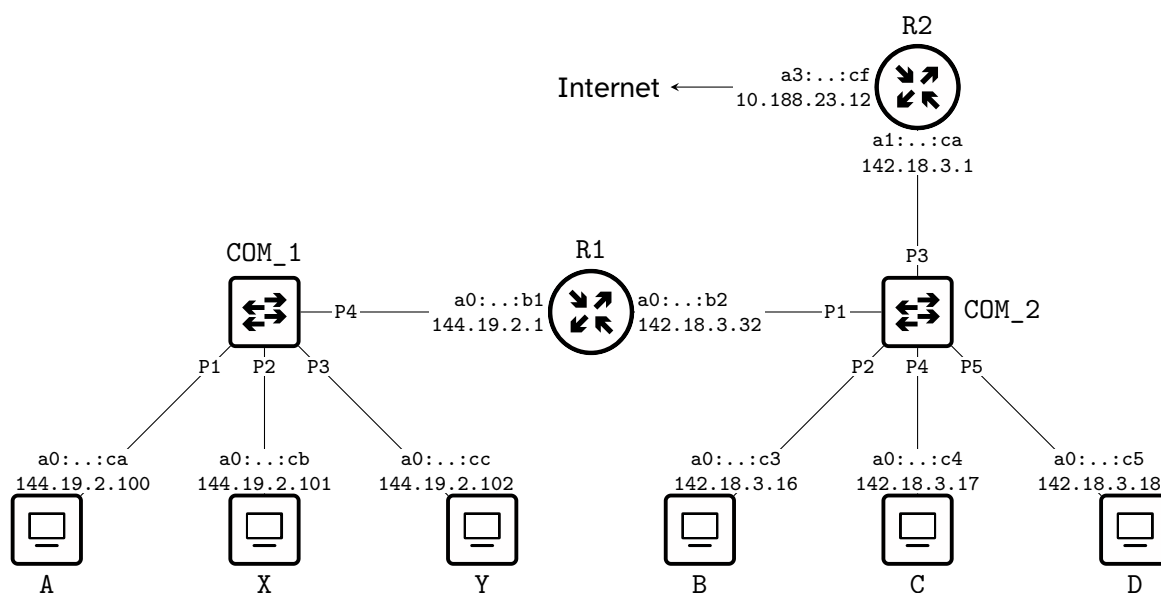


Figure 13 – Topologie inter-réseau à transformer.

Dans la suite de cet exercice, on va conserver (en partie) les numéros de port de rattachement des stations. La correspondance entre les ports des deux commutateurs et ceux du commutateur/routeur est la suivante :

- les ports P_i de COM_1 deviennent les ports P_i de COM/ROUT, où $i \in \{1, 2, 3, 4\}$;
- les ports P_j de COM_2 deviennent les ports P_{1j} de COM/ROUT, où $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

Par exemple, le port P2 de COM_2 devient le port P12 de COM/ROUT. Par ailleurs, les adresses MAC et IP de COM/ROUT dans chacun des réseaux seront celles qu'utilisait le routeur R1 dans ces mêmes réseaux. On considérera que les réseaux 144.19.2.0 et 142.18.3.0 sont des réseaux CIDR /24.

6.2.1 Structure de l'inter-réseau

Question 122. Quel est l'intérêt pour les administrateurs de cet inter-réseau d'effectuer ce changement ?

Question 123. Représenter graphiquement la nouvelle installation de cet inter-réseau (ne pas noter les adresses des stations).

Question 124. Combien de réseaux Ethernet a-t-on dans cet inter-réseau ? Justifier.

Question 125. Combien de réseaux IP a-t-on dans cet inter-réseau ? Justifier.

6.2.2 Configuration des stations et de COM/ROUT

Question 126. Donner la table de routage de la station A et D.

Question 127. Lister les machines dont les adresses IP/MAC peuvent apparaître dans le cache ARP de A.

Question 128. Donner la table de commutation complète de COM/ROUT.

Question 129. Donner la table de routage de COM/ROUT.

6.2.3 Étude du fonctionnement de COM/ROUT

Question 130. La station A envoie un paquet IP à la station Y.

1. Quelle règle de la table de routage de A sera appliquée ? Justifier.
2. En déduire l'adresse MAC destination de la trame envoyée par A.
3. Quelle fonction de COM/ROUT sera utilisée : la commutation ou le routage ? Justifier votre réponse.
4. En déduire combien de trames sera/seront nécessaire(s) pour acheminer ce paquet de A à Y. Donner, si une seconde trame est nécessaire, les adresses source et destination de cette seconde trame.

Question 131. La station A envoie un paquet IP à la station C.

1. Quelle règle de la table de routage de A sera appliquée ?
2. En déduire l'adresse MAC destination de la trame envoyée par A.
3. Quelle fonction de COM/ROUT sera utilisée : la commutation ou le routage ? Justifier votre réponse.
4. En déduire combien de trames sera/seront nécessaire(s) pour acheminer ce paquet de A à C. Donner, si une seconde trame est nécessaire, les adresses source et destination de cette seconde trame.

Question 132. La station A envoie un paquet IP à la station d'adresse IP 155.5.5.5.

1. Quelle règle de la table de routage de A sera appliquée ?
2. Quelle règle de la table de routage du COM/ROUT sera appliquée ?
3. En déduire combien de trames au minimum sera/seront nécessaire(s) pour acheminer ce paquet de A à la station d'adresse 155.5.5.5. Donner, si une seconde trame est nécessaire, les adresses source et destination de cette seconde trame.

A Format des entêtes/unités de données

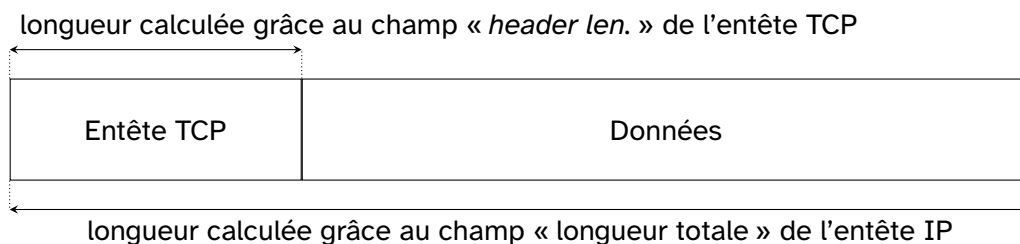
Ethernet

8 octets	6 octets	6 octets	2 octets	46 octets à 1500 octets	4 octets
préambule	adresse destination	adresse source	EtherType	données	FCS

IP

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1								
version				header len.				type de service								longueur totale																							
identification										flags										fragment offset																			
TTL								protocole								somme de contrôle (<i>checksum</i>)																							
adresse IP source																																							
adresse IP destination																																							
Options (0-40 octets) ...																																							
Data (0-65515 octets) ...																																							

TCP



0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
port source										port destination																					
numéro de séquence S_n																															
numéro d'acquittement A_n																															
header len.		réservé		drapeaux (<i>flags</i>)								fenêtre (AW)																			
somme de contrôle (<i>checksum</i>)										pointeur de données urgentes (si <i>flag</i> URG == 1)																					
Options																															