

1 Approche des réseaux

Exercice 1 Commutation de circuits vs commutation de paquets

1. Quels sont les avantages/inconvénients d'un réseau à commutation de paquets mode datagramme sur un réseau à commutation de circuits ?
2. Soit un fichier F transmis sur un chemin composé de Q liaisons. Chaque liaison transmet à Rb/s . Le réseau est peu chargé donc il n'y a pas d'attente dans les nœuds intermédiaires et le délai de propagation est négligeable. Le fichier F est découpé en M paquets de chacun L bits.
 - Supposons que le réseau soit un réseau à commutation de circuits. Le taux de transmission entre la source et la destination est de Rb/s . Le temps d'établissement d'un circuit est de Ts secondes. L'émetteur ajoute par le biais de l'encapsulation h bits d'en-tête au fichier entier. Combien de temps cela prend-il d'envoyer le fichier de la source vers la destination ?
 - Supposons que le réseau soit un réseau à commutation de paquets mode datagramme. L'émetteur ajoute par le biais de l'encapsulation $2h$ bits d'en-tête à chaque paquet. Combien de temps cela prend-il d'envoyer le fichier de la source vers la destination ?
 - Supposons que le réseau soit un réseau à commutation de paquets avec des circuits virtuels (VC). Le temps d'établissement d'un VC est de Ts secondes. L'émetteur ajoute par le biais de l'encapsulation h bits d'en-tête à chaque paquet. Combien de temps cela prend-il d'envoyer le fichier de la source vers la destination ?

Exercice 2 Calcul de débit et de délai

1. Soit une série de paquets de même taille émis d'une machine hôte vers une machine récepteur traversant des routeurs. Donner les différents types de délais qui peuvent intervenir dans la communication de bout en bout pour un paquet ? Quels sont les délais qui ne sont pas constants ?
2. Soit deux hôtes A et B séparés par une distance de 10 000 km et reliés par une liaison à 1Mb/s. On suppose la vitesse de propagation de 250 000 km/s. A envoie un fichier de 400 000 bits vers B.
 - Calculer le temps de latence (délai de bout en bout) pour émettre le fichier.
 - Quel est le nombre maximum de bits pouvant être en transit sur la liaison ?
 - Quel est le nombre maximum de bits pouvant être envoyés sur la liaison avant de recevoir un accusé de réception ?

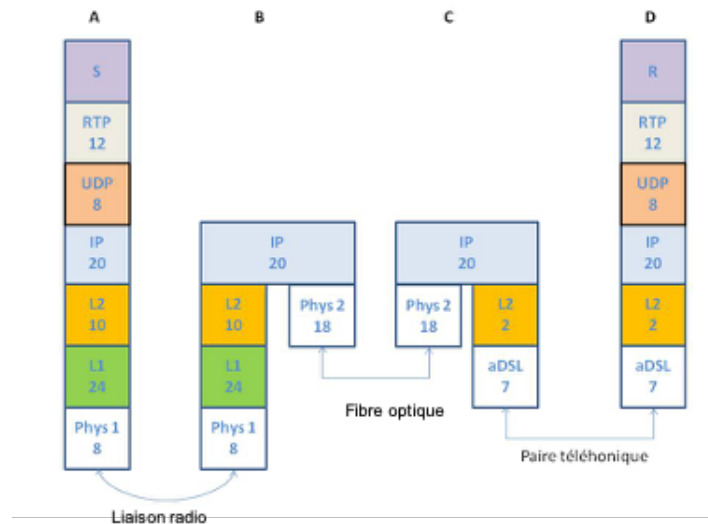
On considérera comme négligeable le temps d'attente dans les buffers et les files d'attente des routeurs.

3. Une voie de communication a un délai de propagation de 1 ms, et un débit de 8 Mb/s est disponible en half-duplex pour les utilisateurs. A et B sont deux utilisateurs qui communiquent sur cette voie. A envoie 10 ko de données puis B envoie 200 ko et enfin, A répond avec 20 ko. Le passage d'un sens de transmission à l'autre se fait sans délai à la fin de la réception d'un message. Faites un schéma pour vous aider.
 - Combien de millisecondes prendra cet échange ?
 - Si on remplace ko par Kio, quel sera le résultat ?

2 Architecture des réseaux

Exercice 3 Repréciser la notion de PDU et de SDU. Expliquer le mécanisme d'encapsulation effectué dans le modèle en couche OSI à l'aide des termes suivants : données, trames, segments, bits, paquets. En déduire l'ordre d'encapsulation. Faire également le parallèle avec le modèle TCP/IP.

Exercice 4 Sur l'image ci-dessous, quatre machines sont décrites : A, B, C et D. Elles sont reliées par des voies physiques différentes. Chaque machine abrite une ou plusieurs piles protocolaires. Chaque entité protocolaire porte un nom en dessous duquel a été écrite la taille de son enveloppe protocolaire, en nombre d'octets. On suppose que l'entité S de A transmet un paquet de données de 64 octets (taille des données utiles).



- Combien de liens physiques sont mis en œuvre dans ce réseau ?
- Quelles sont, dans cette liste, les entités homologues ?
 - L2 en A et L2 en D
 - L1 et IP en B car situées au-dessus de la couche physique
 - L2 en A et L2 en B
 - IP en A, B, C, D
 - UDP en A et UDP en D
 - L2 en B et L2 en C
- Quelle est la taille, en nombre d'octets, du PDU dans les entités RTP ?
- Quelle est la taille, en nombre d'octets, du PDU sur la couche physique entre A et B ?
- Quel est le rendement sur le lien A - B (en pourcentage exprimé) ?
- Quelle est la taille, en nombre d'octets, du PDU dans l'entité IP en B ?
- Quelle est la taille, en nombre d'octets, du SDU de l'entité IP en C ?
- Quelle est la taille, en nombre d'octets, du PDU sur la couche physique entre C et D ?

Exercice 5 Donner, pour chacun des équipements ci-dessous, la couche OSI au niveau de laquelle ils fonctionnent et justifier :

- Routeur
- Concentrateur/Hub
- Commutateur/Switch,
- Pont/Bridge.

Exercice 6 Quelles adresses sont manipulées par :

- un switch/commutateur ?
- un hub/concentrateur ?
- un routeur ?

Exercice 7 Dans le modèle de référence OSI, quelles sont les couches chargées d'effectuer les opérations suivantes :

- Encapsulation des segments en paquets
- Réception d'un flux de bits et formatage en une trame pour la couche supérieure
- Contrôle de bout en bout
- Détermination du chemin dans le réseau

Exercice 8 Quelles couches du modèle OSI possèdent les mêmes fonctions que la couche d'accès réseau du modèle TCP/IP

- Réseau
- Transport
- Physique
- Liaison de données

Exercice 9 Lors de l'encapsulation, quel type d'adresse est ajouté dans le modèle TCP/IP

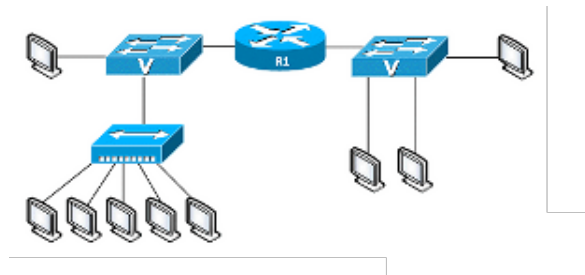
- au niveau de la couche d'accès réseau
- au niveau de la couche réseau IP
- au niveau de la couche transport TCP/UDP

Exercice 10 Quelle couche du modèle OSI peut être amenée à fragmenter ? Pourquoi ?

Exercice 11 Quel protocole de la couche application permet de transférer des fichiers entre un client et un serveur ? Quel protocole permet de transférer des e-mails entre les serveurs ?

- pop
- telnet
- smtp
- ftp

Exercice 12 Soit le schéma ci-dessous. Combien y-a-t-il de domaines de diffusion (broadcast) et de collision :

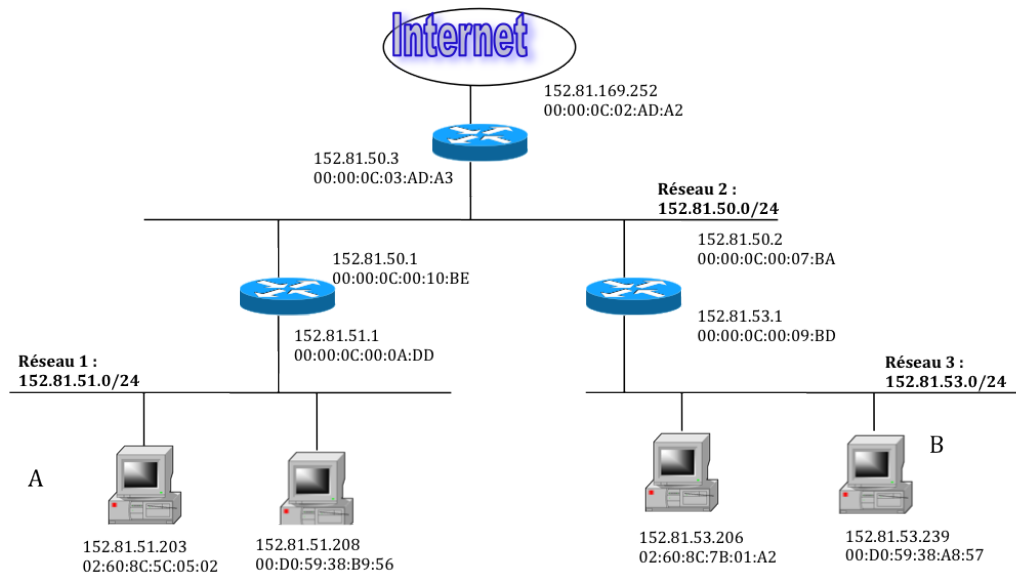


- 1 domaine de diffusion et 7 domaines de collision
- 2 domaines de diffusion et 5 domaines de collision.
- 1 domaine de diffusion et 12 domaines de collision
- 2 domaines de diffusion et 7 domaines de collision
- 2 domaines de diffusion et 12 domaines de collision

Exercice 13 Soit le réseau ci-dessus où chaque équipement possède à la fois une adresse IP et une adresse Ethernet.

Pour la machine A, l'adresse IP est 152.81.51.203 et l'adresse MAC est 02 :60 :8C :5C :05 :02. A ouvre une session telnet sur un serveur localisée sur la machine B.

Préciser la trame qui sera émise sur le Réseau 1 avec notamment



- les adresses MAC source et destination
- les adresses IP source et destination
- les ports source et destination

Préciser la trame qui sera émise sur le Réseau 2 avec notamment

- les adresses MAC source et destination
- les adresses IP source et destination
- les ports source et destination

Préciser la trame qui sera émise sur le Réseau 3 avec notamment

- les adresses MAC source et destination
- les adresses IP source et destination
- les ports source et destination

CORRECTIONS

Correction 1

1. Avantages/inconvénients d'un réseau à commutation de paquets mode datagramme sur un réseau à commutation de circuits

- La commutation de circuits est orientée connexion, Cela implique la réservation de ressources notamment au niveau des noeuds intermédiaires. L'avantage est de pouvoir garantir une certaine qualité de service. On refuse la connexion si pas assez de ressources. Par contre, cela induit de la complexité. Le principe de la commutation de paquets est **plus simple à mettre en œuvre**. Pas de gestion de ressources. Le réseau fait le mieux possible pour acheminer les données (best effort).
- La commutation de circuits implique l'établissement d'un seul chemin pour toute la session. Si un des noeuds intermédiaires tombe en panne, la connexion doit être réinitialisée. Dans le cas d'un réseau à commutation de paquets (mode datagramme), chaque paquet est auto-suffisant et les paquets d'une même session peuvent utiliser des chemins différents → **plus de flexibilité et plus de résilience**.
- La commutation de paquets est **plus efficace** car plus adaptée pour satisfaire plus d'utilisateurs et des applications avec des contraintes diverses. En effet, quand le circuit est établi, il ne peut être réaffecté à un autre utilisateur même s'il n'y a pas de transfert de données en cours sur ce circuit. La commutation de circuits est plus adaptée pour des applications gérant de longues sessions avec une exigence de bande passante régulière (i.e. la transmission s'effectue à un débit constant). Il faut prendre en compte le temps d'établissement du circuit.

2. Illustration avec un transfert de fichiers

- Cas avec commutation de circuits.
Le temps d'établissement d'un circuit est de Ts . En considérant, qu'il n'y a aucun délai de transit dans un commutateur de circuits, la durée totale pour émettre le fichier est de $Ts + (h + ML)/R$.
En mode commutation de circuits, pas de mécanisme de "store-and-forward". Le temps d'établissement d'un circuit est de Ts . L'en-tête se trouve uniquement au début du fichier. La taille du la donnée émise est de $h + LM$.
- Cas avec commutation de paquets (mode datagramme).
La taille d'un paquet est de $2h + L$. La durée de transmission d'un paquet sur une liaison est de $(2h + L)/R$.
Le temps pour émettre le premier des M paquets du fichier au destinataire est de $Q(2h + L)/R$. Chaque $(2h + L)/R$ secondes, un nouveau paquet des $M - 1$ paquets restant arrive à destination. La durée totale pour émettre le fichier est de $(Q + M - 1)(2h + L)/R$. En effet, la taille d'un paquet est $2h + L$. Avec le mode datagramme, l'en-tête a une taille plus importante (paquet auto-suffisant).
- Cas avec commutation de paquets (mode circuit virtuel).
Le temps d'établissement d'un circuit est de Ts . La taille d'un paquet est de $h + L$. La durée de transmission d'un paquet sur une liaison est de $(h + L)/R$.
Le temps pour remettre le premier des M paquets du fichier au destinataire est de $Q(h + L)/R$. Chaque $(h + L)/R$ secondes, un nouveau paquet des $M - 1$ paquets restant arrive à destination. La durée totale pour émettre M paquets est de $Ts + Q(h + L)/R + (M - 1)(h + L)/R$ soit $Ts + (Q + M - 1)(h + L)/R$.
En effet, la taille d'un paquet est maintenant $h + L$. Avec le mode circuit virtuel, l'en-tête a une taille plus petite qu'en mode datagramme.

Correction 2

— Exo 2.1

Les 4 principaux types de délai qui peuvent affecter le temps de réponse de bout en bout sur un lien de communication sont :

- Délai de transmission
- Délai de propagation
- Délai d'attente dans les buffers et les files d'attente dans les noeuds de communication.
- Délai de traitement du paquet (à l'émission et dans les nœuds intermédiaires)

Le délai qui est variable est le délai d'attente dans les buffers et les files d'attente dans les routeurs ; car cela dépend de la congestion dans le réseau que l'émetteur et le récepteur ne maîtrisent pas. On pourrait aussi considérer que le temps de traitement est constant si les conditions de l'expérimentation ne changent pas côté émetteur et côté récepteur.

— Exo 2.2

- latence = délai de transmission + délai de propagation. On considère le temps d'attente au niveau des files d'attente comme négligeable.

$$\text{latence} = 400\,000/1\,000\,000 + 10\,000/250\,000 = 4/10 + 1/25 = 2/5 + 1/25 = 0,4 + 0,04 = 0,44 \text{ s}$$

- Cela correspond au produit du temps de propagation par le débit binaire (bande passante ou capacité) $B * d_{prop}$ soit :

$$1\,000\,000 * (10\,000/250\,000) = 1\,000\,000 / 25 = 40\,000 \text{ bits}$$

- Cela correspond au produit du RTT par le débit binaire (bande passante) $B * 2d_{prop}$ s

$$1\,000\,000 * (2 * 10\,000/250\,000) = 1\,000\,000 / 25 * 2 = 40\,000 * 2 \text{ bits} = 80\,000 \text{ bits}$$

Il s'agit du produit débit-délai ou (BDP : Bandwidth Delay Product)

— Exo 2.3

$$233 \text{ ms} : 3\text{ms} + 10\text{ms} + 200\text{ms} + 20\text{ms}$$

L'idée n'est pas forcément de refaire le calcul mais de leur indiquer 1Kio (kibi-octets) = 1024 octets (2^{10})

Correction 3

- PDU (Protocole Data Unit) de la couche n est composée : SDU (Service Data Unit) + PCI Protocol Information) c-à-d les informations ajoutées au début de la SDU et/ou à la fin. Le SDU correspond aux données utilisateurs ou au PDU de la couche supérieure (n+1).
- Mécanisme d'encapsulation :
 - Les données des couches supérieures (couche 7,6,5) sont intégrées dans des segments de couche 4.
 - Les segments de couche 4 sont incorporés à des paquets de couche 3.
 - Les paquets de couche 3 sont placés dans des trames de couche 2.
 - Les trames de couche 2 circulent dans un média physique sous forme d'une série de bits.

Cette séquence d'étapes s'appelle l'encapsulation. Faire un schéma si nécessaire.

Correction 4 Pour rappel, deux entités protocolaires identiques (i.e. exécutant le même ensemble de règles aux deux extrémités d'une voie de communication) ne sont homologues que si elles sont associées à un même service de communication. Les entités L2 dans les machines A et B sont homologues car situées sur un même service réseau basé sur un lien radio. De même, les entités L2, dans les machines C et D, sont homologues car situées sur un même service réseau basé sur un lien aDSL. Les entités homologues sont situées dans des couches de même rang (appartiennent à une même couche)/ gèrent le ou les mêmes protocoles dans deux systèmes distants.

- Nombre de liens physiques : 3
- L2 en A et L2 en D : Non car au dessus de services réseaux différents (en plus taille des en-têtes différentes donc protocoles différents)

- L1 et L3 en B car situées au-dessus de la couche physique : Non car protocoles de niveau différent et couches physiques différentes
- L2 en A et L2 en B : Oui
- IP en A, B, C et D : Oui (homologue deux à deux A-B, B-C, C-D)
- UDP en A et UDP en D : Oui car dessus de IP (du service Internet) Couche transport de bout en bout
- L2 en B et L2 en C : Non
- Taille, en nombre d'octets, du PDU dans les entités RTP : $64+12 = 76$
- Taille, en nombre d'octets, du PDU sur la couche physique entre A et B : $64 + (12 + 8 + 20 + 10 + 24 + 8) = 64 + 82 = 146$
- Rendement sur le lien A B : $64/146 \times 100 = 43,80$
- Taille, en nombre d'octets, du PDU dans l'entité IP en B : 104
- Taille, en nombre d'octets, du SDU de l'entité IP en C : 84
- Taille, en nombre d'octets, du PDU sur la couche physique entre C et D : 113

Correction 5

- Un Hub/concentrateur opère au niveau de la couche physique du modèle OSI
- Un routeur opère au niveau de la couche réseau du modèle OSI
- Un bridge/pont opère au niveau de la couche liaison du modèle OSI.

Correction 6

- switch -> adresse niveau 2 (MAC)
- hub -> aucune adresse
- routeur -> adresse niveau 3 (IP)

Correction 7

- Encapsulation des segments en paquets \Rightarrow couche 3
- Réception d'un flux de bits et formatage en une trame pour la couche supérieure \Rightarrow couche physique (1)
- Contrôle de bout en bout \Rightarrow couche transport (4)
- Détermination du chemin dans le réseau \Rightarrow couche 3

Correction 8 Couche Physique + Liaison de données

Correction 9

- au niveau de la couche d'accès réseau \Rightarrow adresse MAC/Physique/ Ethernet
- au niveau de la couche réseau IP \Rightarrow adresse IP
- au niveau de la couche transport TCP/UDP \Rightarrow Numéro de port

Correction 10 La couche de niveau 3 (réseau) pour s'adapter à la taille du MTU. Bien insister sur la différence entre fragmentation et segmentation (au niveau 4).

Correction 11

- transfert de fichier : ftp
- transfert de messagerie SMTP

Correction 12 2 domaines de diffusion et 7 domaines de collision. Expliquer ce que représente un domaine de collision et un domaine de diffusion (broadcast).

Correction 13 Bien mettre en évidence l'encapsulation. Insister sur le fait que l'adresse IP ne change pas contrairement à l'adresse MAC. En profiter pour faire la différence entre niveau 2 (entre nœuds adjacents) et niveau 3 (entre routeurs)