

## Examen 3I014 « Réseaux »

**Judi 15 Décembre 2016 – Durée : 2 heures**

Sont autorisées : 1 feuille A4 manuscrite recto/verso, 1 calculatrice (téléphone interdit)

Voici :

- 4 feuilles contenant les énoncés et les zones de réponse à compléter (sans déborder). **Vous devez reporter votre numéro d'anonymat sur chacune des feuilles.**
- 2 feuilles d'annexe que vous pouvez détacher.

### Exercice 1 : Questions de cours (5 points)

On considère la transmission entre deux nœuds A et B dans trois types de réseaux : commutation de circuit, Ethernet commuté et ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) qui est un réseau à commutation de cellules.

1. Dans le premier cas, A et B sont connectés à un réseau à commutation de circuit. Un circuit au débit de 100 Mbit/s est établi entre A et B, en passant par 3 commutateurs. Le délai de propagation de chaque liaison reliant deux nœuds voisins est de 0,5 ms. A veut envoyer 530 octets de données à B. Quel est le temps nécessaire pour transférer ces données entre A et B ?

$$T\text{-transmission} = (530 * 8) / (100 * 10^6) = 42,4 \mu\text{s}$$

$$T\text{-transfert} = T\text{-transmission} + 4 * T\text{-propa} = 42,4 + 4 * 500 = 2042,4 \mu\text{s} = 2,04 \text{ ms}$$

2. Dans le deuxième cas, A et B sont connectés à un réseau Ethernet commuté travaillant à 100 Mbit/s. Dans un réseau Ethernet commuté, il n'y a pas de collision puisque les liaisons sont *full-duplex* et que chaque liaison relie un port du commutateur à une seule machine. On suppose que A envoie une trame de 530 octets à B en traversant 3 commutateurs Ethernet. Chaque liaison a un temps de propagation de 0,5 ms. Les commutateurs travaillent en mode *Store-and-Forward* (ils reçoivent complètement une trame avant de la réémettre sur l'interface de sortie). Quel est le temps nécessaire pour transférer la trame de A à B ?

$$T\text{-trame} = (530 * 8) / (100 * 10^6) = 42,4 \mu\text{s}$$

$$T\text{-transfert} = 4 * (T\text{-trame} + T\text{-propa}) = 4 * (42,4 + 500) = 2169,6 \mu\text{s} = 2,17 \text{ ms}$$

3. Dans le troisième cas, A et B sont connectés à un réseau ATM qui utilise la commutation de cellules : le transfert de données s'y effectue avec des petites cellules de taille fixe de 53 octets. On suppose que A envoie 10 cellules à B en traversant 3 commutateurs ATM travaillant à 100 Mbit/s. Chaque liaison correspond à un temps de propagation de 0,5 ms. Quel est le temps nécessaire pour transférer les 10 cellules de A à B ?

$$T_{\text{cellule}} = (53 * 8) / (100 * 10^6) = 4,24 \mu\text{s}$$

$$T_{\text{10cellules}} = 42,4 \mu\text{s}$$

$$T_{\text{transfert}} = (4 * T_{\text{propa}}) + (3 * T_{\text{cellule}}) + (T_{\text{10-cellules}}) = (4 * 500) + (3 * 4,24) + 42,4 \\ = 2055,12 \mu\text{s} = 2,05 \text{ ms}$$

4. Pour chaque type de réseau, exprimez le temps de transfert entre A et B, en fonction du temps de transmission ( $T_t$ ) d'un bloc de données (trame, cellule ou autre), du temps de temps de propagation entre 2 nœuds voisins ( $T_p$ ), du nombre de commutateurs à traverser ( $n$ ) et du nombre de blocs de données ( $x$ ).

$$T_{\text{transfert-circuit}} = T_t + (n + 1) T_p$$

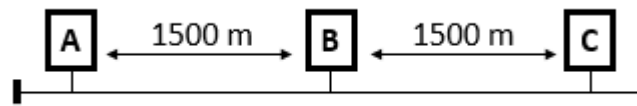
$$T_{\text{transfert-EthernetCommuté}} = T_{\text{transfert-cellule}} = (n+1) * T_p + (n * T_t) + (x * T_t)$$

5. Dans un réseau commuté grande distance (réseau à circuit virtuel) tel que X.25, relais de trame ou ATM, y a-t-il du routage ? Si oui, à quel moment le routage s'effectue-t-il ? Si non, expliquez pourquoi.

Oui, durant la signalisation pour établir le circuit virtuel.

## Exercice 2 : Réseaux locaux (5 points)

On considère un réseau local en bus utilisant la technique d'accès CSMA/CD et comportant 3 stations A, B et C. Le débit est de 10 Mbit/s et la vitesse de propagation est de 200000 km/s. La distance qui sépare deux stations est de 1500m.



1. Précisez ce que doit être placé aux deux extrémités du bus et dans quel intérêt.

A chaque extrémité du bus, on place un bouchon de terminaison pour absorber les signaux et éliminer les réflexions possibles du signal.

2. A  $t=0$ , la station A décide d'émettre une trame après écoute du canal. A  $t=1\mu s$ , B décide d'émettre une trame. A quel instant T se produit la collision, à quel instant T1 la collision est-elle détectée par B et à quel instant T2 la collision est-elle détectée par A ?

A  $t=0$      A décide d'émettre  
A  $t=1\mu s$    B décide d'émettre  
A  $t=T$      Il y a collision  
Pour retrouver T, on suppose d la distance qui sépare A du lieu de la collision.  
 $d/v = 1 \cdot 10^{-6} + (1500-d)/v$  (avec  $T=d/v$ )  
 $\Rightarrow T = 1 \cdot 10^{-6} + (1500/v) - T$   
 $\Rightarrow T = (1 \cdot 10^{-6} \cdot v + 1500) / 2 \cdot v$   
 $\Rightarrow AN \Rightarrow T = 4,25 \mu s$   
A  $t=T1$      B détecte la collision  $T1 = 1500/v = 7,5\mu s$   
A  $t=T2$      A détecte la collision  $1\mu s + 7,5\mu s = 8,5\mu s$

3. Retrouvez la taille minimum de la trame pour que la station A arrive à détecter toutes les collisions possibles (collision entre trames de A et B et collision entre trames de A et C).

La station A doit être encore en émission pour détecter la collision. Il faut alors que le temps de transmission soit supérieur au double du temps de propagation de la station la plus éloignée du bus.  
 $L_{min} = 2 \cdot 2 \cdot d \cdot D/v = 300 \text{ bits}$

On considère que le temps est découpé en intervalles de temps ST égal à  $51,2 \mu s$ . On suppose que les trames sont de longueur fixe et que la durée d'émission d'une trame est de 4 ST. On néglige les délais d'espacement inter-trames.

Dans le cas d'une collision, les machines concernées attendent un délai aléatoire avant de réémettre. Le délai d'attente est déterminé par l'algorithme *Exponential Backoff* :

- après la 1<sup>ère</sup> collision, une machine attend un temps aléatoire, égal à 0 ou à 1 *ST* ;
  - après la 2<sup>ème</sup> collision, une machine attend un temps aléatoire compris entre 0 et 3 *ST* ;
  - après *i* collisions, une machine attend un temps aléatoire compris entre 0 et  $2^i - 1$  *ST* (limité à 1023).
4. Supposons qu'une trame subisse 4 collisions consécutives et qu'elle soit transmise avec succès lors de la 5<sup>ème</sup> tentative. Dans le pire cas, quel est le temps d'attente que l'algorithme *Exponential Backoff* impose à la station ?

Dans le pire cas, l'algorithme Exponential Backoff donne la plus grande valeur possible.  
 $(1+3+7+15) \times 51.2 \text{ us} = 1,33 \text{ ms}$

On considère que la station A dispose de deux trames à émettre et qu'elle est capable de tenter l'émission de sa deuxième trame dès que sa première trame est correctement transmise. Chacune des stations B et C dispose d'une seule trame à émettre.

A  $t=0$ , la station A commence à transmettre sa première trame et à  $t=2 \text{ ST}$ , les stations B et C décident de transmettre chacune une trame.

Les valeurs tirées par les machines A, B et C sont représentées dans le tableau ci-dessous.

	1 <sup>ère</sup> trame A	2 <sup>ème</sup> trame A	1 <sup>ère</sup> trame B	1 <sup>ère</sup> trame C
Après 1 collision	1	1	0	0
Après 2 collisions	0	3	0	2
Après 3 collisions	2	2	7	3

- A Slot occupé par A  
 $X_{y,z}$  Slot occupé par une collision entre les trames des stations Y et Z  
 Slot inoccupé

5. Utilisez la légende ci-dessus pour compléter le diagramme des temps, gradué en *ST* et décrivant le déroulement des différentes transmissions de trames. Indiquez, dans le cas où le slot est occupé par une collision, les machines qui ont transmis ces trames.

A	A	A	A	$X_{A,B,C}$	$X_{B,C}$	$X_{A,B}$		C	C	C	C	A
---	---	---	---	-------------	-----------	-----------	--	---	---	---	---	---

A	A	A	B	B	B	B						
---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--

### Exercice 3 : Adressage IP (4 points)

Les informaticiens (enseignement et/ou recherche) de l'UPMC se sont vus attribuer le bloc d'adresses IP 132.227.0.0/16. Sur ce bloc d'adresses, la PPTI (Plateforme Pédagogique et Technique d'Informatique) utilise le sous-bloc 132.227.116.0/24 pour son sous-réseau de PC nomades.

1. Combien de **PC d'utilisateurs nomades** au maximum la PPTI peut-elle accueillir simultanément ? Justifiez.

2<sup>8</sup> valeurs différentes pour le suffixe host-id, dont :  
1 pour l'adresse réservée du sous-réseau  
1 pour l'adresse réservée de diffusion du sous-réseau  
1 au moins pour un routeur  
soit au maximum 253 PC nomades en même temps

2. Quelle est la plage d'adresses IP qui peuvent être allouées aux PC nomades ? Justifiez.

de 132.227.116.1  
à 132.227.116.254

3. Comment se fait l'attribution d'une adresse IP à un PC nomade ?

avec un serveur DHCP

4. Comment un PC nomade obtient-il l'adresse IP de sa passerelle (routeur) par défaut ?

avec DHCP

5. Comment un routeur PC nomade obtient-il l'adresse Ethernet de sa passerelle (routeur) par défaut ?

avec ARP

La PPTI dispose également du sous-bloc 132.227.112.0/21 pour ses équipements fixes.

6. Sachant que les salles machines comportent (et comporteront) entre 15 à 20 postes de travail, combien de sous-réseaux au maximum peut-on avoir ? Justifiez.

Il faut au moins 5 bits pour le suffixe host-id.

Il reste donc  $32 - 21 - 5 \text{ bits} = 6 \text{ bits}$  pour la partie subnet-id, soit au maximum  $2^6 = 64$  sous-réseaux.

7. Quel serait alors le masque de sous-réseau ?

255.255.255.224

ou /27

8. En considérant le masque trouvé précédemment, le serveur DNS (132.227.118.66), le serveur Proxy Web (132.227.118.143) et le serveur DHCP (132.227.119.253) de la PPTI sont-ils sur le même sous-réseau ? Justifiez.

Pour le serveur DNS : le ET (adresse IP, masque de sous-réseau) donne

132.227.118.66      0100 0010

255.255.255.224    1110 0000

comme adresse de son sous-réseau :

132.227.118.64/27   0100 0000

Pour le serveur Proxy Web : le ET (adresse IP, masque de sous-réseau) donne

132.227.118.143    1000 1111

255.255.255.224    1110 0000

comme adresse de son sous-réseau :

132.227.118.128/27 1000 0000

Pour le serveur DHCP : le ET (adresse IP, masque de sous-réseau) donne

132.227.119.253    1111 1101

255.255.255.224    1110 0000

comme adresse de son sous-réseau :

132.227.119.224/27 1110 0000

Les 3 serveurs sont sur des sous-réseaux différents.

#### Exercice 4 : Trace et (dé)codage (6 points)

A son domicile doté d'un accès Internet, Alice a démarré son ordinateur pour se connecter au serveur ssh.ufr-info-p6.jussieu.fr.

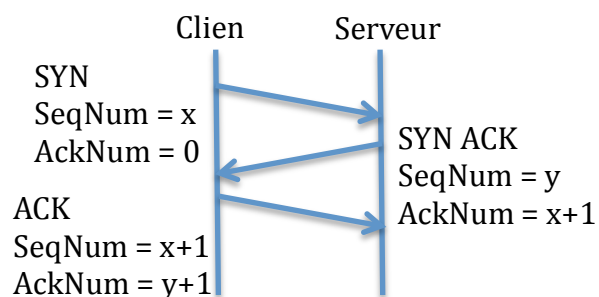
1. Quels sont **tous** les protocoles (ayant été) nécessairement utilisés pour la mise en place de cette communication ?

SSH, TCP, UDP, IP, Ethernet ou Wifi, DNS, ARP  
Dans la plupart des cas, il faut également ajouter DHCP

2. Explicitez le rôle de chacun de ces protocoles dans la communication en une seule phrase (par protocole).

- SSH permet de sécuriser l'accès à distance en authentifiant l'utilisateur et en cryptant les échanges.
- TCP fiabilise le transfert de données entre le client ssh et le serveur ssh.
- UDP encapsule les échanges DNS pour lesquels on doit privilégier la rapidité.
- IP se charge d'acheminer les paquets entre le poste client et la machine serveur, au travers d'Internet.
- Ethernet ou le Wifi permet au poste client d'accéder au réseau local domestique.
- DNS permet de traduire le nom du serveur « ssh.ufr-info-p6.jussieu.fr » en une adresse IP.
- ARP permet au poste client d'obtenir l'adresse MAC de son routeur, à partir de son adresse IP (cette dernière ayant été configurée manuellement, soit obtenue avec un échange DHCP).

3. Donnez le schéma de l'échange de segments TCP correspondant à l'établissement d'une connexion, en indiquant le client et le serveur, et en faisant figurer les champs d'en-tête essentiels.



Le trafic a été observé sur le réseau domestique d'Alice. Deux **frames** consécutives ont été extraites de la trace obtenue et figurent dans l'Annexe 1.

4. Donnez le codage en hexadécimal de la **trame** leur faisant suite, en mettant « XX » pour une valeur en hexadécimal que vous ne pouvez déduire.

```
00 07 cb c5 ff 95 9c f3 87 ba f3 ea 08 00 45 00
00 34 XX XX 40 00 40 06 XX XX c0 a8 00 0d 84 e3
76 15 c1 36 00 16 07 ef 5d c9 fd 89 50 f4 80 10
XX XX XX XX 00 00 01 01 08 0a XX XX XX XX 06 4e
b4 86
```

5. Expliquez pour chaque champ que vous avez mis à « XX » pourquoi vous ne pouviez pas déduire sa valeur.

Identificateur IP : il n'est pas choisi en séquence  
Checksum IP : algorithme de calcul non détaillé en cours  
Taille fenêtre TCP : dépend de la place disponible à l'instant dans le buffer de réception TCP  
Checksum TCP : algorithme de calcul non détaillé en cours  
Les options peuvent être déduites :  
- Dans les options du segment SYN, le client donne son MSS (1460 octets), indique que la taille réelle de sa fenêtre de réception doit être multipliée par  $2^5$ , qu'il autorise les SACK, qu'il va utiliser l'option Estampille temporelle  
- dans les options du SYN ACK, le serveur donne son MSS (1460 octets), indique qu'il autorise les SACK, qu'il va utiliser l'option Estampille temporelle, que la taille réelle de sa fenêtre de réception doit être multipliée par  $2^7$   
- dans le segment ACK, le client va juste mettre l'option Timestamp : 08 0a XX XX XX XX 06 4e b4 86 et va mettre 2 octets de bourrage (à 00 ou 01)  
- THL est donc égal à (8)base16 (en-tête TCP de 32 octets)  
- total length IP est donc égal à 52 octets, soit (00 34)base16

6. Donnez, lorsque c'est possible, les adresses MAC et IP de l'ordinateur d'Alice, de la passerelle par défaut d'Alice et du serveur ssh.ufr-info-p6.jussieu.fr.

Ordinateur d'Alice  
- adresse MAC : 9c f3 87 ba f3 ea - adresse IP : 192.168.0.13

Passerelle par défaut d'Alice  
- adresse MAC : 00 07 cb c5 ff 95 - adresse IP : ne peut être déduite

Serveur ssh.ufr-info-p6.jussieu.fr  
- adresse MAC : ne peut être déduite - adresse IP : 132.227.118.21

7. Combien de routeurs y-a-t-il entre l'ordinateur d'Alice et le serveur ssh.ufr-info-p6.jussieu.fr ? Justifiez.

Dans le SYN ACK, TTL = (31)16, soit 49. On peut raisonnablement supposer que TTL avait été initialisé par le serveur à 64. Il y a donc 15 routeurs.



## Annexe 1

---

00 07 cb c5 ff 95 9c f3 87 ba f3 ea 08 00 45 00  
00 40 2f cc 40 00 40 06 4f 3e c0 a8 00 0d 84 e3  
76 15 c1 36 00 16 07 ef 5d c8 00 00 00 00 b0 02  
ff ff 7f b2 00 00 02 04 05 b4 01 03 03 05 01 01  
08 0a 26 d1 ad c7 00 00 00 00 04 02 00 00

9c f3 87 ba f3 ea 00 07 cb c5 ff 95 08 00 45 00  
00 3c 00 00 40 00 31 06 8e 0e 84 e3 76 15 c0 a8  
00 0d 00 16 c1 36 fd 89 50 f3 07 Ef 5d c9 a0 12  
16 a0 70 b2 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a 06 4e  
b4 86 26 d1 ad c7 01 03 03 07



## Annexe 2

### Structure d'une trame Ethernet

```
.64bits--+48bits--+48bits--+16b--+ - - - +32b--.
.(Préam)| adresse | adresse |type| données | (CRC).
.      | dest.   | source  |   |         |
.-----+-----+-----+-----+-----+-----.
```

Quelques types : 0x0800 = DoD Internet (IP)  
0x0806 = ARP  
0x8035 = RARP

### Structure d'un paquet ARP

```
<-----32bits----->
<--8bits--><--8bits--><-----16bits----->
+-----+-----+-----+
| Hardware | Protocol |
+-----+-----+-----+
| Hlen     | Plen     | Operation |
+-----+-----+-----+
|          |          | Sender HA (bytes 0-3) |
+-----+-----+-----+
| Sender HA (bytes 4-5) | Sender IA (bytes 0-1) |
+-----+-----+-----+
| Sender IA (bytes 2-3) | Sender HA (bytes 0-1) |
+-----+-----+-----+
|          |          | Target HA (bytes 2-5) |
+-----+-----+-----+
|          |          | Target IA (bytes 0-3) |
+-----+-----+-----+
```

Hardware = type d'interface physique  
ex : 0x0001 pour Ethernet

Protocol = type de protocole pour lequel une requête  
a été émise

ex : 0x0800 pour IP

Hlen = lg de l'adresse physique (en octets)

Plen = lg de l'adresse protocolaire (en octets)

Operation = type d'opération à effectuer par le  
récepteur

ex : 0x0001 pour une requête ARP

0x0002 pour une réponse ARP

Sender HA = adresse physique (Ethernet) de l'émetteur

Sender IA = adresse protocolaire (IP) de l'émetteur

Target HA = adresse physique (Ethernet) du récepteur

Target IA = adresse protocolaire (IP) du récepteur

### Structure d'un paquet IP

```
<-----32bits----->
<4b--><4b--><--8bits--><-----16bits----->
+-----+-----+-----+
| Ver | IHL | TOS | Lg. totale (en octets) |
+-----+-----+-----+
| Identificateur | Fl | FO |
+-----+-----+-----+
| TTL | Protocole | Checksum(en-tête) |
+-----+-----+-----+
| Adresse Source |
+-----+-----+-----+
| Adresse Destination |
+-----+-----+-----+
| ... | Options | ... |
+-----+-----+-----+
| ... | Données | ... |
+-----+-----+-----+
```

Ver = Version d'IP

IHL = Longueur de l'en-tête IP (en mots de 4 octets)

TOS = Type de service (zéro généralement)

Fl (3 premiers bits) = Bits pour la fragmentation

\* 1er = réservé

\* 2ème = DF (Ne pas fragmenter)

\* 3ème = MF (Fragment suivant existe)

FO (13 bits suivants) = Position relative du fragment

dans le datagramme initial (déplacement exprimé en  
mots de 8 octets (seuls un datagramme complet ou un  
premier fragment peuvent avoir ce champ à 0))

TTL = Durée de vie restante

Protocole = protocole transporté

ex : 1 = ICMP

2 = IGMP

6 = TCP

8 = EGP  
11 = GLOUPS

17 = UDP  
89 = OSPF

### Structure d'un message UDP

```
<-----32bits----->
+-----+-----+-----+
| Port Source | Port Destination |
+-----+-----+-----+
| Longueur | Checksum (msg) |
+-----+-----+-----+
| ... | Données | ... |
+-----+-----+-----+
```

### Structure d'un segment TCP

```
<-----32bits----->
<4b--> <-6bits--> <-----16bits----->
+-----+-----+-----+
| Port Source | Port Destination |
+-----+-----+-----+
| Numéro de Séquence |
+-----+-----+-----+
| Numéro d'Acquittement |
+-----+-----+-----+
| THL | Flags | Taille Fenêtre |
+-----+-----+-----+
| Checksum (msg) | Pointeur d'urgence |
+-----+-----+-----+
| ... | Options | ... |
+-----+-----+-----+
| ... | Données | ... |
+-----+-----+-----+
```

THL = Longueur de l'entête TCP sur 4 bits (en mots de  
4 octets)

Flags = indicateur codé sur 6 bits, de gauche à  
droite

- \* 1er = URG (Données urgentes)
- \* 2ème = ACK (Acquittement)
- \* 3ème = PSH (Données immédiates)
- \* 4ème = RST (Réinitialisation)
- \* 5ème = SYN (Synchronisation)
- \* 6ème = FIN

Options = suite d'options codées sur

\* un seul octet :

00 = Fin des options

01 = NOP (pas d'opération)

\* plusieurs octets, avec un codage TLV

T = un octet pour le type de l'option

2 Négociation de la taille max. du segment

3 Adaptation de la taille de la fenêtre

4 Autorisation des acquittements sélectifs

8 Estampilles temporelles

L = un octet pour la taille totale de l'option

V = valeur de l'option (sur L-2 octets)

### Services associés aux ports

ftp-data	20/tcp
ftp	21/tcp
ssh	22/tcp
telnet	23/tcp
smtp	25/tcp
dns	53/udp
www	80/tcp
pop-3	110/tcp
imap	143/tcp
bgp	179/tcp
snmp	161/udp
...	

