

**Sujet d'examen terminal - UE INF1502**  
**« Réseaux : modèles, protocoles, et applications »**

**5 janvier 2021**

**Enseignant : F. Guidec**

**9 pages – Durée : 2h00**

**Calculatrice simple (quatre opérations) autorisée - Documents non autorisés**

**Avertissements :** *Le barème de notation indiqué ci-dessous est purement indicatif et pourrait être révisé lors de la correction. La notation tiendra compte de l'esprit de pédagogie et de synthèse dont vous ferez preuve (soyez clair et concis!), mais aussi de la présentation générale de la copie rendue (pas de « torchon », s.v.p.).*

**Description du réseau considéré**

- La figure 1 (voir page 9) représente un réseau routé reposant sur IP (version 4). Ce réseau est constitué d'un ensemble de réseaux locaux de type Ethernet (notés A, B, C, etc.) et de routeurs (notés R1, R2, etc.). Chaque réseau local est constitué d'un certain nombre de stations de travail numérotées de 1 à N. On désignera par exemple par « E3 » la station de travail n°3 dans le réseau local E.
- Les routeurs R1, R2, etc. peuvent être situés à la jonction de deux brins Ethernet, mais ils peuvent également être séparés les uns des autres par des liaisons point-à-point, représentées en traits grisés épais, et notées P0, P1, etc. dans la figure. Ainsi R7 interconnecte directement les brins Ethernet F et G, mais il est également relié à R6 via la liaison point-à-point P1.
- À chacun des réseaux locaux a été attribuée une plage d'adresses IP. Cette plage d'adresses est indiquée dans la table de l'Annexe A, en notation CIDR. Cette table indique également la route par défaut utilisée lors de la configuration des tables de routage des stations de travail du réseau considéré (e.g., pour les stations du LAN C, la route par défaut passe par le routeur R2).
- Chaque équipement est connecté à un médium de transmission (ie brin Ethernet ou liaison point-à-point) par l'intermédiaire d'une interface dont le nom et l'adresse IP sont indiqués en Annexe C. Ainsi le routeur R7 dispose de trois interfaces, deux interfaces (eth0 et eth1) lui donnant accès aux brins Ethernet F et G, la troisième interface (ppp0) lui donnant accès à R6 via la liaison point-à-point P1. Chaque station de travail est en revanche dotée d'une seule interface Ethernet, baptisée eth0.
- À chaque interface est attribuée une adresse IP, également indiquée en Annexe C. Le routeur R7, par exemple, dispose donc de trois adresses IP distinctes, une pour chacune de ses interfaces.
- La valeur du MTU réseau est indiquée en Annexe C pour chaque segment du réseau. Cette valeur est traditionnellement de 1500 sur un brin Ethernet, mais elle peut avoir d'autres valeurs sur les liaisons point-à-point.

**Hypothèses initiales**

Pour répondre à l'ensemble des questions suivantes vous pourrez supposer :

- que toutes les transmissions s'effectuent sans problème sur le réseau (pas de pertes, pas d'altérations, pas de déséquilibrages, etc.);
- que les tables ARP des divers équipements (i.e., stations et routeurs) sont initialement *vides*, et qu'une fois enregistrée dans l'une de ces tables une entrée ARP y demeure *indéfiniment*.

## 1 Routage de paquets IP (3 points)

En vous appuyant sur les informations fournies en annexe, indiquez quel va être le trajet suivi par un paquet IP émis par la station S1 à destination de la station S2, dans chacun des cas suivants :

a)  $IP_{S1}=195.82.99.132, IP_{S2}=195.82.97.145$  ;

- P1: S1-R6-R7-S2
- P2: S1-R6-R4-R5-R7-S2
- P3: S1-R2-R1-R3-R5-R7-S2
- P4: S1-R2-R4-R6-R7-S2
- P5: S1-R2-R4-R5-S2
- P6: Aucune de ces réponses n'est correcte

b)  $IP_{S1}=195.82.99.205, IP_{S2}=195.82.96.7$  ;

- P1: S1-R6-R7-R5-S2
- P2: S1-R6-R4-R5-S2
- P3: S1-R6-R2-R1-R3-S2
- P4: S1-R6-R4-R3-S2
- P5: S1-R6-R4-R2-R6-etc. (jusqu'à TTL=0)
- P6: Aucune de ces réponses n'est correcte

c)  $IP_{S1}=195.82.97.8, IP_{S2}=195.82.99.205$ .

- P1: S1-R7-R6-S2
- P2: S1-R5-R4-R6-S2
- P3: S1-R3-R4-R6-S2
- P4: S1-R3-R4-R2-R6-S2
- P5: S1-R5-R4-R3-R1-R2-R6-S2
- P6: Aucune de ces réponses n'est correcte

**Note :** dans chaque cas, on suppose que les paquets IP considérés sont émis avec le champ TTL valant 60, que ces paquets sont de taille suffisamment faible pour ne pas justifier de fragmentation en cours d'acheminement, et enfin que la station S1 est bien sûr présente et opérationnelle dans le réseau.

## 2 Tables de routage (6 points)

Nota : dans les questions suivantes, on ne se préoccupe pas de l'ordonnancement des entrées dans les tables de routage, cet ordonnancement étant de toute façon assuré par défaut par l'OS du système concerné.

a) En vous basant sur les informations fournies en annexe, indiquez quelles sont, parmi les lignes suivantes, celles qui devraient apparaître dans la table de routage la plus compacte possible (i.e., nombre de lignes minimum) pour les stations du LAN D.

	Destination	Gateway	Genmask	Iface
P1:	195.82.99.192	*	255.255.255.128	eth0
P2:	195.82.99.192	*	255.255.255.192	eth0
P3:	195.82.99.192	195.82.99.254	255.255.255.192	eth0
P4:	195.82.99.254	*	255.255.255.255	eth0
P5:	0.0.0.0	195.82.99.254	0.0.0.0	eth0
P6:	0.0.0.0	195.82.99.254	0.0.0.0	eth1

On souhaite améliorer le routage au sein du réseau considéré ici, en réduisant le nombre de routeurs devant être traversés sur chaque chemin entre source et destination, et lorsque plusieurs chemins de même longueur sont possibles en privilégiant les chemins qui empruntent des brins Ethernet plutôt que des liaisons point-à-point (P0 à P5). Ceci peut nécessiter de modifier les tables de routage des routeurs R1 à R7, mais aussi les tables de routage des stations des LAN A à G.

Dans tous les cas on cherchera à minimiser les tailles des tables de routage, et donc à exploiter le mécanisme d'agrégation chaque fois que c'est possible. Par ailleurs chaque modification effectuée devra être sans impact sur le reste du trafic routé dans le réseau.

Intéressons nous tout d'abord au trajet suivi par un paquet IP émis par une station S1 du LAN C à destination d'une station S2 du LAN G. Avec les paramètres de routage décrits en annexe le trajet suivi<sup>1</sup> n'est pas le plus court, loin de là. Le cheminement S1-R6-R7-S2 serait par contre optimal (selon les critères listés plus haut).

- b) Indiquez quelles modifications devraient être apportées dans les tables de routage (la dernière colonne précise les équipements concernés) pour parvenir à ce résultat.

	Destination	Gateway	Genmask	Iface	Type de modif.
P1:	195.82.97.128	195.82.99.190	255.255.255.128	eth0	Ajout sur les stations du LAN C
P2:	195.82.99.128	195.82.99.189	255.255.255.192	eth0	Retrait des stations du LAN C
P3:	195.82.97.128	10.0.0.2	255.255.255.128	ppp0	Ajout sur R6
P4:	195.82.97.128	10.0.0.1	255.255.255.128	ppp0	Ajout sur R6
P5:	195.82.97.128	*	255.255.255.128	eth0	Retrait de R7
P6:	195.82.97.0	10.0.0.2	255.255.255.0	ppp0	Ajout sur R6

On souhaite à présent faire en sorte que le trafic provenant des LAN E et F à destination du LAN B transite par la liaison P2.

- c) Quelles modifications doivent être apportées dans les tables de routage (et sur quels équipements) pour parvenir à ce résultat ?

	Destination	Gateway	Genmask	Iface	Type de modif.
P1:	0.0.0.0	10.0.1.2	0.0.0.0	ppp0	Retrait de R3
P2:	195.82.99.0	195.82.96.254	255.255.255.128	eth0	Ajout sur les stations du LAN E
P3:	195.82.99.0	10.0.1.2	255.255.255.128	ppp0	Ajout sur les stations du LAN F
P4:	195.82.99.0	10.0.1.2	255.255.255.128	ppp0	Ajout sur R5
P5:	0.0.0.0	195.82.96.253	0.0.0.0	eth0	Retrait des stations du LAN E
P6:	0.0.0.0	10.0.1.2	0.0.0.0	ppp0	Retrait de R5

- d) Même question si l'on souhaite faire en sorte que le trafic provenant des LAN E, F et G à destination des LAN C et D transite par la liaison P1.

	Destination	Gateway	Genmask	Iface	Type de modif.
P1:	195.82.99.128	195.82.96.254	255.255.255.128	eth0	Ajout sur les stations du LAN E
P2:	10.0.0.2	195.82.97.125	255.255.255.255	eth0	Ajout sur R5
P3:	195.82.99.128	195.82.97.125	255.255.255.128	eth0	Ajout sur R5
P4:	195.82.99.128	10.0.0.2	255.255.255.128	ppp0	Ajout sur R7
P5:	10.0.0.2	*	255.255.255.255	ppp0	Retrait de R7
P6:	195.82.99.128	195.82.97.125	255.255.255.128	eth0	Ajout sur les stations du LAN F

### 3 Trafic IP (6 points)

Depuis la station S1 située dans le LAN D, on souhaite adresser un paquet IP de 1500 octets (dont 20 octets d'en-tête) à la station S2 située dans le LAN A. Le routage entre S1 et S2 s'effectue suivant le cheminement S1-R6-R4-R3-R1-S2.

Le paquet IP émis initialement par S1 peut être représenté comme suit :

Lg. totale	Id. paquet	DF	MF	Offset	TTL	Ad. IP src	Ad. IP dst	Charge utile
1500	4357	0	0	0	64	195.82.99.205	195.82.98.132	data[0..1479]

1. Nota : ce trajet a déjà été examiné dans la question 1 !

Notez que les 1480 octets constituant la charge utile de ce paquet sont notés *data[0..1479]*. Un extrait de ce tableau pourra donc être noté par exemple *data[68..92]*, pour signifier que cet extrait correspond aux octets indicés entre 68 et 92 dans le tableau initial. Référez vous à l'annexe de ce sujet pour plus d'information sur la structure de ce tableau.

On s'intéresse au trafic engendré sur le LAN A dans le cadre de l'acheminement du paquet IP émis par S1 vers S2. On observe d'abord sur ce LAN un cycle requête-réponse ARP, puis le passage de plusieurs paquets IP résultant de la fragmentation du paquet initialement émis par S1.

- a) Sélectionnez, parmi les propositions suivantes, celles qui caractérisent la réponse ARP observée sur le LAN A.

P1: `adMACsrc = MAC(S1, eth0)`  
 P2: `adMACdst = MAC(R1, eth0)`  
 P3: `adIPsrc = 195.82.99.205`  
 P4: `adIPdst = 195.82.98.254`

- b) Quelles vont être les tailles des paquets IP reçus par S2 (en-têtes compris) ?

P1: 580 octets - 580 octets - 380 octets  
 P2: 600 octets - 260 octets - 200 octets - 500 octets  
 P3: 580 octets - 260 octets - 196 octets - 524 octets  
 P4: 576 octets - 576 octets - 388 octets  
 P5: Aucune de ces réponses n'est correcte

- c) Sélectionnez, parmi les propositions suivantes, celles qui s'appliquent aux en-têtes Ethernet et IP des paquets IP reçus par S2 (hors trafic ARP, donc).

P1: `adIPsrc = 195.82.98.254`  
 P2: `adMACsrc = MAC(S1, eth0)`  
 P3: `adMACsrc = MAC(R1, ppp0)`  
 P4: `id. paquet = 4357`, puis 4358, etc.  
 P5: `offset = 0 - 70 - 100 - 122`  
 P6: TTL = 60 pour tous les paquets  
 P7: DF = 0 pour tous les paquets sauf le dernier  
 P8: MF = 1 pour tous les paquets sauf le dernier

## 4 Champs d'en-têtes dans les segments TCP (3 points)

En examinant les champs de l'en-tête<sup>2</sup> d'un segment de données transmis entre une machine A et une machine B dans le cadre d'une session TCP, on observe les valeurs suivantes :

- Numéro de séquence = 7492
- Numéro d'acquittement = 4183
- Taille de fenêtre = 152
- Longueur de charge utile = 58
- Drapeaux : FIN,ACK

Sélectionnez, parmi les propositions suivantes, celles qui sont correctes.

- P1: Ce segment porte les octets de données n°7492 à 7549.  
 P2: Ce segment est le 7492<sup>e</sup> segment émis par A depuis l'ouverture de la session.  
 P3: Le dernier octet que A a reçu et accepté en provenance de B est l'octet n°4182.  
 P4: Le tampon d'émission de A contient 152 octets destinés à B.  
 P5: A propose à B de n'échanger que des segments dont la charge utile ne dépasse pas 58 octets.  
 P6: A indique à B qu'il ne lui transmettra plus de données après ce segment.

---

2. En fait l'en-tête d'un segment TCP ne contient pas de champ « Longueur de charge utile ». Cette information vous est donnée ici pour vous faciliter la tâche.

## 5 Questions diverses (2 points)

Sélectionnez, parmi les propositions suivantes, celles qui sont correctes.

- P1: Un paquet IP destiné à une certaine machine X peut être transporté dans une trame Ethernet n'ayant pas cette machine X pour destination.
- P2: Dans l'en-tête d'un paquet IP, les champs source et destination permettent de préciser l'adresse IP de la machine ayant émis le paquet, et celle du prochain routeur par lequel ce paquet est censé transiter.
- P3: Dans le protocole TCP, la valeur portée par le champ "somme de contrôle" (Checksum) dans l'en-tête d'un segment TCP résulte d'un calcul portant sur l'en-tête TCP lui-même, sur un pseudo-en-tête IP, et sur la charge utile (partie « données ») du segment TCP.
- P4: Pour identifier les routeurs situés sur le chemin menant vers une destination donnée, le programme traceroute émet une succession de paquets vers cette destination, en faisant varier la taille de ces paquets pour provoquer des rejets (et donc l'émission de messages ICMP) de la part des routeurs traversés.
- P5: Dans le protocole TCP, l'algorithme (ou la méthode) de Van Jacobson permet d'ajuster automatiquement la durée des timers de retransmission en fonction des durées d'aller-retour observées entre segments de données émis et accusés de réception reçus en retour.
- P6: Dans le protocole TCP, l'algorithme de Nagle permet de résoudre le problème dit « des fenêtres stupides » (Silly Window Syndrome).
- P7: Le protocole ARP n'est mis en œuvre que sur les hôtes (i.e., stations de travail), pas sur les routeurs.
- P8: Le protocole UDP garantit l'ordonnancement des données échangées entre deux hôtes grâce à la numérotation des datagrammes.
- P9: Dans l'en-tête d'un paquet IP, le champ « Total de contrôle » (Checksum) ne permet pas de détecter une altération de la charge utile de ce paquet.
- P10: Dans le réseau Internet, un routeur détruisant un paquet IP a obligation de renvoyer un message ICMP vers la source de ce paquet IP afin de l'informer de sa destruction.

### Annexe A : plages d'adresses IP et routes par défaut attribuées aux LAN

Nom	Plage d'adresses IP	Route par défaut via...
A	195.82.98.0/24	195.82.98.254
B	195.82.99.0/25	195.82.99.125
C	195.82.99.128/26	195.82.99.189
D	195.82.99.192/26	195.82.99.254
E	195.82.96.0/24	195.82.96.253
F	195.82.97.0/25	195.82.97.126
G	195.82.97.128/25	195.82.97.254

### Annexe B : valeurs de MTU des segments

La valeur de MTU (*Maximal Transmission Unit*) est fixée à 1500 octets sur tous les LAN Ethernet. Pour les liaisons point à point, les valeurs de MTU sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Nom	MTU
P0	2480
P1	648
P2	5000
P3	820
P4	580
P5	1000

## Annexe C : configuration des routeurs

### Routeur R1

Direction	Nom	Adresse IP
A	eth0	195.82.98.254
P4	ppp0	10.0.1.2
P0	ppp1	10.0.2.1

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.2.2	*	255.255.255.255	ppp1
10.0.1.1	*	255.255.255.255	ppp0
195.82.98.0	*	255.255.255.0	eth0
195.82.99.0	195.82.98.253	255.255.255.0	eth0
195.82.96.0	10.0.1.1	255.255.254.0	ppp0
0.0.0.0	10.0.2.2	0.0.0.0	ppp1

### Routeur R2

Direction	Nom	Adresse IP
A	eth1	195.82.98.253
B	eth2	195.82.99.125
C	eth0	195.82.99.189

Destination	Gateway	Genmask	Iface
195.82.99.128	*	255.255.255.192	eth0
195.82.99.192	195.82.99.190	255.255.255.192	eth0
195.82.99.0	*	255.255.255.128	eth2
195.82.98.0	*	255.255.255.0	eth1
0.0.0.0	195.82.98.254	0.0.0.0	eth1

### Routeur R3

Direction	Nom	Adresse IP
E	eth0	195.82.96.253
P4	ppp0	10.0.1.1
P3	ppp1	10.0.0.2

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.1.2	*	255.255.255.255	ppp0
10.0.0.1	*	255.255.255.255	ppp1
195.82.96.0	*	255.255.255.0	eth0
195.82.97.0	195.82.96.254	255.255.255.0	eth0
0.0.0.0	10.0.1.2	0.0.0.0	ppp0

### Routeur R4

Direction	Nom	Adresse IP
B	eth0	195.82.99.126
P2	ppp0	10.0.1.2
P3	ppp1	10.0.0.1
P5	ppp2	10.0.2.1

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.2.2	*	255.255.255.255	ppp2
10.0.1.1	*	255.255.255.255	ppp0
10.0.0.2	*	255.255.255.255	ppp1
195.82.99.0	*	255.255.255.128	eth0
0.0.0.0	10.0.0.2	0.0.0.0	ppp1

**Routeur R5**

Direction	Nom	Adresse IP
E	eth1	195.82.96.254
F	eth0	195.82.97.126
P2	ppp0	10.0.1.1

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.1.2	*	255.255.255.255	ppp0
195.82.97.0	*	255.255.255.128	eth0
195.82.97.128	195.82.97.125	255.255.255.128	eth0
195.82.96.0	*	255.255.255.0	eth1
0.0.0.0	10.0.1.2	0.0.0.0	ppp0

**Routeur R6**

Direction	Nom	Adresse IP
C	eth0	195.82.99.190
D	eth1	195.82.99.254
P1	ppp0	10.0.0.2
P5	ppp1	10.0.2.2

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.2.1	*	255.255.255.255	ppp1
10.0.0.1	*	255.255.255.255	ppp0
195.82.99.128	*	255.255.255.192	eth0
195.82.99.192	*	255.255.255.192	eth1
0.0.0.0	10.0.2.1	0.0.0.0	ppp1

**Routeur R7**

Direction	Nom	Adresse IP
F	eth1	195.82.97.125
G	eth0	195.82.97.254
P1	ppp0	10.0.0.1

Destination	Gateway	Genmask	Iface
10.0.0.2	*	255.255.255.255	ppp0
195.82.97.0	*	255.255.255.128	eth1
195.82.97.128	*	255.255.255.128	eth0
0.0.0.0	10.0.0.2	0.0.0.0	ppp0



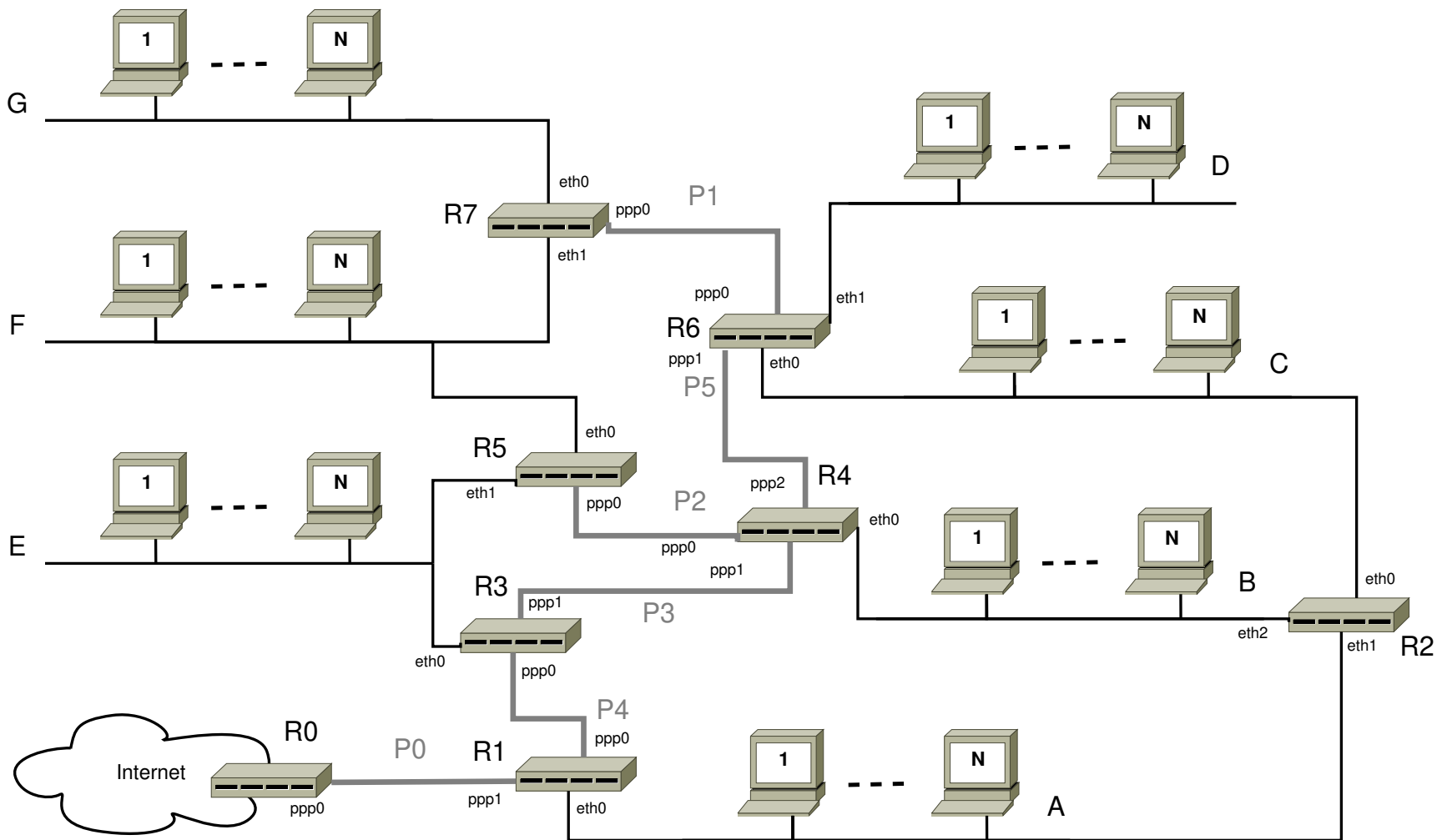


FIGURE 1 – Réseau routé reposant sur IPv4  
9