

TD1– Généralités , réseaux IP, adressage IP et sous adressage

GENERALITES

Exercice 1 :

Un opérateur veut transformer son réseau téléphonique commuté (RTC) en un réseau Internet sans toucher à l'infrastructure physique.

1. Le peut-il ?
2. Dans ce cas, les paquets IP peuvent-ils prendre des chemins différents ?
3. Si un utilisateur demande un débit supérieur à 64 Kbit/s, le réseau peut-il le lui proposer ?
4. Si le gestionnaire du réseau remplace les commutateurs de circuits du RTC par des routeurs, est-ce un réseau Internet ?
5. Dans ce cas, peut-il y avoir plusieurs routes différentes pour les paquets d'un même flot ?

1. LE PROTOCOLE IP

1.1. La trame Ethernet

La trame Ethernet est structurée de la façon suivante :

64 bits	48 bits	48 bits	16 bits	32 bits	
Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	CRC

- « Preamble » est un préambule qui détermine le début d'une trame ; (il est de la forme « 101010...101011 ») ;
- « Destination address » est l'adresse physique (MAC) du destinataire de la trame ;
- « Source address » est l'adresse physique (MAC) de l'expéditeur de la trame ;
- « Type » définit le type de contenu de la trame ; ainsi il est possible de déterminer quel protocole de niveau supérieur va utiliser le paquet encapsulé dans le champs de données (Data) de la trame :

Type	Utilisation
------	-------------

0200	XEROX PUP
0201	PUP Address Trans.
0600	XEROX NS IDP
0800	DoD Internet (Datagramme IP)
0801	X.75 Internet
0802	NBS Internet
0803	ECMA Internet
0804	ChaosNet
0805	X.25 niveau 3
0806	ARP
0807	XNS
6001 à 6006	DEC
8035	RARP
8098	Appletalk

- « Data » contient les données brutes de la trame à passer au protocole déterminé par le champ « Type » ;
- « CRC » est le code détecteur d'erreur (total de contrôle) de la trame permettant d'assurer son intégrité.

1.2. Le datagramme IP

L'en-tête IP est alignée sur des mots de 32 bits. Sa longueur est donc multiple de 4 octets. Par défaut, sans option, l'en-tête IP fait 20 octets de long :

4 bits	4 bits	8 bits	16 bits	
Version	IHL	TOS	Total length	
Identification			Flags	Fragment offset
TTL		Protocol	Header checksum	
Source address				
Destination address				
Options				
				Padding
Data				

- « Version » indique le format de l'en-tête. Ce champ sert à l'identification de la version courante du protocole. La version décrite ici (et aujourd'hui utilisée) porte le n°4 ;
- « IHL (*IP Header Length*) » est la longueur de l'en-tête IP exprimée en mots de 32 bits (5 au minimum, 15 au maximum) ;
- « TOS (*Type Of Service*) » définit le type de service à appliquer au paquet en fonction de certains paramètres comme le délai de transit, la sécurité. Codé sur 8 bits, il comprend les champs suivants :

P	D	T	R	0	0
---	---	---	---	---	---

Champ	Valeur
« P (<i>Precedence</i>) » (3 bits)	111 contrôle du réseau

décrit la priorité	110	contrôle inter-réseaux
	101	CRITIC/ECP
	100	flash prioritaire
	011	flash
	010	immédiat
	001	prioritaire
	000	routine
« D (<i>Delay</i>) » décrit le souhait en matière de temps de traversée	0	normal
	1	privilégier les chemins à temps de traversée faible
« T (<i>Throughput</i>) » décrit le souhait en matière de débit	0	normal
	1	privilégier les chemins à débit élevé
« R (<i>Reliability</i>) » décrit le souhait en termes de fiabilité	0	normal
	1	privilégier les chemins à fiabilité élevée

(Il est à noter que sur l'Internet, les routeurs ne tiennent généralement pas compte du champ TOS.)

- « Total Length » est la longueur totale du datagramme, en-tête et données inclus, exprimée en octets. La longueur d'un datagramme IP est donc limitée à 65 535 octets (en pratique il est rare qu'un datagramme IP fasse plus de 1500 octets) ;
- « Identification » est une valeur fournie par l'émetteur aidant au réassemblage des différents fragments du datagramme. Le seul usage de ce champ est donc de permettre à une entité réceptrice de reconnaître les datagrammes qui appartiennent à un même datagramme initial et qui doivent donc faire l'objet d'un réassemblage ;
- « Flags » est utilisé par la fragmentation. Il est composé de deux indicateurs : DF (*Don't Fragment*) pour interdire la fragmentation et de MF (*More Fragment*) pour signifier des fragments à suivre :

0	DF	MF
---	----	----

DF :	0 = <i>May Fragment</i> 1 = <i>Don't Fragment</i>
MP :	0 = <i>Last Fragment</i> 1 = <i>More Fragments</i>

- « Fragment offset » indique sur 13 bits la position relative du fragment dans le datagramme initial, le déplacement étant donné en unités de 64 bits (seuls un datagramme complet ou un premier fragment de datagramme peuvent avoir ce champ à 0) ;
- « TTL (*Time To Live*) » représente une indication de la limite supérieure du temps de vie d'un datagramme. Cette valeur est comprise entre 0 et 255 ;
- « Protocol » indique le protocole (de niveau supérieur) utilisé pour le champ de données du datagramme :

Code (déc)	Abréviation	Nom du protocole	Référence
1	ICMP	Internet Control Message Protocol	[RFC792]

2	IGMP	Internet Group Management Protocol	[RFC1112]
3	GGP	Gateway-to-Gateway Protocol	[RFC823]
4	IP	IP in IP (encapsulation)	
5	ST	Stream	[RFC1190]
6	TCP	Transmission Control Protocol	[RFC793]
7	UCL	UCL	
8	EGP	Exterior Gateway Protocol	[RFC888]
9	IGP	any private Interior Gateway Protocol	
10	BBN-RCC-MON	BBN RCC Monitoring	
11	NVP-II	Network Voice Protocol	[RFC741]
12	PUP	PUP	
13	ARGUS	ARGUS	
14	EMCON	EMCON	
15	XNET	Cross Net Debugger	
16	CHAOS	Chaos	
17	UDP	User Datagram Protocol	[RFC768]
36	XTP	XTP	
37	DDP	Datagram Delivery Protocol	
45	IDRP	Inter-Domain Routing Protocol	
46	RSVP	Reservation Protocol	
47	GRE	General Routing Encapsulation	
48	MHRP	Mobile Host Routing Protocol	
54	NHR	NBMA Next Hop Resolution Protocol	

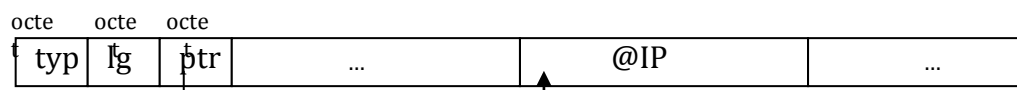
- « Header Checksum » est une zone de contrôle d'erreur portant uniquement sur l'en-tête du datagramme ;
- « Source Address » est l'adresse IP de la source du datagramme ;
- « Destination Address » est l'adresse IP de destination du datagramme ;
- « Options » sert à des fonctions de contrôle utiles dans certaines situations (estampillage temporel, sécurité, routage particulier, etc.). Le champ est donc de longueur variable. Il est constitué d'une succession d'options élémentaires, également de longueurs variables. Les options sont codées sur le principe TLV (Type, Longueur, Valeur). La longueur indique la taille complète de l'option en octets. Les options possibles sont :

Type (déc.)	Option	Objet
0	<i>End of Options List</i> (EOOL)	Utilisée si la fin des options ne coïncide pas avec la fin de l'en-tête.
1	<i>No Operation</i> (NOP)	Pour aligner le début de l'option suivante sur 32 bits.
130	<i>Security</i> (SEC)	Permet aux hôtes d'indiquer des restrictions liées à la sécurité (ex : non classifié, confidentiel, restreint, top secret, etc.).
131	<i>Loose Source Route</i> (LSR)	Permet à la source du datagramme de fournir des informations à utiliser par les passerelles pour le routage du datagramme vers sa destination et d'enregistrer l'information concernant la route (série d'adresses Internet) ; un routeur ou une route peut utiliser

		n'importe quelle route avec un nombre quelconque de passerelles intermédiaires pour atteindre la prochaine adresse indiquée dans la route.
68	<i>Time Stamp (TS)</i>	Enregistrement de l'heure de chaque passage de passerelle.
133	<i>Extended Security (E-SEC)</i>	Notions de sécurité étendues.
7	<i>Record Route (RR)</i>	Permet d'enregistrer la route d'un datagramme (l'adresse IP de chaque passerelle traversée).
136	<i>Stream ID (SID)</i>	Permet de véhiculer un identifieur de flux ; utilisée à des fins de débogage et de mesure.
137	<i>Strict Source Route (SSR)</i>	Idem LSR, si ce n'est qu'un routeur ou un hôte doit envoyer directement le datagramme à la prochaine adresse indiquée dans la route.

Exemple : l'option « Record Route »

– Structure de l'option :



– Champ type : 7 ;

– L'adresse qui est enregistrée correspond à l'interface utilisée en sortie par le routeur ;

- « Padding » permet d'aligner l'en-tête sur 32 bits.

1.3. Le paquet ARP (*Address Resolution Protocol*) / RARP (*Reverse ARP*)

Le protocole ARP permet à une machine d'obtenir l'adresse Ethernet (physique) d'une autre machine, connaissant son adresse IP (logique). Le protocole RARP fait l'inverse. Un paquet ARP (ou RARP) est structuré de la façon suivante :

16 bits		16 bits	
Hardware		Protocol	
Hlen	Plen	Operation	
Sender HA (bytes 0-3)		Sender IA (bytes 0-1)	
Sender HA (bytes 4-5)			
Sender IA (bytes 2-3)		Target HA (bytes 0-1)	
Target HA (bytes 2-5)			
Target IA (bytes 0-3)			

- « Hardware » définit le type d'interface pour laquelle l'émetteur cherche une réponse ;

Exemple : 00 01 pour une interface Ethernet ;

- « Protocol » définit le type de protocole pour lequel une requête a été émise ;

Exemple : 08 00 pour une adresse logique IP ;

- « Hlen » définit la taille de l'adresse physique en octets ;

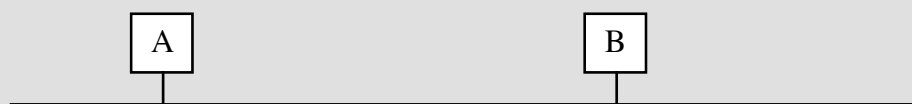
- « Plen » définit la taille de l'adresse au niveau protocolaire (IP) ;
- « Operation » décrit le type d'opération à effectuer par le récepteur ;
Exemple : 00 01 pour une requête ARP ; (00 03 pour une requête RARP)
 00 02 pour une réponse ARP ; (00 04 pour une réponse RARP)
- « Sender HA » définit l'adresse physique (Ethernet) de l'émetteur ;
- « Sender IA » définit l'adresse de niveau protocolaire (IP) demandé de l'émetteur ;
- « Target HA » définit l'adresse physique (Ethernet) du récepteur ;
- « Target IA » définit l'adresse de niveau protocolaire (IP) demandé du récepteur.

1.3.1. EXERCICE ARP

Une machine A diffuse sur le LAN auquel elle est raccordée, une trame contenant une requête ARP, afin de connaître l'adresse Ethernet de la machine ayant comme adresse IP 132.227.61.77. La machine B, qui reconnaît son adresse IP, répond à la machine A en lui adressant une trame contenant une réponse ARP.

@ Ethernet : 08 00 20 AB 01 67 @ Ethernet : 08 00 20 CD 02 78
@ IP : 132.227.61.3

@ IP : 132.227.61.77



Compléter les champs (simplifiés) des trames et des paquets ARP encapsulés, pour les deux trames échangées :

Trame de requête envoyée par A					
Destination address	Source address	Data : paquet ARP encapsulé (requête)			
		Sender HA	Sender IA	Target HA	Target IA
.....

Trame de réponse envoyée par B					
Destination address	Source address	Data : paquet ARP encapsulé (réponse)			
		Sender HA	Sender IA	Target HA	Target IA
.....

ADRESSAGE DE RESEAU ET ROUTAGE IP**2.1. EXERCICE : Classes d'adresse**

L'espace d'adressage IP est structuré. Une adresse IP est codée sur 4 octets et est constituée de deux parties : une partie *réseau* et une partie *hôte* :

Adresse IP = <réseau>.<hôte>

Initialement, trois classes d'adresses ont été définies :

- Classe A : la partie <réseau> est codée sur 1 octet (dont le bit de poids fort est égal à « 0 ») et la partie <hôte> est codée sur 3 octets ;
- Classe B : la partie <réseau> est codée sur 2 octets (les deux bits de poids fort du premier octet de l'adresse sont « 10 ») et la partie <hôte> est codée sur 2 octets ;
- Classe C : la partie <réseau> est codée sur 3 octets (les trois bits de poids fort du premier octet de l'adresse sont « 110 ») et la partie <hôte> est codée sur 1 octet.

Un **masque de réseau** (encore appelé masque « primaire ») est associé à chacune de ces classes :

- le masque d'un réseau de classe A est 255.0.0.0 (/8) ;
- le masque d'un réseau de classe B est 255.255.0.0 (/16) ;
- le masque d'un réseau de classe C est 255.255.255.0 (/24).

La valeur (optionnelle) spécifiée après le « / » indique la longueur du préfixe réseau.

QUESTION

- 2.1.1. De combien de réseaux de chacune des classes dispose-t-on ?
- 2.1.2. Combien de machines un réseau de chacune des trois classes peut-il adresser ?
- 2.1.3. A quelle classe correspond l'adresse IP 193.55.28.152 ? Quel est le masque de réseau correspondant ? Quelle est l'adresse du réseau auquel la machine 193.55.28.152 appartient ? Quelle est l'adresse de diffusion restreinte sur ce réseau ?

2.1.4. EXERCICE

Pour se voir attribuer une adresse réseau, un site doit justifier du besoin de raccorder un certain nombre de machines.

- a. Quelle est la classe de l'adresse réseau attribuée à un réseau physique auquel seront connectés 100 hôtes ? Calculer l'efficacité liée à l'attribution de cette classe.
- b. Même question pour un réseau physique auquel seront connectés 500 hôtes.

2.2. EXERCICES : Sous-réseaux

Tout réseau peut être décomposé en un certain nombre de **sous-réseaux** partageant le même préfixe réseau. L'adresse IP possède alors la forme suivante :

Adresse IP = <réseau><sous.réseau><hôte>.

Contrairement aux identifiants réseau dont la longueur est prédéterminée par la classe de l'adresse, les préfixes de sous-réseaux peuvent être de longueur variable. La longueur d'un préfixe est choisie selon le nombre de sous-réseaux constituant un site et le nombre d'hôtes par sous-réseaux. Il est donc nécessaire de spécifier pour toute adresse IP affectée, la longueur de son préfixe. C'est la vocation des **masques de sous-réseau**. Le masque associé à une adresse IP est un mot de 32 bits où les seuls bits positionnés à 1 sont ceux associés au préfixe de cette adresse.

2.2.1 Exercice 1 :

Un site justifie le besoin d'une plage d'environ 64 000 adresses.

- De quelle classe d'adresse réseau ce site a-t-il besoin ?
- Le site se voit attribuer l'adresse 132.227.0.0/16. Il désire alors subdiviser son réseau en 30 sous-réseaux. Combien de machines au maximum pourra-t-il connecter sur chaque sous-réseau ?
- Quel est le masque de sous-réseau associé à cette décomposition ?
- A quel sous-réseau la machine 132.227.75.13 appartient-elle ?
- Quelles sont les adresses associées à chacun de ces 30 sous-réseaux ?
- Suivant qu'un routeur appartient ou non au site, il en possède une vue différente. Expliquer pourquoi.

Remarque : Ce procédé rend obsolète la structuration des adresses IP en 3 classes A, B et C. En effet, une adresse réseau appartenant à l'une des 3 classes peut à présent adresser plusieurs réseaux physiques. Les adresses réseau consécutives et dont la longueur du préfixe le plus long partagé est différente de celle de l'identifiant réseau imposée par sa classe, peuvent être agrégées en une adresse réseau dont la classe spécifierait un identifiant réseau de la longueur de ce préfixe.

Attribuer des adresses réseau dont la longueur de l'identifiant réseau est variable permet une structuration hiérarchique non plus sur 2 niveaux, mais sur plusieurs niveaux de l'espace d'adressage, indispensable pour résoudre le problème de l'épuisement des adresses IP allouables et celui de la taille croissante des tables de routage.

2.2.2. Exercice 2 :

Un ISP a 6 clients, notés C1, C2, ..., C6. Parmi ces clients, C1 et C2 utilisent au plus 512 adresses, C3 et C4 au plus 1024 adresses, C5 au plus 2048 et C6 au plus 4096 adresses. Sachant que le bloc des adresses de classe C attribué à l'ISP est compris entre 192.24.0.0 et 192.24.35.0, proposer un plan d'adressage adoptable par l'ISP. Comparer le avec un schéma où des adresses de classes B ont été attribuées à l'ISP

2.3. Routage IP

Dans un réseau à commutation par paquets, le **routage** est le traitement qui consiste à choisir le chemin sur lequel transmettre un paquet en fonction de son adresse destination et des informations contenues dans les tables de routage. Le **protocole de routage** permet, quant à lui, de construire dynamiquement les tables de routage. Une **table de routage** (ou FIB pour *Forwarding Information Base*) est une structure complexe qui contient les informations nécessaires pour atteindre toute adresse IP valide.

Un internet est composé de plusieurs réseaux interconnectés par des équipements appelés **gateways** (*passerelles* ou **routeurs**). Chaque *gateway* est directement connecté à au moins deux réseaux physiques et assure le transfert des paquets (relaye les paquets) d'un réseau à un autre. Un **hôte** est directement connecté à au moins un réseau physique mais ne relaye jamais de paquets. Ainsi, contrairement aux *gateways*, il rejette systématiquement les paquets qu'il reçoit et dont il n'est pas le destinataire. En théorie, un hôte n'exécute donc pas de protocole de routage et ses tables de routage sont généralement construites manuellement par l'administrateur réseau.

Il existe deux façons de faire du routage dans IP :

- Le **routage direct** concerne la transmission d'un paquet IP entre deux machines connectées au même réseau physique (pas de *gateway* impliquée). La source encapsule le paquet dans une trame dont l'adresse de destination est l'adresse MAC (Ethernet) de la destination.
- Le **routage indirect** intervient lorsque la destination n'est pas connectée au même réseau physique que la source. La transmission du paquet est alors effectuée de proche en proche (*hop by hop*) ; le routage IP fournit l'adresse du prochain routeur sur le chemin vers la destination souhaitée (*gateway* la plus « proche » de la destination). Chaque paquet est alors encapsulé dans une trame dont l'adresse MAC (Ethernet) de destination est celle de la *gateway* empruntée.

Une table de routage IP est constituée d'au moins quatre colonnes :

Destination	Mask	Gateway	Interface

- La colonne « Destination » indique la destination que permet de joindre cette entrée. Il peut s'agir d'une adresse complète d'hôte ou d'une adresse réseau ; 0.0.0.0 correspond à la route par défaut.
- La colonne « Mask » spécifie, si la destination est un (sous-)réseau, le masque de ce (sous-)réseau. Si la destination est un hôte, elle contient 255.255.255.255. Si l'entrée est celle de la route par défaut, elle contient 0.0.0.0.
- La colonne « Gateway » indique l'adresse du prochain routeur. Si l'adresse de destination est celle d'un hôte ou d'un réseau directement accessible par une interface locale, apparaît, selon les systèmes, 0.0.0.0 ou un astérisque.
- La colonne « Interface » indique l'interface (la carte Ethernet) sur laquelle le paquet doit être transmis pour suivre la route considérée.

L'algorithme simplifié suivant permet à un routeur de déterminer, lorsqu'il reçoit un paquet IP contenant l'adresse IP « DestAdr », sur quelle interface il doit le relayer. Les entrées de la table de routages sont notées « (H, 255.255.255.255, G, I) » si l'adresse H est celle d'un hôte et « (R, M, G, I) » si l'adresse R est celle d'un réseau :

S'il existe une entrée (H, 255.255.255.255, G, I) telle que DestAdr = H alors
 Routage comme spécifié dans la table (direct si G = *, indirect sinon)
 sur l'Interface I
 Sinon
 S'il existe une entrée (R, M, G, I) telle que (DestAdr AND M) = R alors
 Routage comme spécifié dans la table (direct si G = *, indirect
 sinon)
 sur l'Interface I
 Sinon
 S'il existe une route par défaut (0.0.0.0, 0.0.0.0, G, I) alors
 Routage indirect via G sur l'interface I
 Sinon
 Envoyer une erreur *host unreachable* ou *unreachable network*
 à l'application émettrice

Il est à noter que si plusieurs entrées de la table de routage conviennent (« match »), l'algorithme choisit celle dont l'adresse de destination possède le plus de bits identiques avec celle du paquet (« best matching »).

2.3.1. Exercice 2 :

On considère un routeur R1 ayant la table de routage suivante :

Destination	Mask	Gateway	Interface
192.4.153.1	255.255.255.255	R2	eth0
192.4.153.128	255.255.255.192	R3	eth0
128.96.33.0	255.255.255.128	*	eth0
128.96.34.0	255.255.255.128	*	eth1
128.96.40.0	255.255.255.0	R2	eth0
0.0.0.0	0.0.0.0	R4	eth1

Le routeur peut donc délivrer directement des paquets sur ses interfaces 0 et 1, ou faire suivre des paquets aux routeurs R2, R3 et R4. Indiquez ce que fait R1 sur réception d'un paquet adressé aux destinations suivantes :

Adresse de destination	Prochaine étape
128.96.33.10	
128.96.34.12	
128.96.40.151	

	192.4.153.133	
	192.4.153.1	
	192.4.153.90	

AUTRES EXERCICES

2.3.1. Exercice 2 :

Question 1 : Analyse de l'entête IP :

45 00 00 54 8B FE 00 00 FF 01 XX XX 81 68 FE 06 81 68 FE 05

Rappel :

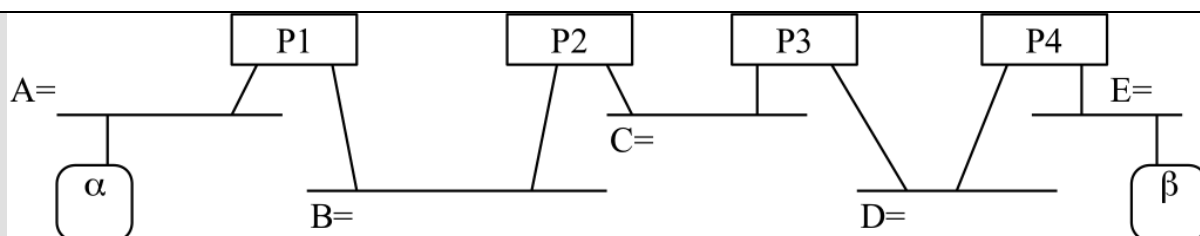
4 bits		4 bits		8 bits		16 bits	
Version	IHL	TOS		Total length			
Identification				Flags	Fragment offset		
TTL		Protocol		Header checksum			
Source address							
Destination address							
Options							
							Padding
Data							

- Quelles sont les adresses IP de l'émetteur et du destinataire ?
- Quelles sont leurs classes d'adressage IP ?
- Quels sont les numéros de réseau ? Les stations sont-elles sur le même réseau ?
- Quels sont les adresses locales d'hôtes ?

Question 2 : Routage statique

- Dans le schéma suivant donnez des adresses IP cohérentes à toutes les interfaces réseau du schéma. Complétez avec les numéros de réseaux (A, B, C, D). Sachant que les adresses suivantes sont fixées:

(P1A) = 129.5.6.254, (P1B) = 130.104.105.254,
(P3C) = 192.33.192.254, (P3D) = 16.10.10.254,
(P4D) = 16.16.16.254, (P4E) = 129.10.11.254,



Exemple d'adresses cohérentes (il est d'usage de donner l'adresse 254 pour les passerelles)

b) Complétez la table de routage de a (incluant le bouclage local)

On suppose que son interface réseau s'appelle eth0 et que la boucle locale s'appelle lo (loop).

<i>Destination</i>	<i>Gateway</i>	<i>Netmask</i>	<i>Flags</i>	<i>Interface</i>
127.0.0.0				lo
129.5.0.1				eth0
129.5.0.0				eth0
Default ou 0.0.0.0				eth0

c) Donnez la table de routage de P1 (eth0 du coté réseau A) puis de P2 (eth0 du coté réseau B)

P1:

<u>Destination</u>	<u>Gateway</u>	<u>Netmask</u>	<u>Flags</u>	<u>Interface</u>
127.0.0.0				lo
129.5.6.254				
129.5.0.0				
130.104.105.254				
130.104.0.0				
Default ou 0.0.0.0				

Ici la ligne default masque les réseaux C, D et E.

P2:

<u>Destination</u>	<u>Gateway</u>	<u>Netmask</u>	<u>Flags</u>	<u>Interface</u>
127.0.0.0				
130.104.0.254				
130.104.0.0				
129.5.0.0				
192.33.192.253				
192.33.192.0				
Default ou 0.0.0.0				

Question 3 : Sous-adressage

Une entreprise désire subdiviser son réseau (classe A, par exemple : 10.0.0.0) en sous-réseaux. Elle désire faire 18 sous-réseaux.

a) Quel est le masque de réseau nécessaire ?

b) Quelles est la première adresse IP disponible pour une station dans chaque sous-réseau,

sachant que l'entreprise dispose du routeur nécessaire pour faire le routage entre les différents sous-réseaux et le lien avec internet (faire un schéma) ?

c) Donnez la dernière adresse IP utilisable par sous-réseau.

d) Complétez la table de routage (minimale) du routeur (on choisira de distinguer l'interface liée à internet par un nom différent : EthInt)

Destination	Gateway	Netmask	Flags	Interface
10.0.0.254				Eth00
10.0.0.0				Eth00
10.8.0.254				Eth01
10.8.0.0				Eth01
...	
10.136.0.254				Eth17
10.136.0.0				Eth17
Default				EthInt

e) Le routeur reçoit par son interface liée à internet un paquet IP portant comme destinataire l'adresse 10.100.100.1. Par quelle interface le routeur doit-il faire sortir ce paquet ?

Annexe : Les bases décimale, binaire et hexadécimale

Le tableau ci-dessous montre la représentation des nombres de 0 à 15 dans les bases 10, 2 et 16:

Décimal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Binaire	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Hexadécimal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Exemple : Conversion décimal - binaire

Convertissons 01001101 en décimal à l'aide du schéma ci-dessous:

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
0	1	0	0	1	1	0	1

Exemple : Conversion hexadécimal - binaire

Convertissons 01001101 en hexadécimal. Il suffit de regrouper les bits par quatre (en commençant depuis la droite):

Binaire	0100	1101
Pseudo-décimal	4	13
Hexadécimal	4	D