

Répétitions du Cours d'Introduction aux Réseaux Informatiques

Couche Réseau - Deuxième partie

François Cantin

Département Montefiore
Research Unit in Networking
Université de Liège

Année académique 2008–2009

- Bureau : Institut Montefiore (B28), 177a.
- Email : cantin@run.montefiore.ulg.ac.be.
- Téléphone : 04 366 26 94.

- Les ponts et les répéteurs n'influencent pas la construction des tables d'acheminement des routeurs.
- Lorsqu'un LAN est scindé en plusieurs segments à l'aide d'un pont, cette opération est transparente pour les routeurs. Il en va de même si un ou plusieurs répéteurs sont insérés.
- Tous les segments reliés par un ensemble de ponts constituent un seul et unique LAN. Tous les hôtes et toutes les interfaces des routeurs connectés à ce LAN doivent employer le même masque de sous-réseau et le même identifiant de réseau. Il faut aussi veiller lors de leur configuration à ce que l'identifiant d'hôte de chacun soit unique sur le LAN.

Exercice 1

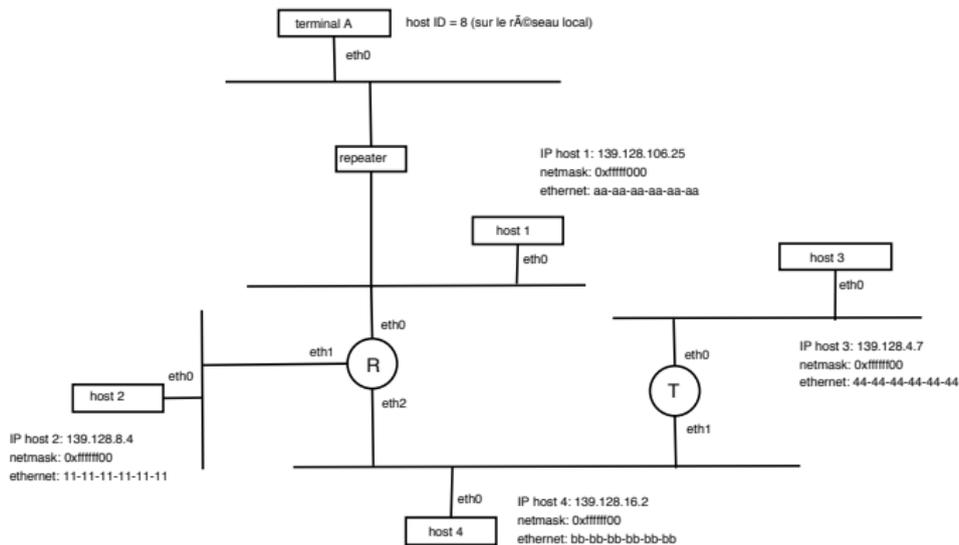
Considérons le réseau, sur le transparent suivant, interconnectant un ensemble de segments Ethernet.

- 1 Donnez l'adresse IP du terminal A.
- 2 Quelles sont les tables d'acheminements les plus probables pour *R*, *T*, host 1, host 4 et host 3 ?
- 3 Donnez les champs d'adresses source et destination dans les en-têtes Ethernet et IP quand on considère un transfert de données unidirectionnel host 3 \rightarrow host 1.

Les informations relatives aux deux routeurs sont :

Interface	IP	Netmask	Ethernet
routeur <i>R</i>			
eth0	139.128.106.26	0xfffff000	01-01-01-01-01-01
eth1	139.128.8.5	0xfffff000	02-02-02-02-02-02
eth2	139.128.16.3	0xfffff000	03-03-03-03-03-03
routeur <i>T</i>			
eth0	139.128.4.8	0xfffff000	04-04-04-04-04-04
eth1	139.128.16.4	0xfffff000	05-05-05-05-05-05

Exercice 1 (2)



Topologie pour l'exercice 1

1 La présence du répéteur ne change rien par rapport à la situation de l'exercice 8 de la répétition 3 : pour IP, le terminal A se trouve toujours sur le même sous-réseau que host 1. La solution est donc la même que pour l'exercice 8 de la répétition 3 :

$$IP_A = 139.128.96.8$$

2 Comme, du point de vue d'IP, ce réseau est identique à celui de l'exercice 8 de la répétition 3, les tables d'acheminement de l'ex 8 de la répétition 3 restent valables.

La table d'acheminement la plus probable pour host 3 est :

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
localhost	*	255.255.255.255	UH	lo0
139.128.4.0	*	255.255.255.0	U	eth0
<i>default</i>	139.128.4.8	0.0.0.0	UG	eth0

3 On considère un transfert unidirectionnel host 3 \rightarrow host 1.
L'en-tête du paquet IP généré par host 3 comporte l'adresse IP de host 3 comme source et l'adresse IP de host 1 comme destination.

IP source : 139.128.4.7

IP destination : 139.128.106.25

L'hôte 3 consulte sa table d'acheminement pour savoir comment atteindre l'adresse IP de host 1. La seule entrée dans cette table correspondant à " $IP_{dest} AND mask$ " est l'entrée *default*. Le paquet devra donc transiter par le gateway T^1 .

Le paquet IP est ensuite encapsulé dans une trame Ethernet d'adresse source MAC_{host3} et destination $MAC_{T_{eth0}}$.

Ethernet source : 44-44-44-44-44-44 (MAC_{host3})

Ethernet destination : 04-04-04-04-04-04 ($MAC_{T_{eth0}}$)

¹Utilisation d'une requête ARP si l'adresse MAC correspondant à 139.128.4.8 n'est pas connue par host 3

Résolution exercice 1 (6)

La trame est reçue par le routeur T qui en extrait le paquet IP et consulte sa table d'acheminement. Seule la dernière entrée convient pour l'adresse de destination. Il détermine ainsi que le paquet devra transiter par le routeur R . Il construit donc une nouvelle trame Ethernet :

Ethernet source : 05-05-05-05-05-05 (MAC_{T-eth1})

Ethernet destination : 03-03-03-03-03-03 (MAC_{R-eth2})

Le routeur R extrait le paquet IP de la trame reçue et consulte sa table d'acheminement. Seule la deuxième entrée convient pour l'adresse de destination. Il sait donc que la destination est connectée au LAN auquel il est attaché par son interface $eth0$. Il adresse la nouvelle trame Ethernet à l'hôte 1 :

Ethernet source : 01-01-01-01-01-01 (MAC_{R-eth0})

Ethernet destination : aa-aa-aa-aa-aa-aa (MAC_{host1})

L'hôte 1 reçoit la trame et en extrait le paquet IP.

Exercice 2

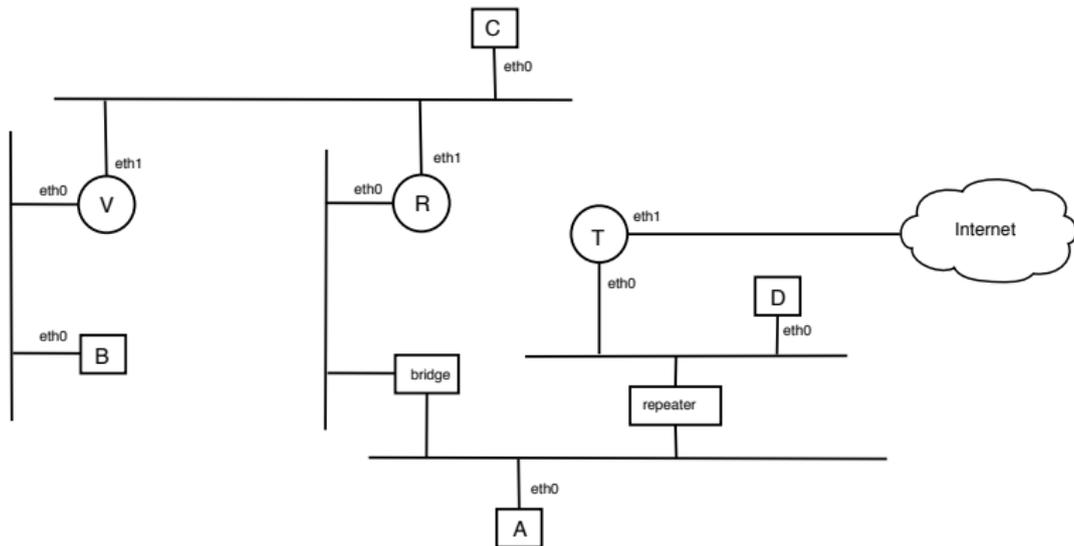
On considère la figure sur le transparent suivant.

- 1 Donnez l'adresse IP de *D* sachant que son hostID est 513.
- 2 Donnez les tables d'acheminements de *R*, *V*, *A* et *B*.
- 3 Considérons un transfert unidirectionnel de données entre *A* et *B*. Donnez les adresses IP et Ethernet des trames échangées.

Données du réseau IP (routeurs)			
Routeur	Interface	MAC	Host ID
<i>R</i>	eth0	a0-a0-a0-a0-a0-a0	2
	eth1	a1-a1-a1-a1-a1-a1	2
<i>T</i>	eth0	b0-b0-b0-b0-b0-b0	3
	eth1	b1-b1-b1-b1-b1-b1	3
<i>V</i>	eth0	c0-c0-c0-c0-c0-c0	4
	eth1	c1-c1-c1-c1-c1-c1	4

Données du réseau IP (stations)				
Station	Interface	MAC	IP	Netmask
<i>A</i>	eth0	aa-aa-aa-aa-aa-aa	140.140.140.1	0xffff0000
<i>B</i>	eth0	bb-bb-bb-bb-bb-bb	150.150.150.1	0xfffff00
<i>C</i>	eth0	cc-cc-cc-cc-cc-cc	160.160.160.1	0xfffff00
<i>D</i>	eth0	dd-dd-dd-dd-dd-dd	?	?

Exercice 2 (2)



Topologie pour l'exercice 2

1 La présence du pont ne change en rien la structure du réseau du point de vue d'IP : les adresses $IP_{R_{eth0}}$, $IP_{T_{eth0}}$, IP_A et IP_D font partie du même sous réseau. Donc, ce réseau est identique à celui de l'exercice 7 de la répétition 3. L'adresse IP de D est donc :

$$IP_D = 140.140.2.1$$

2 Les tables d'acheminement sont identiques à celles calculées pour l'exercice 7 de la répétition 3.

3 Les adresses IP source et destination du paquet encapsulé dans chaque trame sont respectivement 140.140.140.1 et 150.150.150.1. Le paquet IP ne sera pas modifié entre son émission par A et sa réception par B .

Grâce à sa table d'acheminement IP, A sait qu'il doit envoyer se paquet par son interface eth0 et qu'il doit transiter par un gateway dont l'adresse IP est $IP_{R_{\text{eth0}}}$. Il place donc une trame dont l'adresse source est MAC_A et l'adresse est $MAC_{R_{\text{eth0}}}$ ². Il envoie cette trame sur son interface eth0 .

Important : Les ponts sont **transparents**. Les stations et les routeurs ne s'occupent pas de leur présence ! Ici, A envoie sa trame directement à R sans s'occuper du pont qui se trouve entre eux.

²Si la couche 2 de A ne connaît pas l'adresse MAC associée à $IP_{R_{\text{eth0}}}$, elle l'obtient à l'aide d'une requête ARP.

Résolution exercice 2 (3)

Le pont reçoit la trame. Le pont sait par quelles interfaces sont les adresses $MAC_{R_{eth0}}$ et MAC_A peuvent être atteintes³. Il voit dans sa table d'adresses que l'adresse MAC de destination de la trame se trouve sur sa seconde interface. Il propage la trame sur celle-ci.

Le routeur R reçoit la trame sur son interface eth0. Il extrait le paquet IP qu'elle contient et il consulte sa table d'acheminement. Il voit que la destination de ce paquet se trouve sur son interface eth1 et qu'il faut passer par un gateway dont l'adresse est $IP_{V_{eth1}}$. Il imbrique donc le paquet IP dans une trame d'adresse source $MAC_{R_{eth1}}$ et d'adresse destination $MAC_{V_{eth1}}$ (utilisation de ARP si nécessaire) et il émet cette trame sur son interface eth1.

³Soit A connaissait déjà $MAC_{R_{eth0}}$. Dans ce cas, c'est qu'il avait déjà envoyé des trames à cette adresse et le pont a vu passer ces trames. La table d'adresses du pont est donc à jour. Soit A ne connaissait pas l'adresse $MAC_{R_{eth0}}$. Dans ce cas, il l'a découverte à l'aide d'une requête ARP et la table d'adresse du pont a été mise à jour lors du passage de la requête et de sa réponse.

Résolution exercice 2 (4)

Le routeur V reçoit la trame sur son interface eth1. Il extrait le paquet IP qu'elle contient et il consulte sa table d'acheminement. Il voit que la destination de ce paquet est connectée au LAN accessible par son interface eth0. Il imbrique donc le paquet IP dans une trame d'adresse source $MAC_{V_{eth0}}$ et d'adresse destination MAC_B (utilisation de ARP si nécessaire) et il émet cette trame sur son interface eth0. La trame est reçue par B

En résumé, les en-têtes des trames sont :

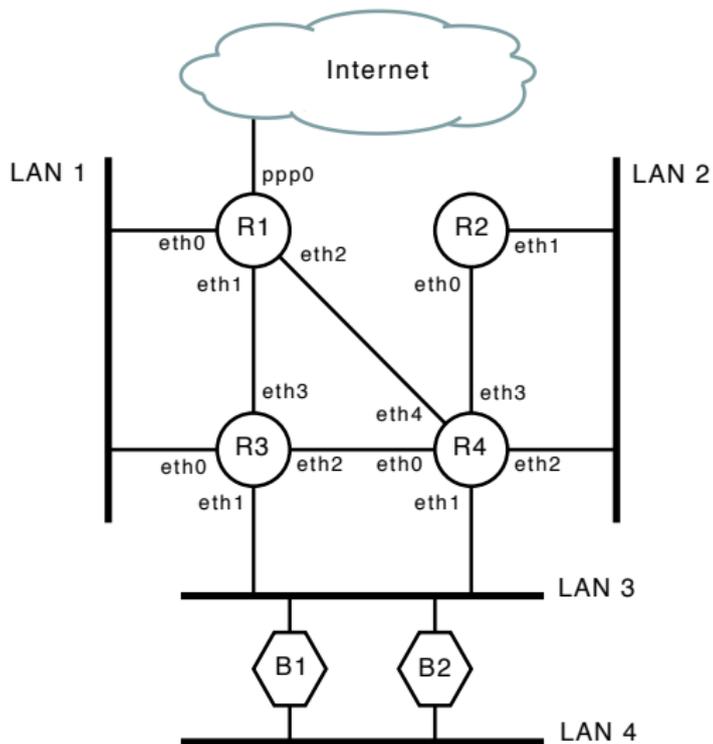
Trames	Ethernet source	Ethernet destination
A \rightarrow R	aa-aa-aa-aa-aa-aa (MAC_A)	a0-a0-a0-a0-a0-a0 (MAC_{R-eth0})
R \rightarrow V	a1-a1-a1-a1-a1-a1 (MAC_{R-eth1})	c1-c1-c1-c1-c1-c1 (MAC_{V-eth1})
V \rightarrow B	c0-c0-c0-c0-c0-c0 (MAC_{V-eth0})	bb-bb-bb-bb-bb-bb (MAC_B)

Exercice 3 (inspiré de janvier 2005)

On considère le réseau IP présenté sur le slide suivant. Les routeurs emploient un algorithme du plus court chemin et tous les liens ont un coût unitaire.

Routeur	Interface	Adresse IP	Masque	Adresse MAC
<i>R1</i>	ppp0	163.1.1.1	255.255.0.0	aa-aa-aa-aa-aa-10
	eth0	163.2.208.1	255.255.240.0	aa-aa-aa-aa-aa-11
	eth1	163.2.2.1	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-12
	eth2	163.2.2.5	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-13
<i>R3</i>	eth0	163.2.208.2	255.255.240.0	aa-aa-aa-aa-aa-30
	eth1	163.2.184.1	255.255.248.0	aa-aa-aa-aa-aa-31
	eth2	163.2.2.13	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-32
	eth3	163.2.2.2	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-33
<i>R4</i>	eth0	163.2.2.14	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-40
	eth1	163.2.184.2	255.255.248.0	aa-aa-aa-aa-aa-41
	eth2	163.2.176.2	255.255.248.0	aa-aa-aa-aa-aa-42
	eth3	163.2.2.10	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-43
	eth4	163.2.2.6	255.255.255.252	aa-aa-aa-aa-aa-44

Exercice 3 (2)



Topologie pour l'exercice 3

Exercice 3 (3)

- 1 Combien de machines l'administrateur de ce réseau peut-il connecter sur les LANs créés.
- 2 Attribuez une adresse IP et un masque de sous-réseau valides aux interfaces de *R2*.
- 3 Donnez la table d'acheminement la plus probable pour *R4*.
- 4 L'administrateur attribue une adresse IP 163.2.182.3 à un nouvel hôte *H* dont l'adresse MAC est aa-aa-aa-aa-aa-aa. Où *H* doit-il être connecté? Quel est son identificateur local?
- 5 L'hôte *H* est installé. Il commence à naviger sur le web. Le troisième lien sélectionné produit une requête HTTP pour le serveur *S* dont d'adresse IP 139.165.139.165 et MAC bb-bb-bb-bb-bb-bb. Pour chaque trame générée sur le réseau depuis le clic sur le lien jusqu'à la réception du premier paquet de réponse du serveur, indiquez le contenu des champs d'adresse MAC et IP (source et destination).

1 Les différents LANs constituent 3 sous-réseaux IP : les LANs 1 et 2 en constituent chacun un et les LAN 3 et 4 n'en constituent qu'un seul.

- Grâce au masque de $IP_{R1_{eth0}}$ (ou de $IP_{R3_{eth0}}$), on sait que le LAN 1 est un sous-réseau /20 (12 bits libres). On peut y connecter $2^{12} - 2 = 4094$ machines.
- Grâce au masque de $IP_{R4_{eth2}}$, on sait que le LAN 2 est un sous-réseau /21 (11 bits libres). On peut y connecter $2^{11} - 2 = 2046$ machines.
- Grâce au masque de $IP_{R3_{eth1}}$ (ou de $IP_{R4_{eth1}}$), on sait que le sous-réseau constitué des LAN 3 et 4 est /21 également. On peut y connecter $2^{11} - 2 = 2046$ machines.

Au total, l'administrateur pourra connecter

$$4094 + 2046 + 2046 = 8186 \text{ machines}$$

2 **eth 0** : Le masque doit être le même que celui de $R4_{eth3}$, à savoir 255.255.255.252. L'adresse IP de $R2_{eth1}$ doit donc être de la forme⁴ :

$$10100011.00000010.00000010.000010_{xx}$$

où la partie non définie est complétée avec le host id. Sur le "sous-réseau", seule l'adresse $IP_{R4_{eth3}}$ est attribuée. Son host Id (2 bits) est $10 = 2$. On ne peut choisir que 1 comme host Id pour $IP_{R2_{eth0}}$ ("00" et "11" sont interdits). On a :

$$\begin{aligned} IP_{R2_{eth0}} &= 10100011.00000010.00000010.00001001 \\ &= 163.2.2.9 \end{aligned}$$

⁴On applique le masque 255.255.255.252 à $IP_{R4_{eth3}}$

eth 1 : Le masque doit être le même que celui de $R4_{eth2}$, à savoir 255.255.248.0. L'adresse IP de $R2_{eth1}$ doit donc être de la forme⁵ :

10100011.00000010.10110xxx.xxxxxxxxx

où la partie non définie est complétée avec le host id. Sur le sous-réseau, seule l'adresse $IP_{R4_{eth2}}$ est attribuée. Son host Id (11 bits) est 00000000010 = 2. On peut choisir 1 comme host Id pour $IP_{R2_{eth1}}$. On a alors :

$$\begin{aligned} IP_{R2_{eth1}} &= 10100011.00000010.10110000.00000001 \\ &= 163.2.176.1 \end{aligned}$$

⁵On applique le masque 255.255.248.0 à $IP_{R4_{eth2}}$

3 L'adresse du sous-réseau constitué du LAN 1 est

$$\begin{aligned}IP_{R1_{eth0}} &= 10100011.00000010.11010000.00000001 \\Mask_{R1_{eth0}} &= \underline{11111111.11111111.11110000.00000000} \\IP_{R1_{eth0}} \text{ AND } Mask_{R1_{eth0}} &= 10100011.00000010.11010000.00000000 \\&= 163.2.208.0\end{aligned}$$

L'adresse du sous-réseau constitué des LANs 3 et 4 est

$$\begin{aligned}IP_{R3_{eth1}} &= 10100011.00000010.10111000.00000001 \\Mask_{R3_{eth1}} &= \underline{11111111.11111111.11111000.00000000} \\IP_{R3_{eth1}} \text{ AND } Mask_{R3_{eth1}} &= 10100011.00000010.10111000.00000000 \\&= 163.2.184.0\end{aligned}$$

A partir des résultats du point 2, on sait que l'adresse du sous-réseau constitué du LAN 2 est 163.2.176.0.

Résolution exercice 3 (5)

L'adresse du sous-réseau entre *R4* et *R3* est 163.2.2.12, celle du sous-réseau entre *R4* et *R1* est 163.2.2.4, celle du sous-réseau entre *R4* et *R2* est 163.2.2.8 et celle du sous-réseau entre *R1* et *R3* est 163.2.2.0.

Une table d'acheminement possible pour *R4* est :

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
localhost	*	255.255.255.255	UH	lo0
163.2.176.0	*	255.255.248.0	U	eth2
163.2.184.0	*	255.255.248.0	U	eth1
163.2.208.0	163.2.2.5	255.255.240.0	UG	eth4
163.2.2.12	*	255.255.255.252	U	eth0
163.2.2.4	*	255.255.255.252	U	eth4
163.2.2.8	*	255.255.255.252	U	eth3
163.2.2.0	163.2.2.5	255.255.255.252	UG	eth4
<i>default</i>	163.2.2.5	0.0.0.0	UG	eth4

Résolution exercice 3 (6)

Dans cette seconde table, les comportements du routeur pour les entrées 163.2.208.0, 163.2.2.0 et *default* sont les mêmes. Ces entrées peuvent donc être regroupées. La table d'acheminement la plus probable pour *R4* est

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
localhost	*	255.255.255.255	UH	lo0
163.2.176.0	*	255.255.248.0	U	eth2
163.2.184.0	*	255.255.248.0	U	eth1
163.2.2.12	*	255.255.255.252	U	eth0
163.2.2.4	*	255.255.255.252	U	eth4
163.2.2.8	*	255.255.255.252	U	eth3
<i>default</i>	163.2.2.5	0.0.0.0	UG	eth4

4 L'adresse IP de H sous la forme binaire est

10100011.00000010.10110110.00000011

Pour que H puisse être attaché à un sous-réseau donné, il faut que $IP_H \text{ AND } mask = networkId$ pour ce réseau⁶ et que le host Id de H ne soit pas déjà utilisé dans le sous-réseau.

Pour le LAN 1, nous avons :

$networkId = 10100011.00000010.11010000.00000000$

$mask = 11111111.11111111.11110000.00000000$

$IP_H \text{ AND } mask = 10100011.00000010.10110000.00000000 \neq networkId$

On ne peut donc pas attacher H au LAN 1.

⁶Il faut que le network Id de H soit celui du sous-réseau

Résolution exercice 3 (8)

Pour le LAN 2, nous avons :

$$networkId = 10100011.00000010.10110000.00000000$$

$$mask = 11111111.11111111.11111000.00000000$$

$$IP_H \text{ AND } mask = 10100011.00000010.10110000.00000000 = networkId$$

On peut attacher H au LAN 2.

Pour le sous-réseau constitué des LANs 3 et 4, nous avons :

$$networkId = 10100011.00000010.10111000.00000000$$

$$mask = 11111111.11111111.11111000.00000000$$

$$IP_H \text{ AND } mask = 10100011.00000010.10110000.00000000 \neq networkId$$

On ne peut donc pas attacher H au LAN 3, ni au LAN 4.

H doit être attaché au LAN 2.

5 La table d'acheminement la plus probable pour H est (on choisit les plus courts chemins) :

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
localhost	*	255.255.255.255	UH	lo0
163.2.176.0	*	255.255.248.0	U	eth0
<i>default</i>	163.2.176.2	0.0.0.0	UG	eth0

- D'après les tables d'acheminement les plus probables pour H et $R4$, H accède à Internet en passant par $R4$ et $R1$.
- Comme H a déjà contacté d'autres destinations sur Internet, H connaît l'adresse MAC associée à $IP_{R4_{eth2}}$, $R4$ connaît les adresses MAC associées à $IP_{R1_{eth2}}$ et à IP_H et $R1$ connaît l'adresse MAC associée à $IP_{R4_{eth4}}$. Nous n'aurons donc pas besoin de requêtes ARP au sein de notre réseau pour découvrir ces adresses MAC.

Résolution exercice 3 (10)

La requête HTTP est imbriquée dans un paquet IP d'adresse source $IP_H = 163.2.182.3$ et d'adresse destination $IP_S = 139.165.139.165$. L'en-tête du paquet IP ne sera pas modifiée avant sa réception par S .

H constate que la seule entrée de sa table d'acheminement qui correspond à l'adresse de destination du paquet IP est l'entrée *default*. Il sait donc qu'il va devoir passer par le gateway dont l'adresse IP est $IP_{R4_{eth2}}$. Il connaît l'adresse MAC associée à cette adresse IP. Il imbrique le paquet IP dans une trame

MAC source : MAC_H

MAC destination : $MAC_{R4_{eth2}}$

et envoie la trame sur le LAN 2.

Le routeur $R4$ récupère la trame et en extrait le paquet IP. Il constate que la seule entrée de sa table d'acheminement qui correspond à l'adresse de destination du paquet IP est l'entrée *default*. Il sait donc qu'il va devoir passer par le gateway dont l'adresse IP est $IP_{R1_{eth2}}$. Il connaît l'adresse MAC associée à cette adresse IP. Il imbrique le paquet IP dans une trame

MAC source : $MAC_{R4_{eth4}}$

MAC destination : $MAC_{R1_{eth2}}$

et envoie la trame sur son interface eth4.

Le routeur $R1$ récupère la trame et en extrait le paquet IP. Il constate que la seule entrée de sa table d'acheminement qui correspond à l'adresse de destination du paquet IP est l'entrée *default*. Il envoie une trame contenant le paquet IP sur son interface ppp0.

Au bout d'un certain temps, S va recevoir une trame et il en extrait le paquet IP. Il constate que ce paquet lui est destiné et il le fait passer à la couche supérieure (typiquement, TCP). Il encapsule ensuite la réponse HTTP dans un paquet IP d'adresse source $IP_S = 139.165.139.165$ et d'adresse destination $IP_H = 163.2.182.3$.

Après un certain temps, $R1$ reçoit une trame contenant ce paquet IP. Il découvre, à l'aide de sa table d'acheminement qu'il doit propager ce paquet sur son interface eth2 et l'envoyer au gateway dont l'adresse est $IP_{R4_{eth4}}$. Il connaît l'adresse MAC associée à cette adresse IP. Il imbrique le paquet IP dans une trame

MAC source : $MAC_{R1_{eth2}}$

MAC destination : $MAC_{R4_{eth4}}$

et envoie la trame sur son interface eth2.

Le routeur $R4$ reçoit la trame sur son interface eth4 et il en extrait le paquet IP. Il constate que la seule entrée de sa table d'acheminement qui correspond à l'adresse de destination du paquet IP est l'entrée 163.2.176.0. Il sait que la destination du paquet est connectée au LAN auquel il est connecté via son interface eth2. Il connaît l'adresse MAC de la destination. Il imbrique le paquet IP dans une trame

MAC source : $MAC_{R4_{eth2}}$
MAC destination : MAC_H

et envoie la trame sur le LAN 2.

H récupère la trame, en extrait le paquet IP et passe celui-ci à la couche supérieure.