

ARP
Routage
Topologie

Introduction

- Toute machine reliée sur un réseau se charge d'aiguiller les paquets à émettre en fonction de leur destination :
- Si le destinataire est sur le réseau local, le datagramme est directement envoyé à la machine cible.
- Si le destinataire est sur un réseau différent, les données sont envoyées au routeur du réseau local.

Nécessité de la résolution d'adresse

- la transmission doit se faire en utilisant le service de la couche hôte-réseau (réseau physique)
- la couche hôte-réseau (niveau trame) n'utilise pas les adresses IP (niveau réseau) mais des adresses physiques (adresses MAC)
- la résolution d'adresse est le mécanisme permettant à une station d'obtenir l'adresse physique (de l'interface/carte réseau) d'une station possédant une certaine adresse IP dans le même réseau

Méthode possibles pour la résolution d'adresse

résolution directe

- l'adresse physique est déterminée comme une fonction de l'adresse IP
- méthode simple à mettre en œuvre si les adresses physiques sont configurables

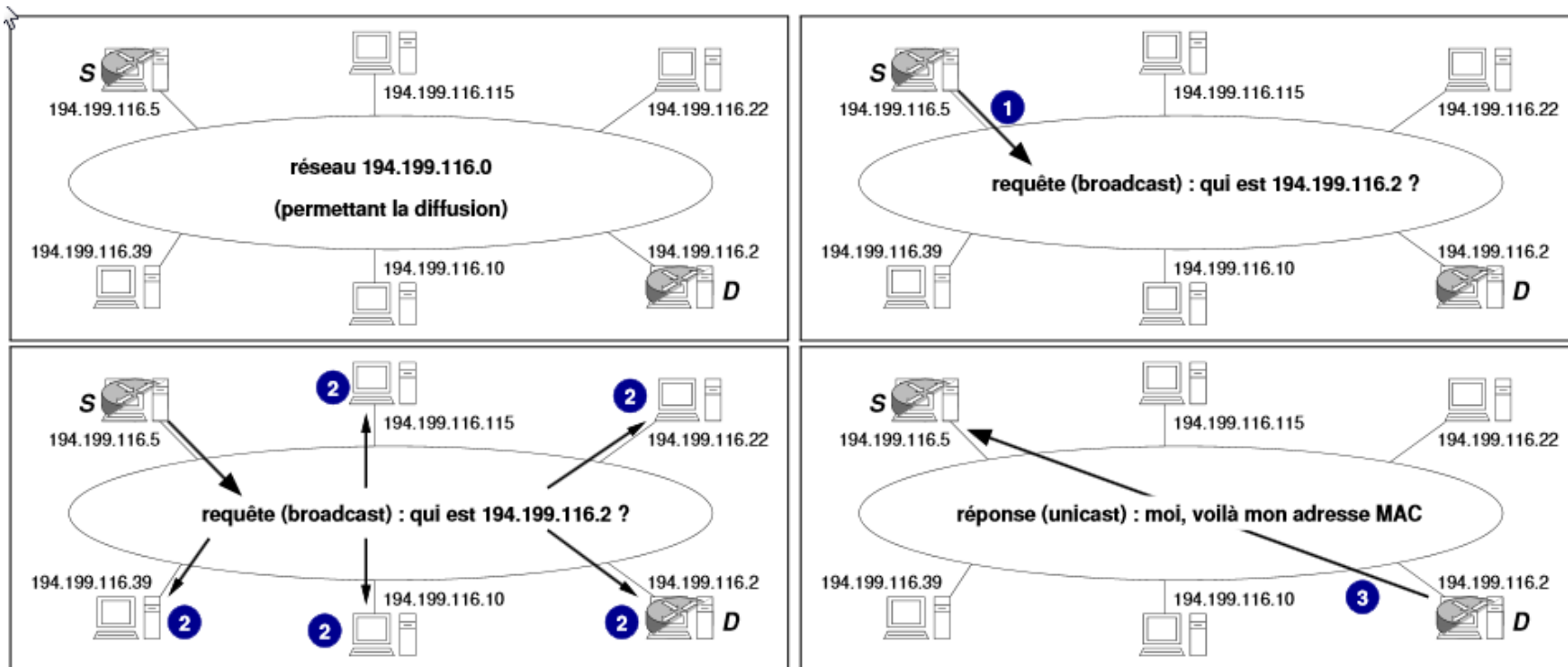
interrogation d'un serveur

- un serveur est chargé de collecter les adresses physiques et IP des hôtes du réseau
- les stations interrogent le serveur pour résoudre les adresses
- méthode souvent utilisée lorsque le réseau ne permet pas la diffusion
- mais la résolution n'est plus possible si le serveur devient injoignable. . .

Résolution dynamique par ARP (Address Resolution Protocol)

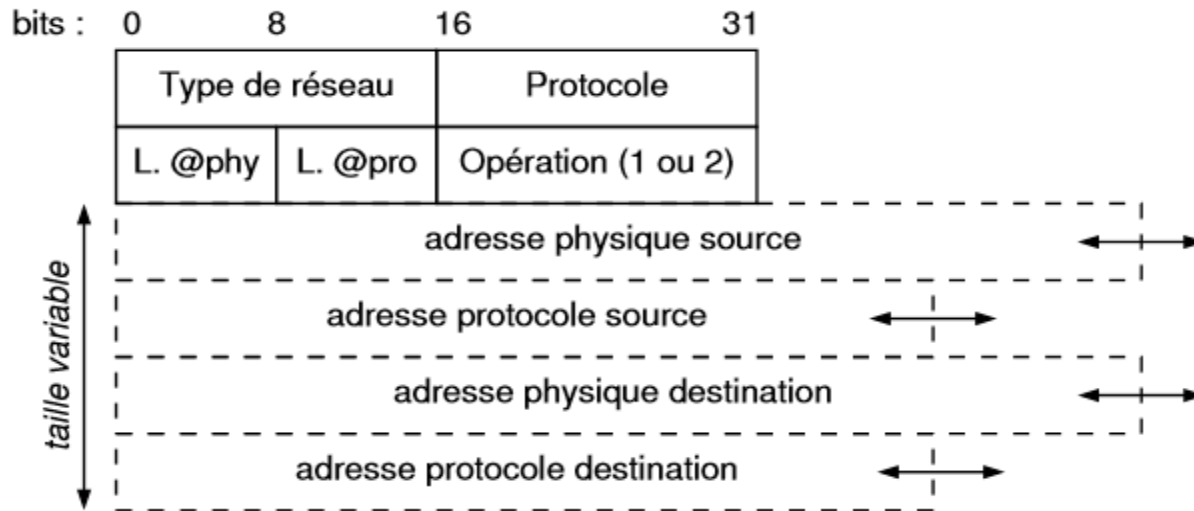
- ARP a l'avantage d'être à la fois dynamique et décentralisé :
 - les changements d'association adresse IP/adresse MAC sont automatiquement et rapidement pris en compte
 - aucun serveur n'est nécessaire et une panne d'une station n'a aucun impact global
- ARP a été originellement défini pour IP et Ethernet.
Mais il est plus général et peut être utilisé sur tout type de réseau permettant la diffusion, pour le compte de différents protocoles réseau (dont IP)

Principe de résolution par ARP



- 1 S envoie en **broadcast** une **requête ARP** signifiant qu'il souhaite obtenir l'adresse physique correspondant à D
- 2 la requête est reçue et traitée par toutes les stations du réseau
- 3 seule la station d'adresse D répond en envoyant en **unicast** à S une **réponse ARP** contenant l'adresse physique demandée

Format du datagramme ARP

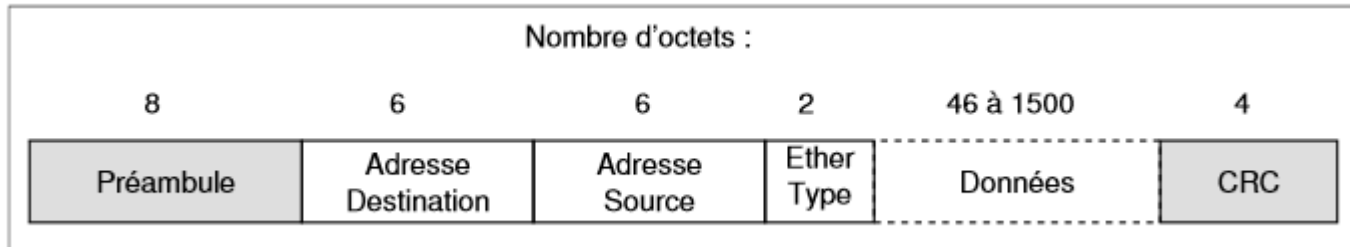


- la taille du datagramme ARP dépend des protocoles concernés :
 - la taille (en octets) des adresses physiques (comme Ethernet) est indiquée par le champ *Longueur adresses physiques* (L. @phy)
 - la taille (en octets) des adresses protocole (comme IP) est indiquée par le champ *Longueur adresses protocole* (L. @pro)
- les requêtes et les réponses ont le même format ; le champ *Opération* indique s'il s'agit d'une requête (*Opération* vaut 1) ou d'une réponse (*Opération* vaut 2)

Datagramme ARP : Adresse

- qu'il s'agisse d'une requête ou d'une réponse :
 - *adresse physique source* contient l'adresse physique (MAC) de l'émetteur du datagramme
 - *adresse protocole source* contient son adresse réseau (IP)
- *adresse physique destination* :
 - dans requête : inconnue (à 0, soit 00:00:00:00:00:00 pour Ethernet)
 - dans réponse : adresse MAC du destinataire
- *adresse protocole destination* contient l'adresse réseau (IP) du destinataire (dans une requête, c'est l'adresse à résoudre)

Format de la trame Ethernet V2



- Préambule : (8 octets) Annonce le début de la trame et permet la synchronisation. Il contient 8 octets dont la valeur est 10101010
- Adresse Destination : (6 octets) Adresse physique de la carte Ethernet destinataire de la trame. Exemple : 08:00:07:5c:10:0a
- Adresse Source : (6 octets) Adresse physique de la carte Ethernet émettrice de la trame
- EtherType : ou type de trame (2 octets) Indique quel protocole est concerné par le message
 - 0x0600 : Xerox Network Systems,
 - 0x0800 : IP (Internet Protocol)
 - 0x8100 : 802.1q (encapsulation vlan)
 - 0x0806 : ARP (Address Resolution Protocol)
 - 0x8035 : RARP (Reverse ARP)
 - 0x8137 et 0x8138 : Novell.
- Données : (46 à 1500 octets) Les données véhiculées par la trame.
- CRC: (Cyclic Redundancy Code) Champ de contrôle de la redondance cyclique

Requête ARP sur Ethernet V2

adresses de l'émetteur

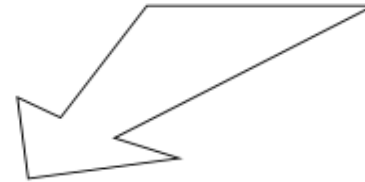
IP : 194.199.116.5
 ethernet : 08:00:05:0e:ab:51

adresses de la cible

IP : 194.199.116.2
 ethernet (recherchée)

- Trame Ethernet V2 (en hexadécimal) :

	<i>destination</i>	<i>source</i>	<i>type</i>	<i>données</i>	
préambule	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:00:05:0e:ab:51	08 06	Datagramme ARP (requête)	CRC
	(broadcast)				



- Requête ARP (en binaire) :

Type réseau :	Protocole :	L. @ phy :	L. @ pro :	Opération :
Ethernet (1)	IP (0x0800)	6	4	requête (1)
000000000000000001	000010000000000000	00000110	00000100	000000000000000001
0000100000000000000000000101000011101010101101010001				← Ethernet source (08:00:05:0e:ab:51)
11000010110001110111010000000101				← IP source (194.199.116.5)
000				← Ethernet destination (inconnue)
11000010110001110111010000000010				← IP destination (194.199.116.2)

Réponse ARP pour IP sur Ethernet v2

émetteur de la réponse

IP : 194.199.116.2

ethernet : **08:00:07:5c:10:0a**

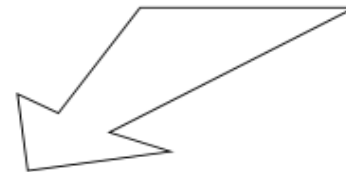
destinataire de la réponse

IP : 194.199.116.5

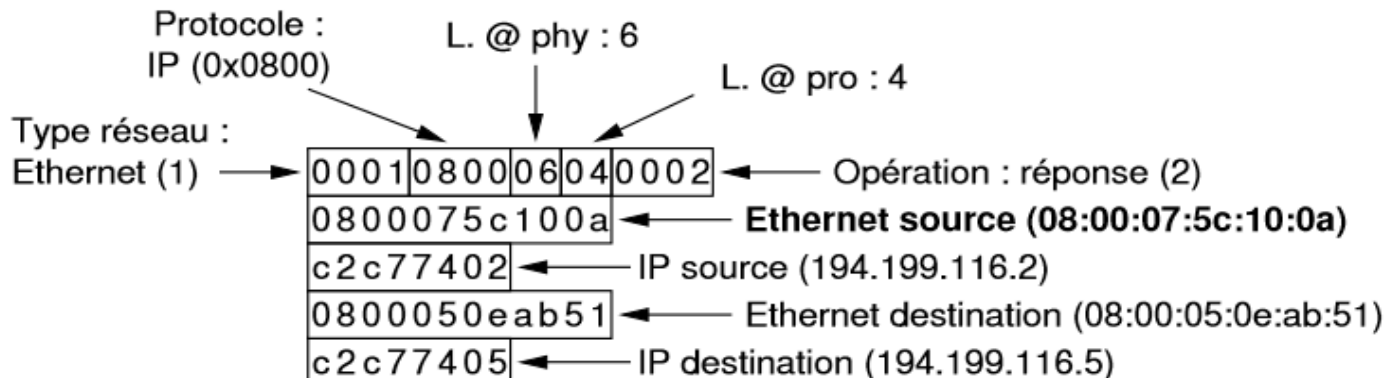
ethernet : 08:00:05:0e:ab:51

- Trame Ethernet V2 (en hexadécimal) :

	<i>destination</i>	<i>source</i>	<i>type</i>	<i>données</i>	
préambule	08:00:05:0e:ab:51	08:00:07:5c:10:0a	08 06	Datagramme ARP (réponse)	CRC
	(unicast)				



- Réponse ARP (en hexadécimal) :



Optimisation d'ARP

- **cache** (mémoire temporaire) ARP obligatoire stocké sur les hôtes :
 - contient une liste d'associations \prec adresse MAC, adresse IP \succ
 - évite d'émettre une nouvelle requête lorsque l'association a déjà été obtenue
 - une association a une durée de vie (TTL) limitée, variable selon les systèmes (1 min, 20 min, ...)
 - chaque fois qu'une association est confirmée, sa durée de vie est remise à son max
 - les associations dont la durée de vie expire sont supprimées
- traitement de la **requête** :
 - les requêtes étant envoyées en broadcast, toutes les stations les traitent
 - or elles incluent l'adresse MAC et l'adresse IP de l'émetteur
 - en recevant une requête, les stations *peuvent* mettre à jour leur cache avec les infos sur l'émetteur
- *possibilité* d'émission d'une **requête ARP fictive** si changement de carte (et donc d'adresse MAC) :
 - en plaçant sa propre adresse IP comme celle recherchée
 - personne ne répondra, mais en recevant la requête les stations *peuvent* mettre à jour leur cache

Quelques commandes

- Linux
 - **arp** (affichage de la table arp)
 - **ping** (interroge une carte réseau et exprime le temps aller-retour en milli secondes)
 - ping localhost
 - ping @ip
 - ping -v nom-hôte-distant
 - **route** (programme de gestion de la table de routage IP)
 - **ifconfig** (programme de configuration des interfaces réseaux, c'est à dire des cartes réseaux)
 - **netstat** (affiche les informations sur les connexions réseaux)
 - **nslookup** ("name server", programme d'interrogation des serveurs de noms de domaines)
- Windows
 - **ipconfig** –all
 - **arp** –a
 - **ping** IP

Routage

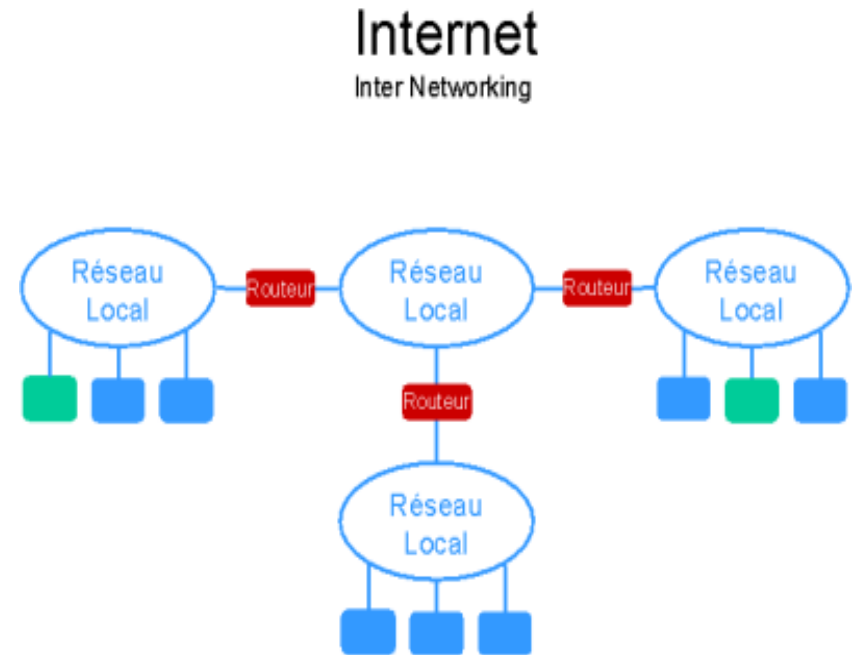
Rôles des routeurs

- Les routeurs actuels sont pour la plupart des matériels dédiés à la tâche de routage, se présentant généralement sous la forme de serveurs.
- On envoie la requête au routeur le plus proche, c'est-à-dire à la passerelle réseau sur lequel il se trouve. Ce routeur va ainsi déterminer la prochaine machine à laquelle les données vont être acheminées de manière à ce que le chemin choisi soit le meilleur.
- Pour y parvenir, les routeurs tiennent à jour des tables de routage, véritable cartographie des itinéraires à suivre en fonction de l'adresse visée. Il existe de nombreux protocoles dédiés à cette tâche.
- les routeurs permettent de manipuler les données circulant sous forme de datagrammes afin d'assurer le passage d'un type de réseau à un autre
- les routeurs sont chargés de fragmenter les paquets de données pour permettre leur libre circulation

Routeur



- Un **routeur** est un élément intermédiaire dans un réseau informatique assurant le routage des paquets. Son rôle est de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre, au mieux, selon un ensemble de règles (Wikipedia)



Les premiers routeurs étaient de simples ordinateurs ayant plusieurs cartes réseau, dont chacune était reliée à un réseau différent.

Algorithme de routage

- le logiciel IP de **A** doit envoyer un datagramme à (l'adresse IP de) **B**, situé quelque part dans l'inter-réseau

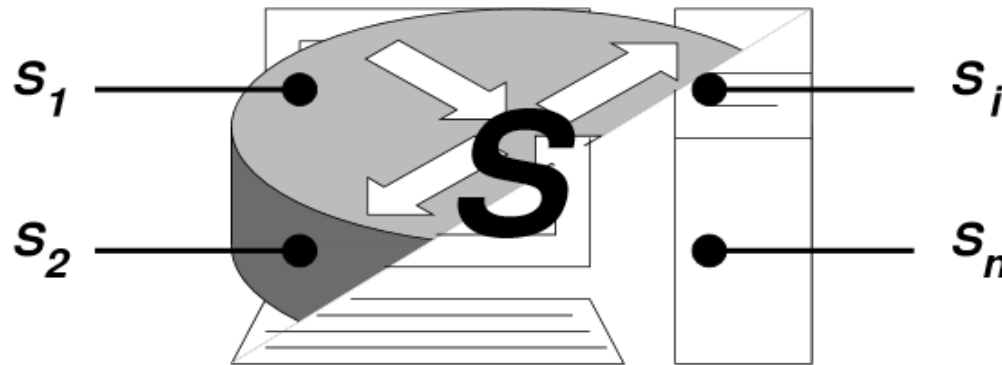


- routage = prise de décision pour l'envoi
- question : la destination appartient-elle au même réseau ?
 - oui : la remise est **directe**.
A peut envoyer directement le datagramme à **B**, en utilisant le service d'envoi de leur réseau
 - non : la remise est **indirecte**.
A ne peut qu'envoyer le datagramme à un routeur. À son tour, le routeur devra appliquer le même algorithme

dans ce cas, le choix du routeur est prépondérant

Test d'appartenance au même réseau

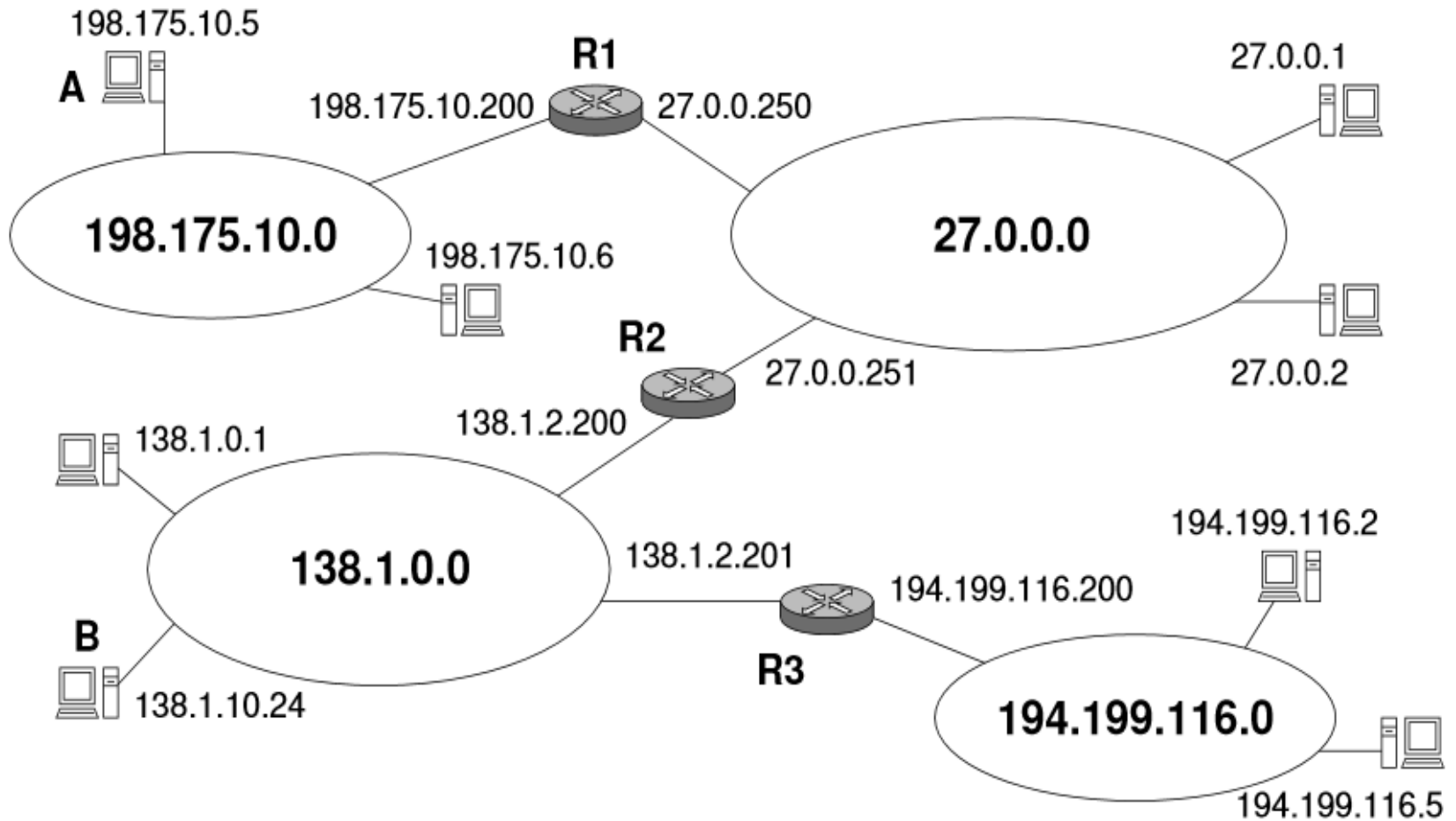
- une station (ou un routeur) S dispose d'une ou plusieurs interfaces, chacune avec une adresse IP S_i



- S doit envoyer un datagramme à une IP de destination D
- pour savoir si D appartient à un réseau connecté à S :
 - 1 de D et de sa classe, en déduire l'adresse du réseau de D , qu'on notera $R(D)$
 - 2 pour chaque adresse IP S_i de S :
 - a) extraire son adresse de réseau $R(S_i)$
 - b) si $R(S_i) = R(D)$ alors S et D appartiennent au même réseau

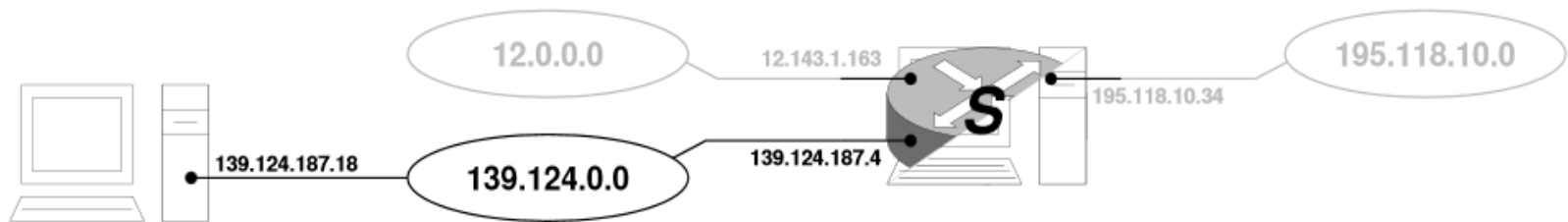
Exemple

Un routeur possède plusieurs interfaces réseau, chacune connectée sur un réseau différent. Il possède ainsi autant d'adresses IP que de réseaux différents sur lesquels il est connecté



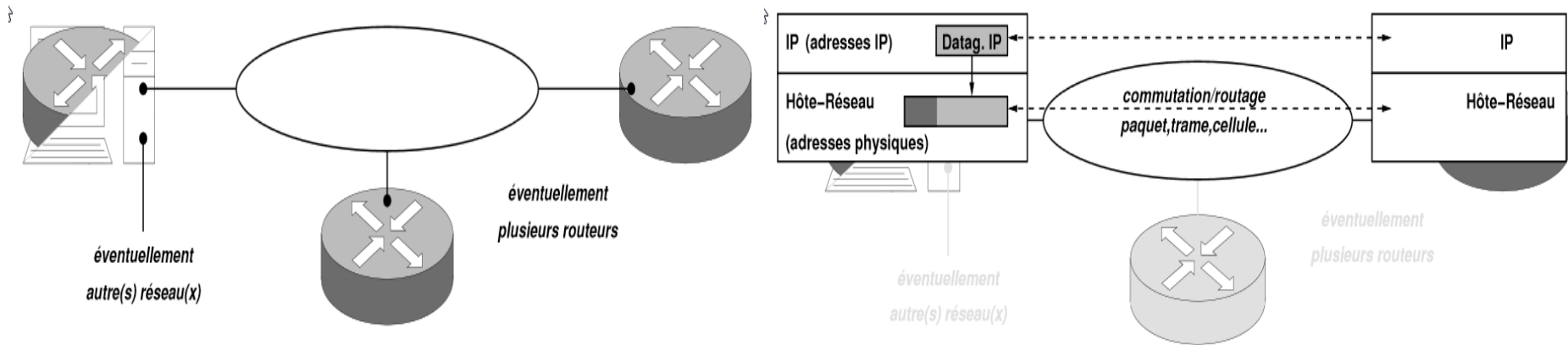
Test d'appartenance au même réseau

- soient S avec 3 interfaces (S_1 , S_2 et S_3) et une destination $D_1 = 139.124.187.18$:



- $S_1 = 12.143.1.163$ (classe A) $\implies R(S_1) = 12.0.0.0$
- $S_2 = 139.124.187.4$ (classe B) $\implies R(S_2) = 139.124.0.0$
- $S_3 = 195.118.10.34$ (classe C) $\implies R(S_3) = 195.118.10.0$
- l'adresse de D_1 est de classe B $\implies R(D_1) = 139.124.0.0$
- puisque $R(D_1) = R(S_2)$, alors D_1 et S appartiennent à un même réseau
- S peut envoyer directement un datagramme à D_1 en utilisant l'interface (et le réseau) associée à S_2

Remise indirecte



- **Méthode**

1. déterminer l'adresse IP du routeur à solliciter par consultation de la table de routage
2. transmettre le datagramme au routeur
 - a. Déterminer son adresse physique (résolution d'adresse)
 - b. Utiliser le service du réseau pour lui transmettre le datagramme

Test d'appartenance au même réseau

- le même S (avec 3 interfaces) doit envoyer à une destination $D_2 = 195.118.11.35$:



- $S_1 = 12.143.1.187$ (classe A) $\implies R(S_1) = 12.0.0.0$
 - $S_2 = 139.124.187.4$ (classe B) $\implies R(S_2) = 139.124.0.0$
 - $S_3 = 195.118.10.34$ (classe C) $\implies R(S_3) = 195.118.10.0$
- l'adresse de D_2 est de classe C $\implies R(D_2) = 195.118.11.0$
 - $R(D_2)$ est différent de tous les $R(S_i)$, alors D_1 et S appartiennent à des réseaux différents
 - pour envoyer un datagramme à D_2 , S doit passer par un routeur connecté à l'un de ses réseaux

Traitement du datagramme reçu

- Traitement par un routeur
 - Si le datagramme est destiné au routeur, l'accepter
 - Sinon le routeur est utilisé comme nœud de transfert et doit relayer le datagramme (si aucun route, message ICMP renvoyé)
- Traitement par une station
 - Si le datagramme est destiné à la station, l'accepter
 - Sinon le datagramme est détruit et un message ICMP est envoyé

Remarque : une station, même disposant de plusieurs interfaces, n'assure pas systématiquement la fonction de routeur, il faut qu'elle soit configurée

Table de routage

- chaque station ou routeur dispose de sa propre table de routage
- une table contient autant d'entrées que de destinations (réseaux) connues de l'hôte
- une entrée est un couple (adresse réseau, adresse du saut suivant (routeur))
- pour une destination donnée, la table n'indique pas le chemin à suivre, seulement le routeur à qui confier le datagramme
 - le chemin est une information répartie
- ce routeur doit être directement accessible (situé sur un réseau commun) et c'est son adresse dans ce réseau qui est utilisée
- une destination dont l'adresse de réseau ne figure pas dans la table est inaccessible

Exemple

Un routeur possède plusieurs interfaces réseau, chacune connectée sur un réseau différent. Il possède ainsi autant d'adresses IP que de réseaux différents sur lesquels il est connecté

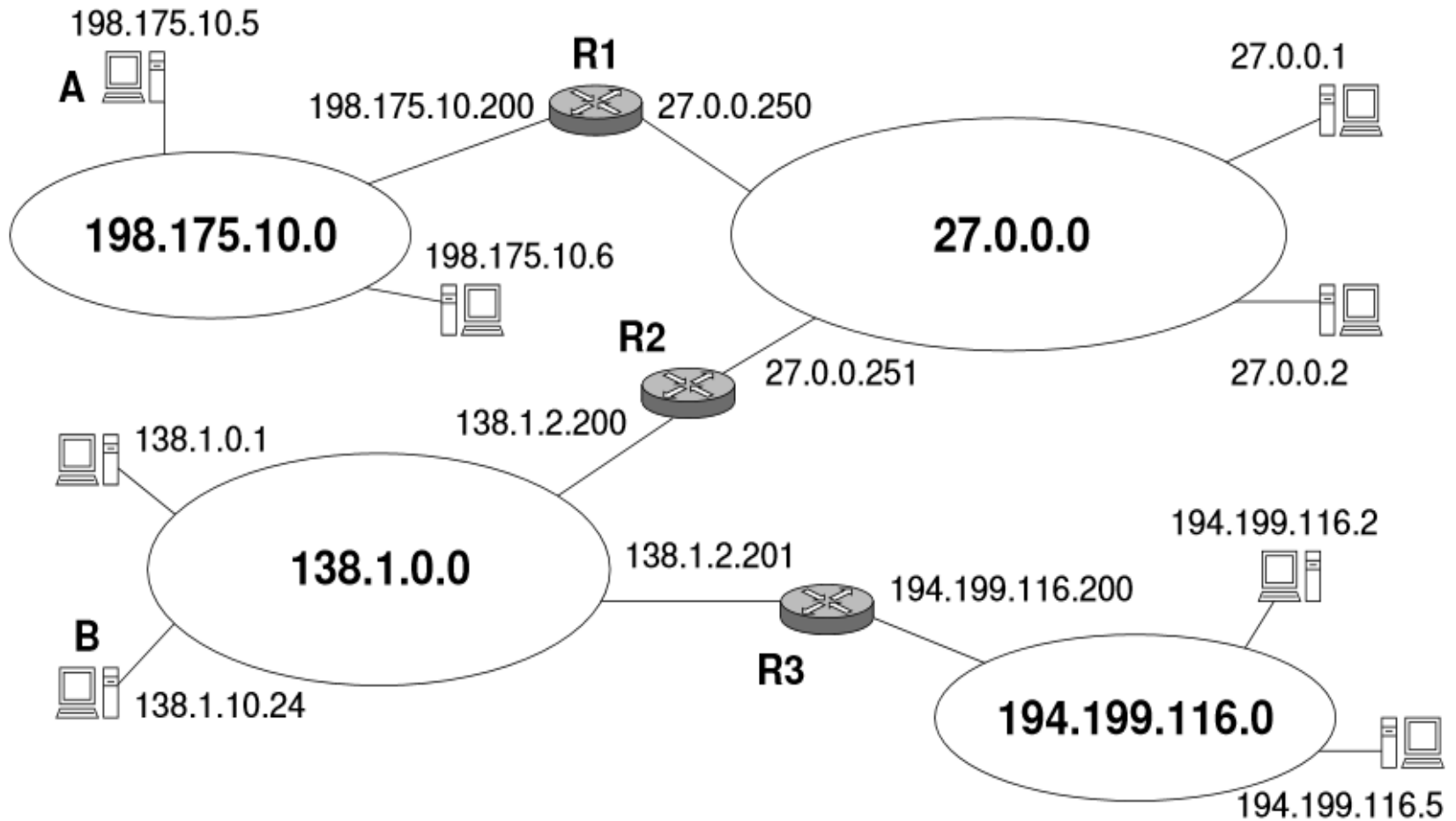
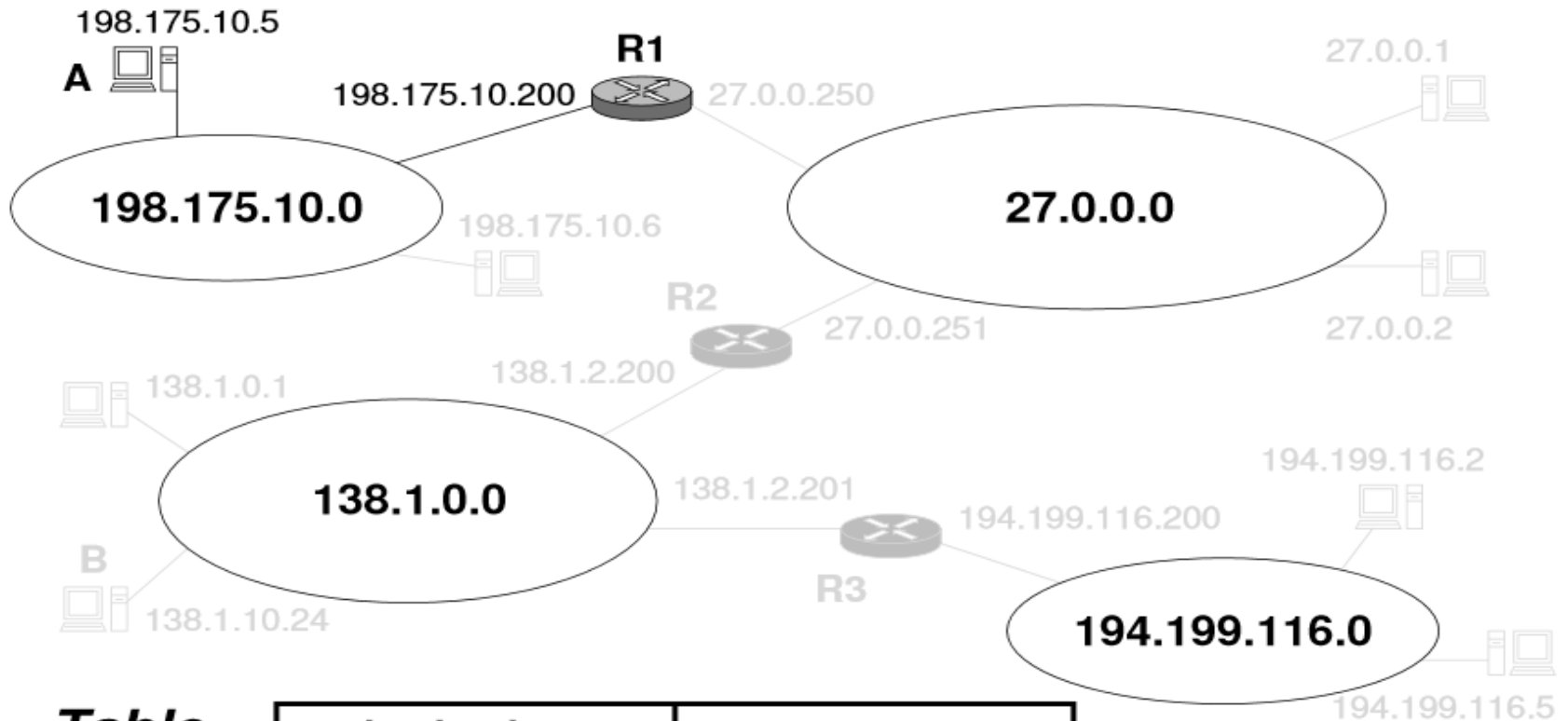


Table de routage



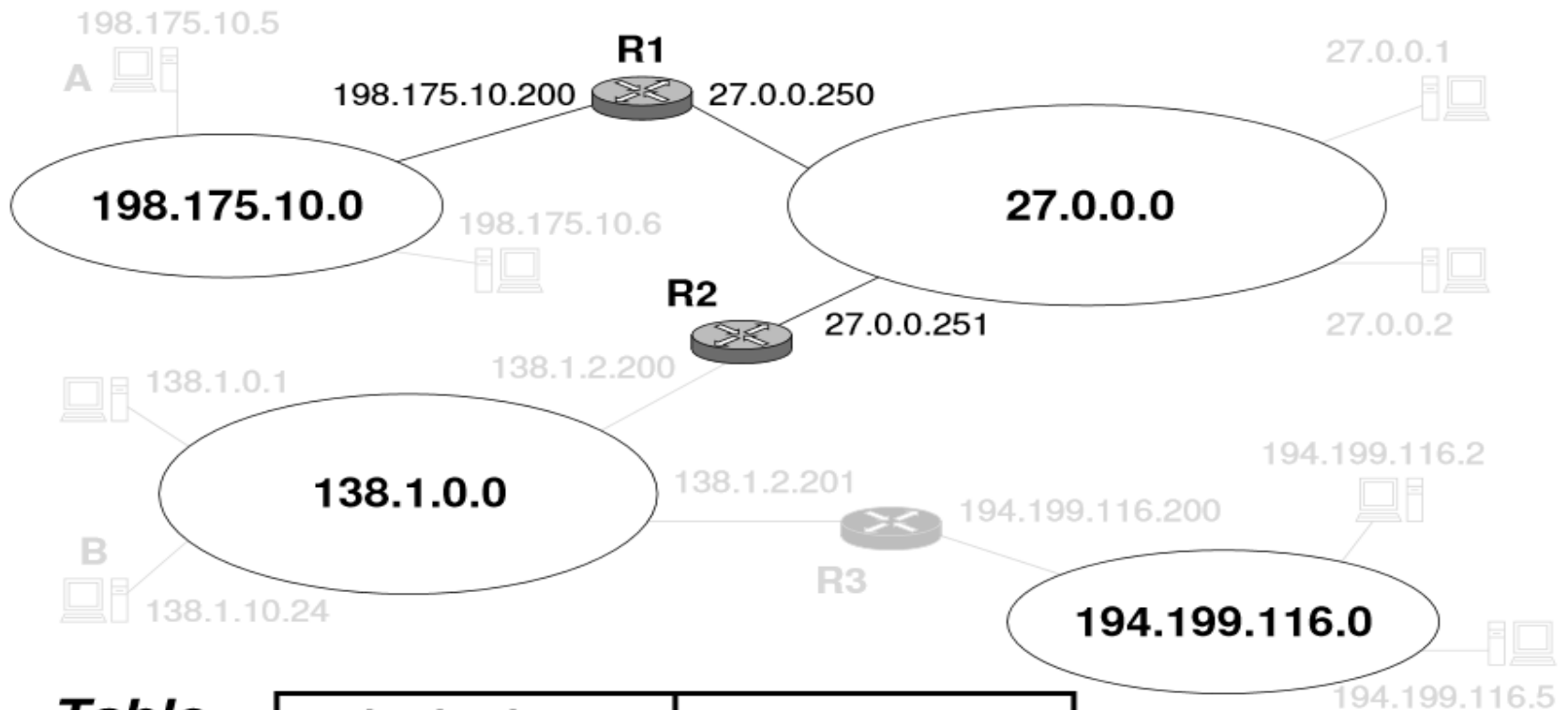
**Table
de A :**

destination	routeur
198.175.10.0	0.0.0.0
27.0.0.0	198.175.10.200
138.1.0.0	198.175.10.200
194.199.116.0	198.175.10.200

} *remise directe*

} *remise indirecte*

Table de routage



**Table
de R1 :**

destination	routeur
198.175.10.0	0.0.0.0
27.0.0.0	0.0.0.0
138.1.0.0	27.0.0.251
194.199.116.0	27.0.0.251

} remise directe

} remise indirecte

Table de routage

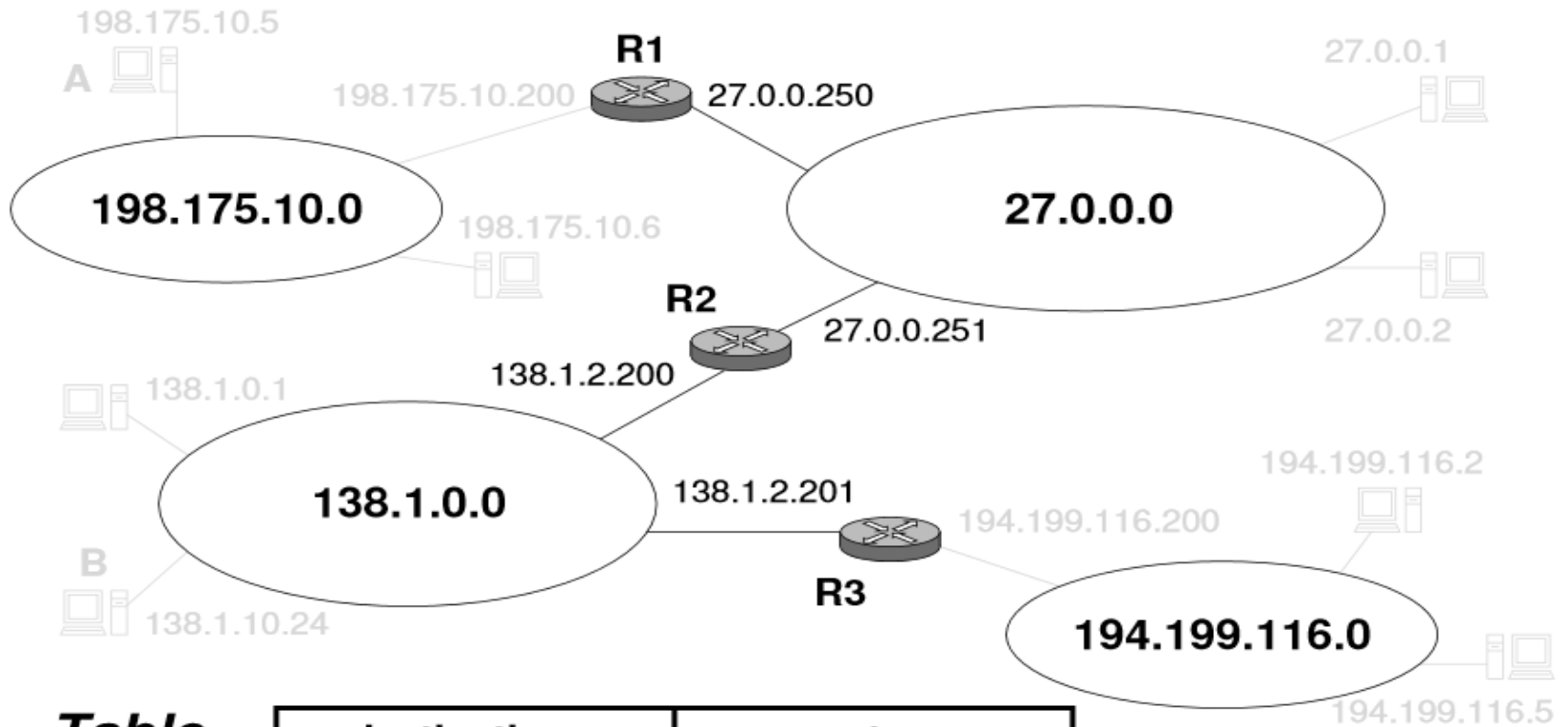


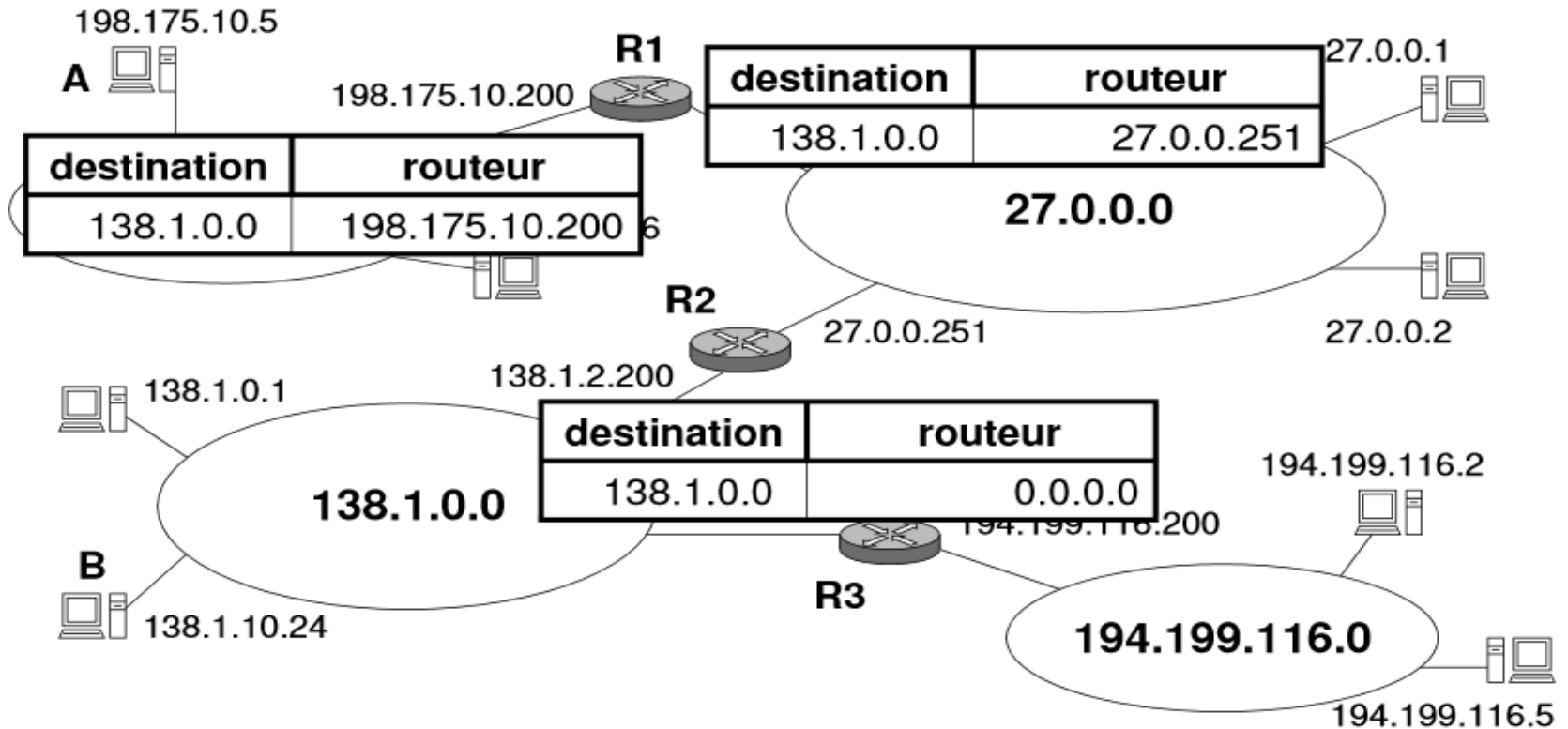
Table de R2 :

destination	routeur
27.0.0.0	0.0.0.0
138.1.0.0	0.0.0.0
198.175.10.0	27.0.0.250
194.199.116.0	138.1.2.201

remise directe

remise indirecte

Table de routage

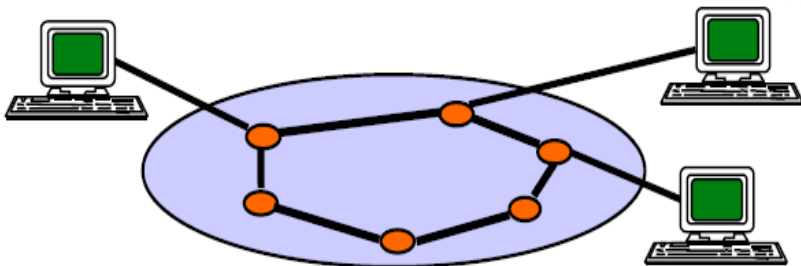


**le chemin qui mène de A à B est une information répartie :
aucun hôte ne le connaît en totalité**

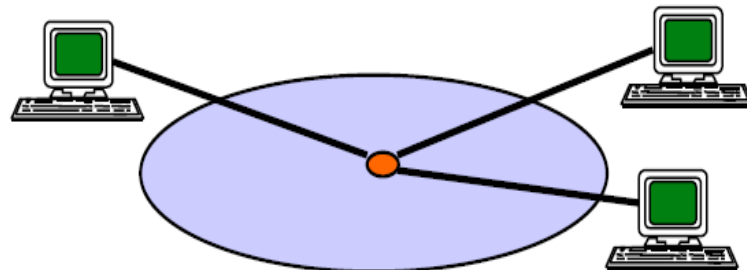
Algorithme de routage

- La couche réseau doit acheminer les paquets de la machine source vers la machine destination.
- L'interconnexion des routeurs permet de disposer de plusieurs routes possibles.
- En mode datagramme, le choix de la route est effectué pour chaque paquet.
- Dans le cas d'un circuit virtuel, la route est déterminée au moment de l'établissement de la connexion.
- Quelques algorithmes :
 - Plus court chemin (Dijkstra)
 - Routage fondé sur le flux
 - Routage par inondation
 - Routage à vecteur de distance (Ex: RIP)

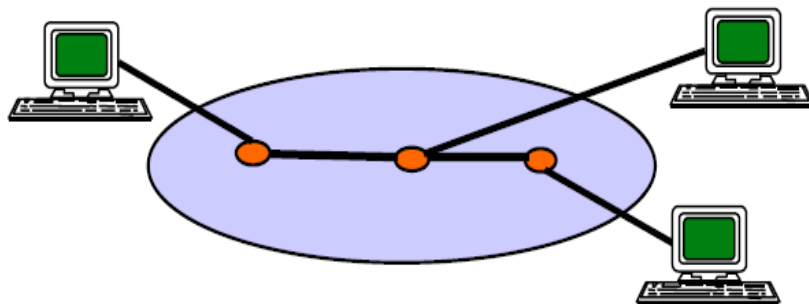
Topologie



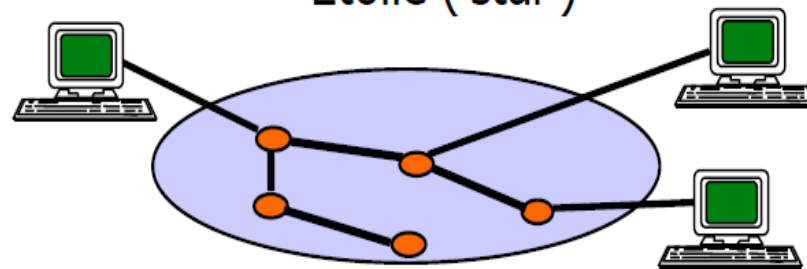
Boucle ou anneau ('ring')



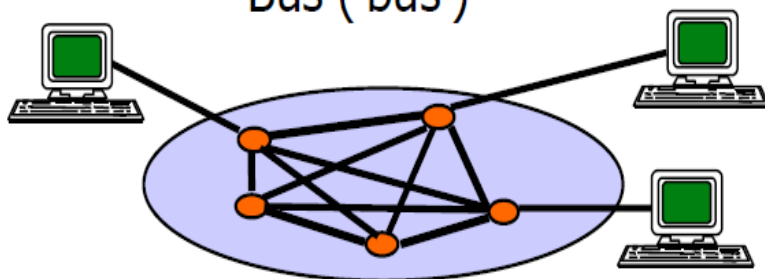
Etoile ('star')



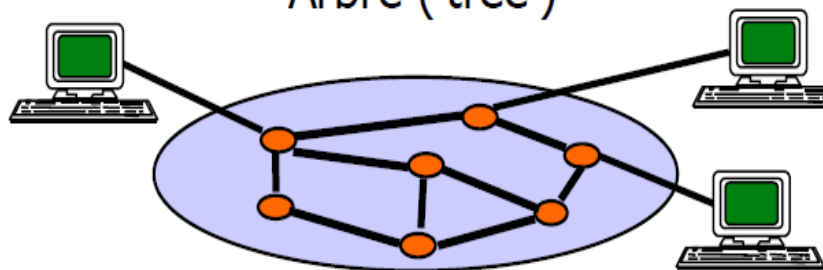
Bus ('bus')



Arbre ('tree')



Complète ou clique ('fully connected')



Maillée ('meshed')¹²

Topologie Maillée

- Avec n machines il faut $n(n-1)/2$ liaisons
- N'importe quelle machine peut communiquer avec n'importe quelle autre machine en point à point, ou avec toutes les autres machines en mode diffusion

Topologie Bus

- On utilise souvent un système CSMA/CD (Carriere Sens Multiple Acces/Collision Detection), Accès multiple avec détection de porteuse et détection de collision. Exemple câblage Ethernet
- Protocole
 - Une machine avant d'émettre écoute le câble CS
 - Si une porteuse est détectée donc le bus est occupé, la machine attend la fin de la communication avant d'émettre ses données sinon elle émet ses données
 - Durant l'émission, la machine reste à l'écoute pour détecter une collision (CD). Si une collision est détectée, chaque machine qui émettait suspend immédiatement son émission et attend un délai.
 - Chaque machine reçoit toutes les données qui circulent sur le bus et c'est au niveau de la couche 2 que l'on décide de garder ou non les données

Topologie Anneau

- Les informations circulent toujours dans le même sens
- Chaque machine qui reçoit un message, le recopie immédiatement sur le second câble, et en même temps l'information est remontée en couche 2 pour savoir s'il faut la garder ou pas
- L'information finira par revenir à la source, et elle pourra être comparée à l'information envoyée pour une éventuelle détection d'erreur
- Un système de jeton est utilisé. Le jeton est un message particulier que les machines se font passer les unes aux autres. Une machine n'a le droit d'émettre que si elle dispose du jeton. Elle garde le jeton jusqu'à la fin de son émission

Topologie Etoile

- Toutes les communications passent par une machine qui au centre de l'étoile. C'est cette dernière qui dirige l'information vers le destinataire

Avantages et inconvénients

- Le câblage en mail n'est plus utilisé car coûteux en câble
- Le câblage en bus avec des protocoles CSMA/CD ne convient pas au environnement temps réel, deux machines peuvent monopoliser le câble
- Le câblage en anneau avec un protocole à base de jeton peut servir dans un environnement temps réel car on peut calculer le délai maximum pour transmettre une information entre 2 machines. Ce câblage peut être perturbé par la panne d'une seule machine
- Le point faible du câblage en étoile, si la machine centrale tombe en panne, tout le système est paralysé

Sources

Slides sont tirés du :

- Cours de C. Pain-Barre
- Cours Initiation à l'architecture réseau de P. Ducrot
- Livre de Guy Pujolle « Cours réseaux et télécom »
- Wikipedia