

# Protocole et Internet

## M1 option RX

---

Algorithmes et protocoles de routage  
Sondes Kallel

# Organisation

---

- 12 heures de cours (8 séances de 1h30 )
  - 7 cours de 1h30 heures
    - Partie 1-2 : Introduction
    - Partie 3 : Algorithmes de routage et protocoles de routage
    - Partie 4 : RIP
    - 1 CC
    - Partie 5 : OSPF
    - Partie 6-7 : BGP/EIGRP
  - 8 séances de TDs/TPs de 3 heures
    - TD Théorique sur l'adressage et le routage
    - Pratiques sur les routeurs Cisco en salle TP (401/402)
- Contrôle Continue (séance 5 à confirmer)

# Organisation

---

- 8 séances de TDs/TPs de 3 heures
  - TD1 : Théorique sur l'adressage et le routage
  - TD2 : Exercices routage sur Packet tracer
  - TD3 : configuration des paramètres de base d'un routeur
  - TD4 : Interconnexion de réseaux : Routage Statique sur Matériel CISCO
  - TD5 : DHCP/NAT
  - TD6 : Routage Dynamique RIP sur CISCO
  - TD7 : Routage Dynamique OSPF sur CISCO
  - TD8 : Routage Dynamique EIGRP sur CISCO

# Plan

---

- Introduction
  - La fonction de routage
- Algorithmes de routage et protocoles de routage
  - Classification
- Routage statique et routage dynamique
- Annexe
  - Algorithme de Dijksra
  - Algorithme de Bellman-Ford-Fulkerson

# L'équipement de la couche 3 : le routeur

---

# Rappels : Comment se présente un routeur ?

- Un routeur est une machine possédant plusieurs interfaces. Elle est connectée à plusieurs réseaux en même temps et peut faire passer un paquet d'un réseau à un autre.
  - Un routeur est un équipement réseau spécialisé ou peut être un PC avec plusieurs cartes réseau
  - Foundry, Cisco, Nortel, 3com, Lucent, Alcatel, Bay Networks, ...



# Qu'est ce qu'un routeur ?



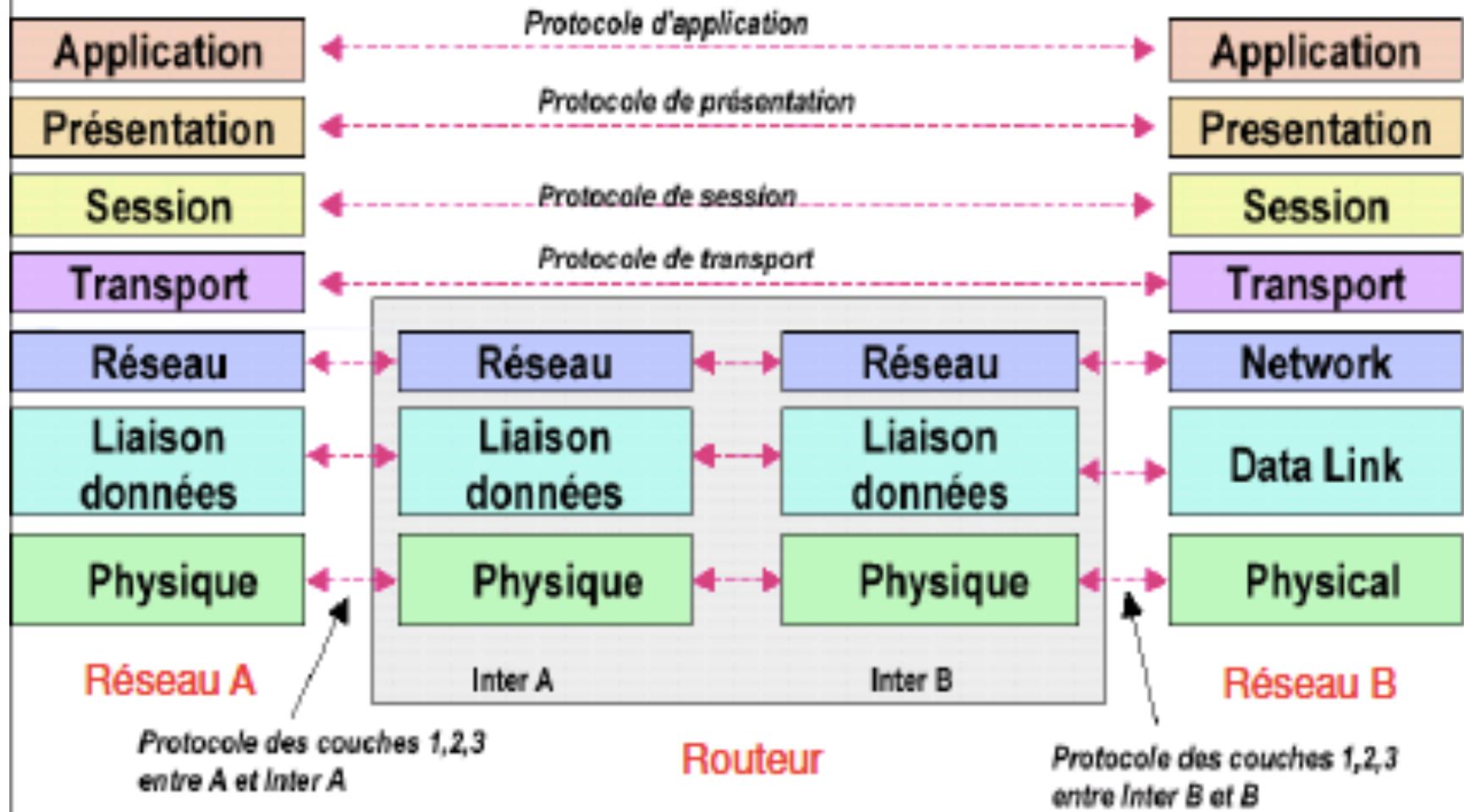
- Equipement matériel et logiciel qui fait en sorte que les paquets émis par une machine d'un réseau puissent atteindre une machine destinataire située sur un réseau différent
- Ces paquets ne peuvent circuler entre réseaux différents que si ces réseaux sont reliés par un (des) routeur(s)



- dispose de ports reliées au réseau
- réalise le routage de paquets
- Sélectionne le chemin

Le symbole d'un routeur

# Le routeur et le modèle OSI



# Ports (ou interfaces) d'un routeur

---

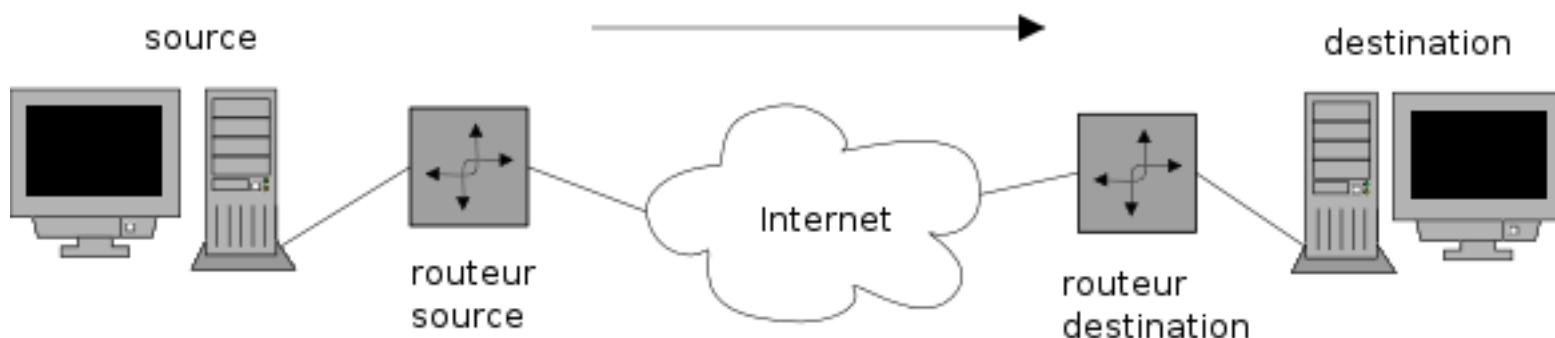
- Les ports (ou interfaces) sont les accès matériels par lesquels les routeurs se raccordent physiquement aux divers réseaux avec lesquels ils communiquent:
  - La couche physique de chacun des ports doit correspondre à celle du réseau auquel il est relié (Port Ethernet, Liaison série)
  - La couche liaison de chacun des ports doit être compatible avec celles des divers noeuds du réseau auquel il est directement lié
  - Exemple: un routeur relie un réseau Ethernet par son port P1 à un réseau Token Ring sur son port P2
    - P1 doit satisfaire aux spécifications de la couche physique et MAC d'Ethernet
    - P2 à celles de Token Ring
- Un routeur possède autant d'adresses IP que de réseaux différents connectés sur ses ports

# Routage et table de routage

---

# Principe du routage

- Pour transférer des paquets, la couche réseau doit déterminer le parcours (ou route) à emprunter (que ce soit un service à datagramme (parcours différents) ou un service à circuit virtuel (même parcours)).
  - Cette fonction incombe au protocole de routage de la couche réseau.
  - Acheminer un paquet d'une source à une destination revient à l'acheminer entre un routeur source et un routeur destination.



# Principe du routage

---

- Le routage est accompli par un protocole de routage qui établit des tables de routage pour chaque routeur.
  - Une table de routage contient deux colonnes :
    - **colonne 1** : les adresses des destinations,
    - **colonne 2** : les adresses des interfaces par lesquels il faut envoyer les informations pour accéder aux destinations.
  - Un protocole de routage repose sur **un algorithme de routage**
    - Sa mission : trouver le « bon » parcours entre le routeur source et destination.
    - Le bon parcours est le parcours le « moins onéreux ».
    - Le parcours le moins onéreux est le parcours dont la somme des liaisons entre l'expéditeur et le destinataire est la plus faible.

# Principe du routage

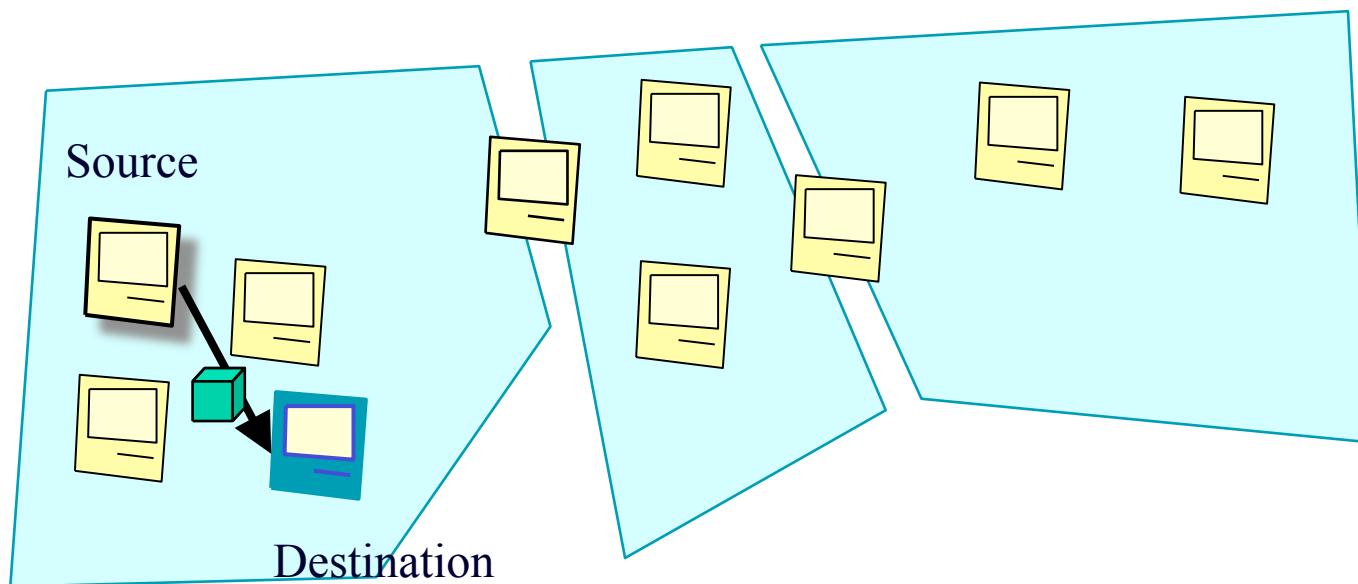
---

- La décision du routeur est locale (pourtant elle dépend de la topologie globale du réseau).
- Chaque protocole de routage doit donc communiquer une information de topologie à chaque routeur pour prendre des décisions optimales.
- Cette information est :
  - Volumineuse,
  - variable dans le temps,
  - difficile à collectionner.

# Routage direct

Si le **destinataire** est directement accessible par une des interfaces

Alors on émet le paquet sur cette interface

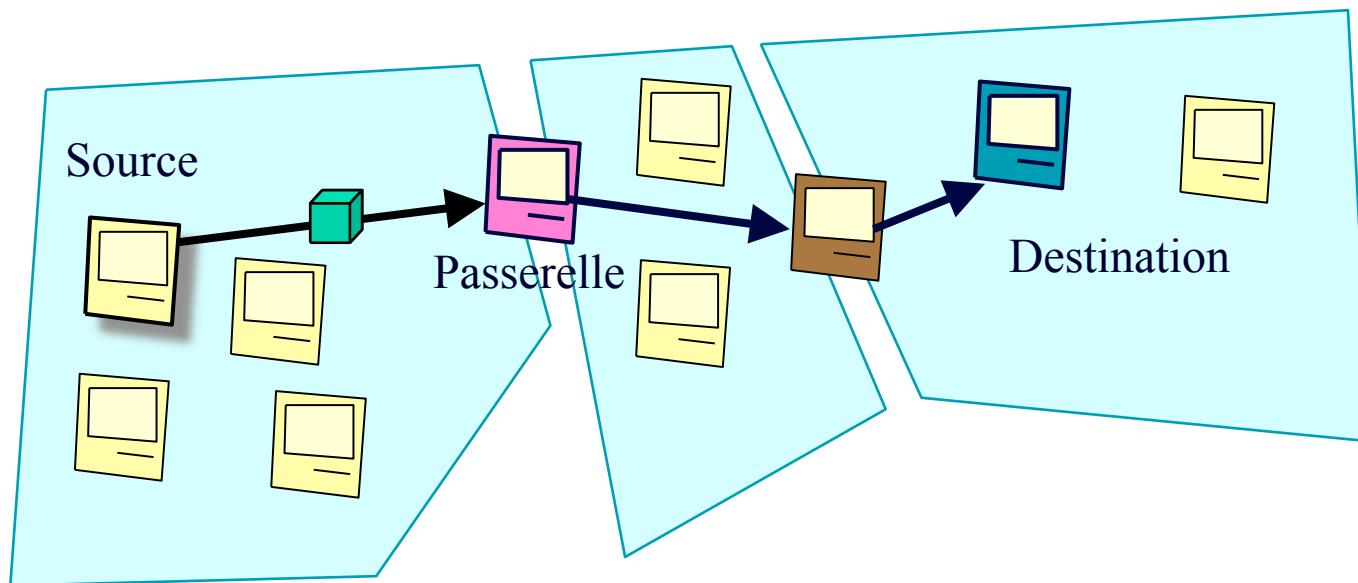


# Routage indirect (via passerelle)

Si le **destinataire** se trouve derrière un routeur

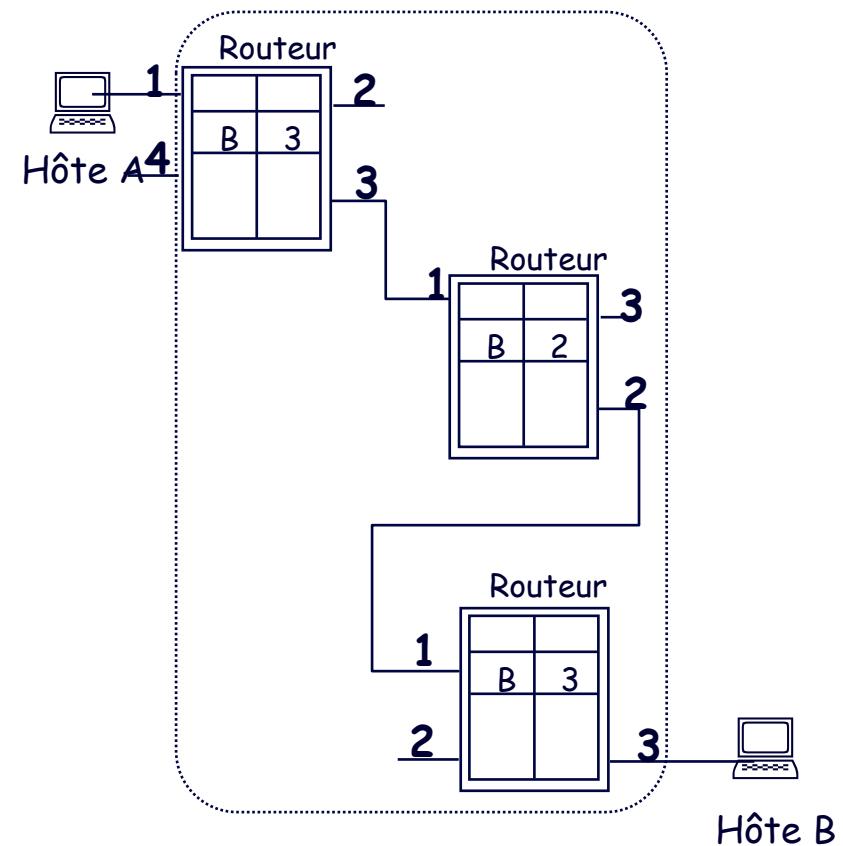
Alors il faut envoyer le paquet vers cette  
**passerelle (gateway)**

– la passerelle est un routeur –



# Routage : éléments qui interviennent

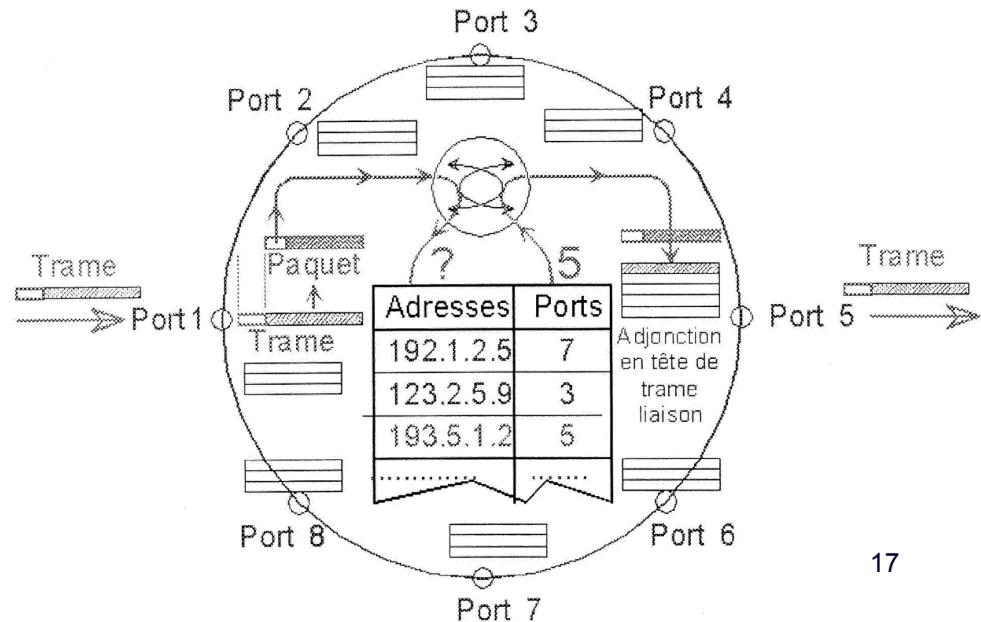
- Fonction déterminant un chemin vers une adresse destinataire
  - ↳ **table de routage**
    - informations nécessaires pour atteindre le prochain nœud
    - Contient 3 informations:
      - Destination, Chemin, coût
  - ↳ **algorithme de routage**
    - calcul d'un chemin optimal pour atteindre une adresse destinataire
  - ↳ **protocole de routage**
    - échange d'informations de routage
    - dépend du domaine dans lequel se trouve le routeur
    - ex : RIP, OSPF, ...



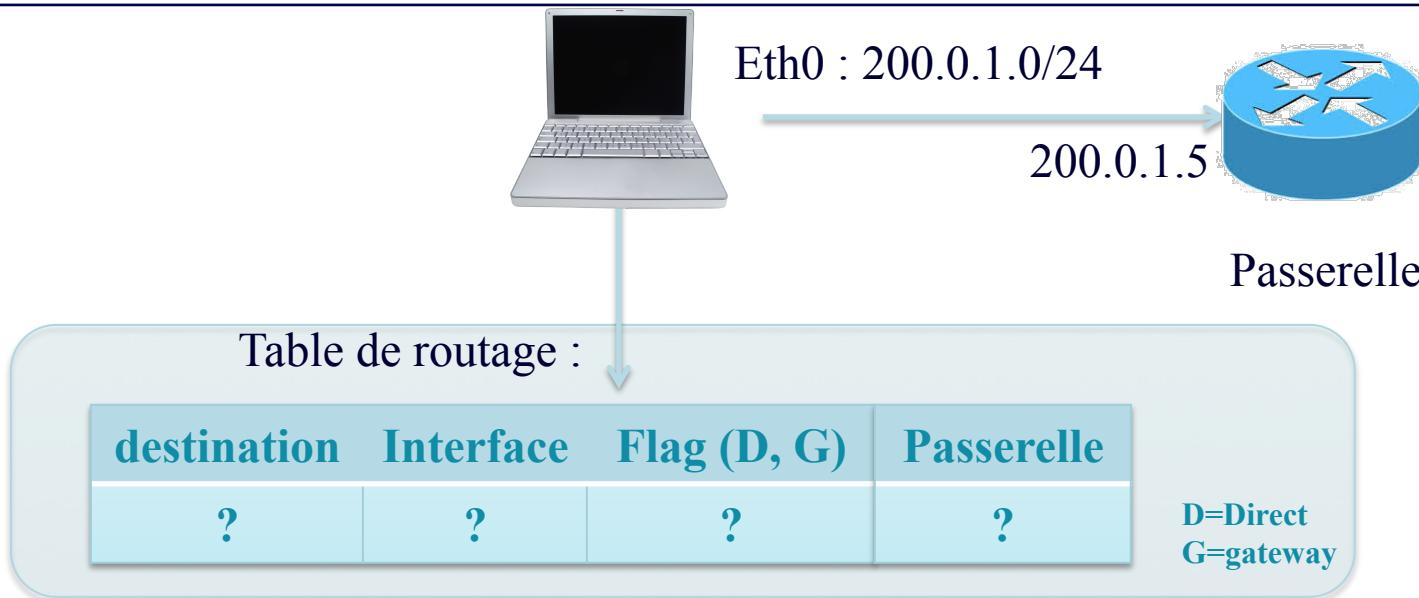
# Table de routage

- La table de routage contient :
  - l'adresse du réseau de destination
  - le port de sortie correspondant (pouvant être désigné par le nom du routeur sur lequel il est connecté)
  - la métrique ( le nombre de routeurs à franchir pour atteindre le réseau de destination pour l'algorithme RIP)

## ROUTEUR



# Contenu Table de routage



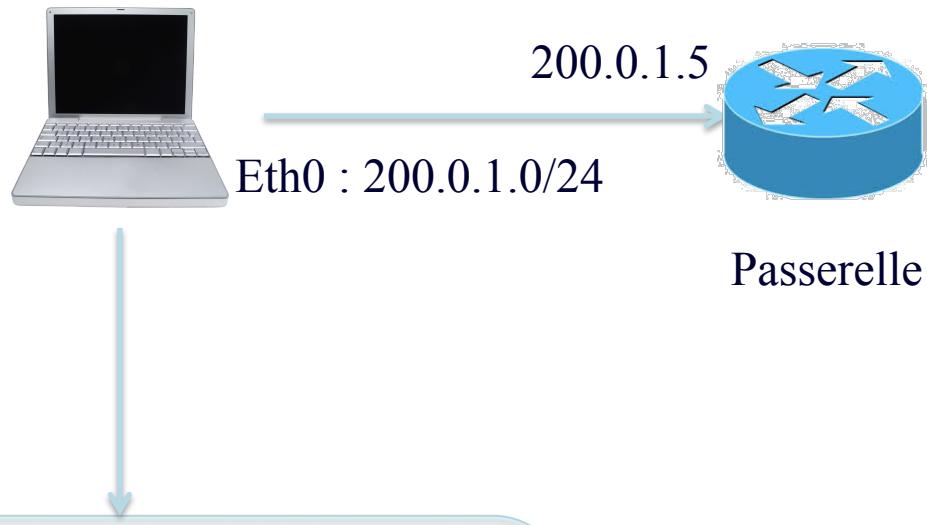
- Une passerelle a plusieurs interface réseaux, plusieurs @IP (on choisit l'@ directement accessible Via l'interface désignée)
  - Eth0 est une interface sur le sous-réseau 200.0.1.0/24
  - Toute trame envoyé sur cette interface doit avoir pour destinataire une machine ayant pour @ IP 200.0.1.0.xxx.
    - Exemple une trame envoyée sur eth0 sera lire en directe par l'interface de la passerelle ayant pour @ IP 200.0.1.5

# Contenu Table de routage

---

- format: destination, interface, flag (D=Direct, G=gateway)
- si destinataire est dans le réseau 127/8 alors envoyer le paquet sur interface “lo” (routage direct)
  - 127/8                      lo                      D
- si destinataire est dans le réseau 200.0.1.0/24 alors envoyer le paquet sur interface “eth0” (routage direct)
  - 200.0.1.0/24              eth0                      D
- autres cas, le paquet est envoyé sur interface “eth0” (routage indirect) - la passerelle 200.0.1.5 prendra en charge le paquet
  - default                      eth0    G              200.0.1.5

# Contenu Table de routage



Interface : Eth0= 200.0.1.0/24

Table de routage :

127/8	Lo	D	
200.0.1.0/24	Eth0	D	
default	Eth0	G	200.0.1.5

# Format

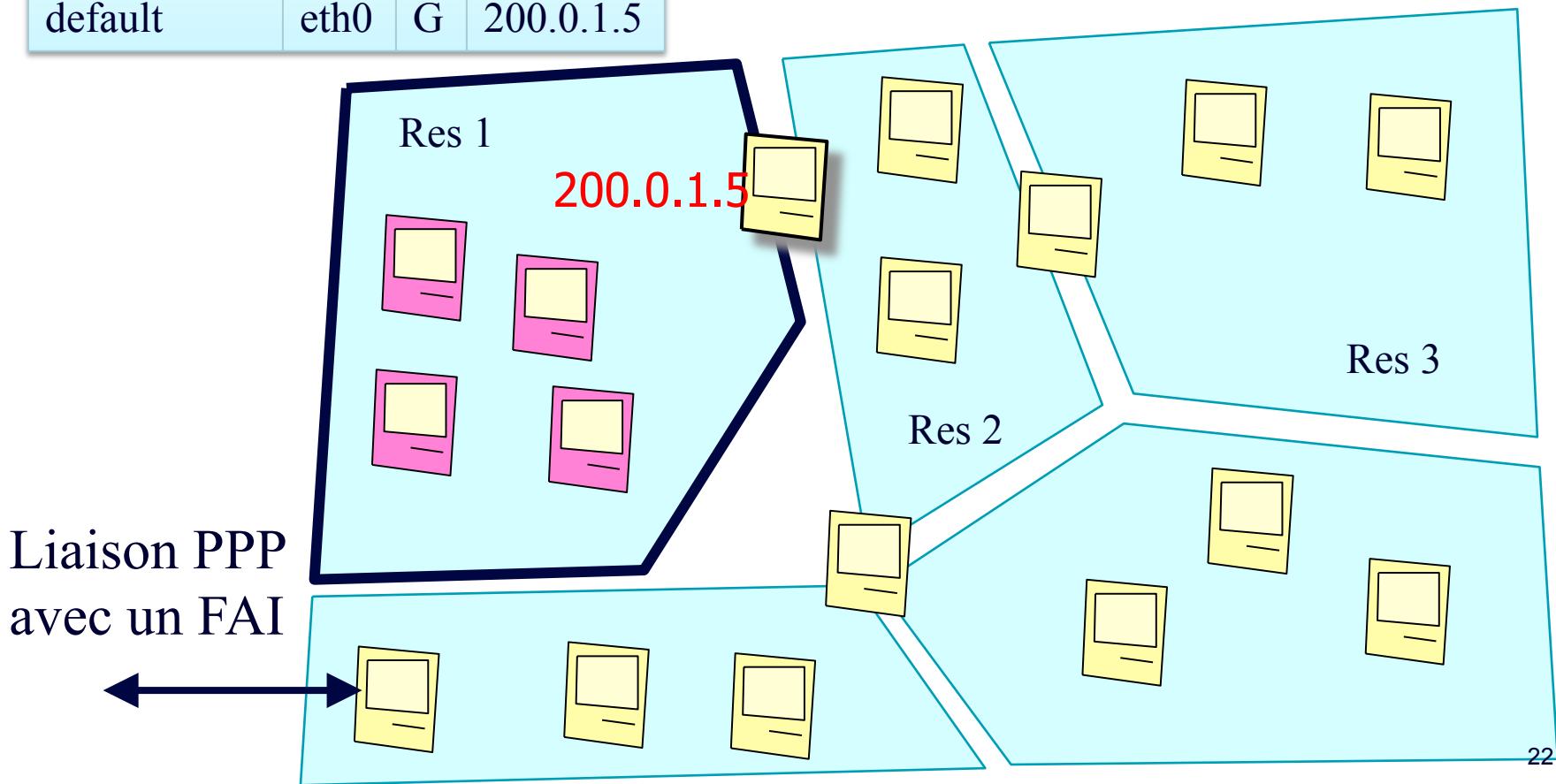
---

destination	Interface	Flag (D, G)	Passerelle
127/8	Lo	D	
200.0.1.0/24	Eth0	D	
default	Eth0	G	200.0.1.5

- Ligne « boucle locale » est obligatoire
- Destination : adresse IP ou adresse réseau
- « G » est suivi de l'adresse IP de la passerelle au choix de l'adresse 

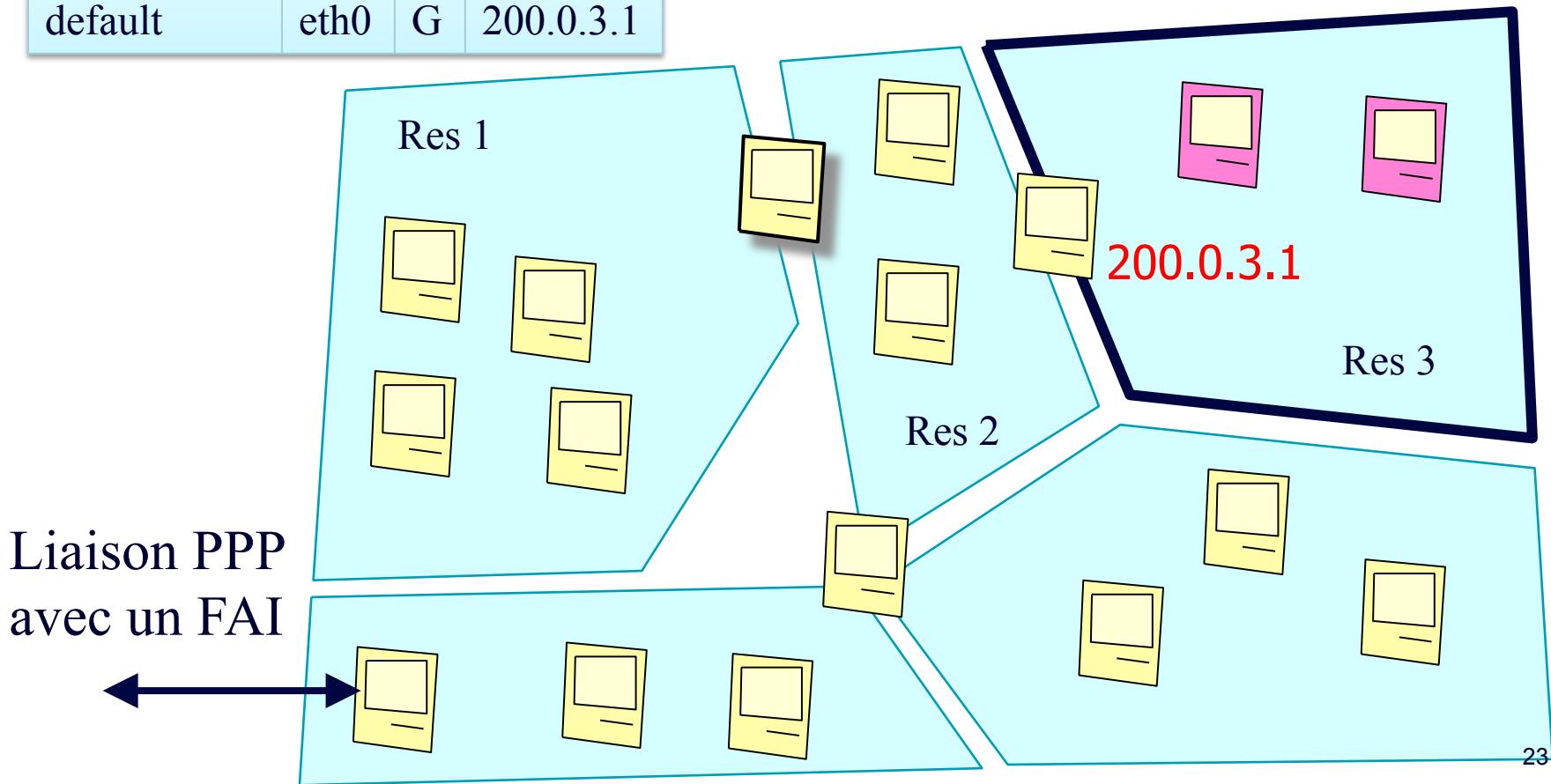
# Exemple Table de routage

127/8	lo	D	
200.0.1.0/24	eth0	D	
default	eth0	G	200.0.1.5



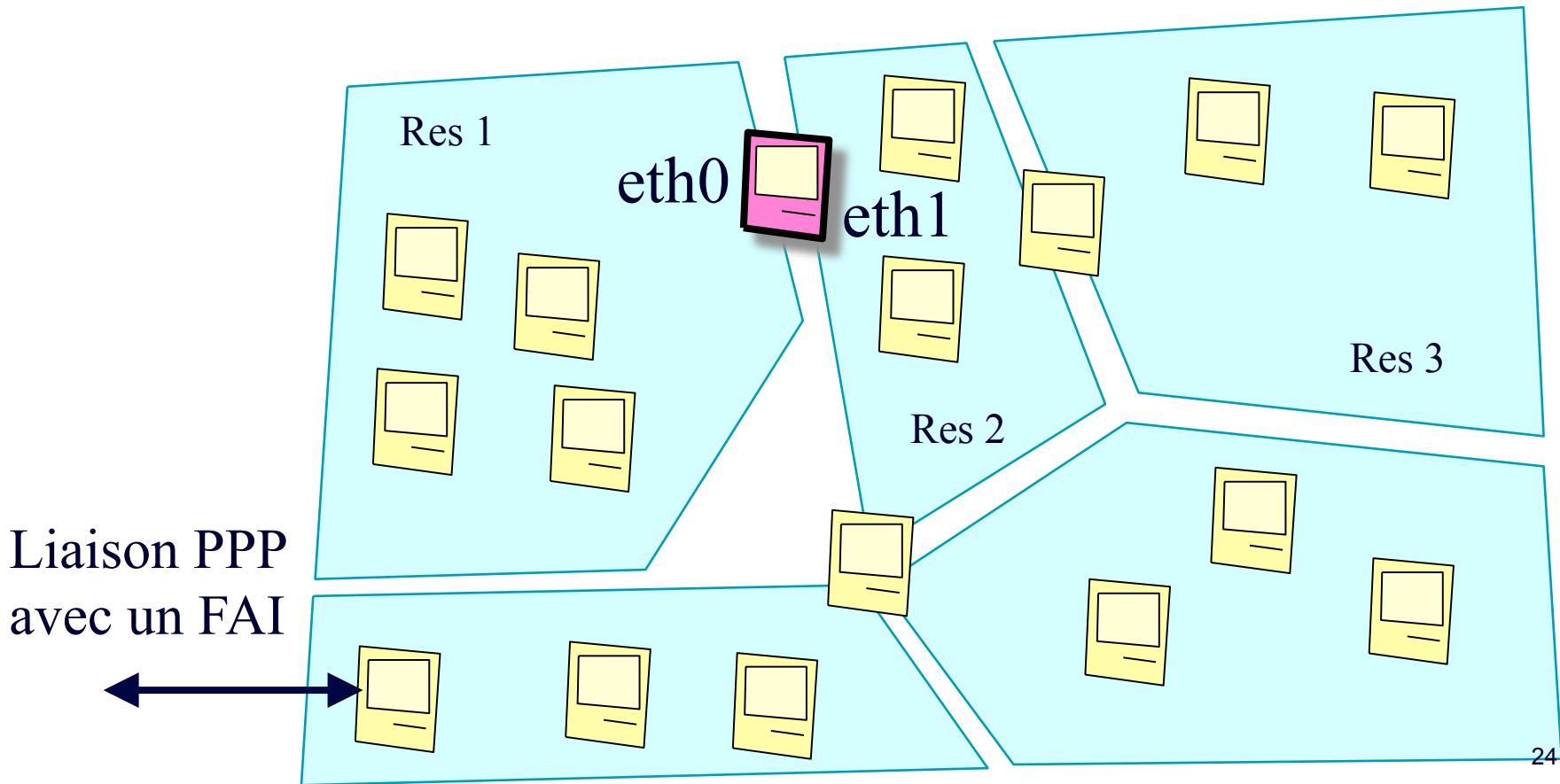
# Exemple Table de routage

127/8	lo	D	
200.0.3.0/24	eth0	D	
default	eth0	G	200.0.3.1



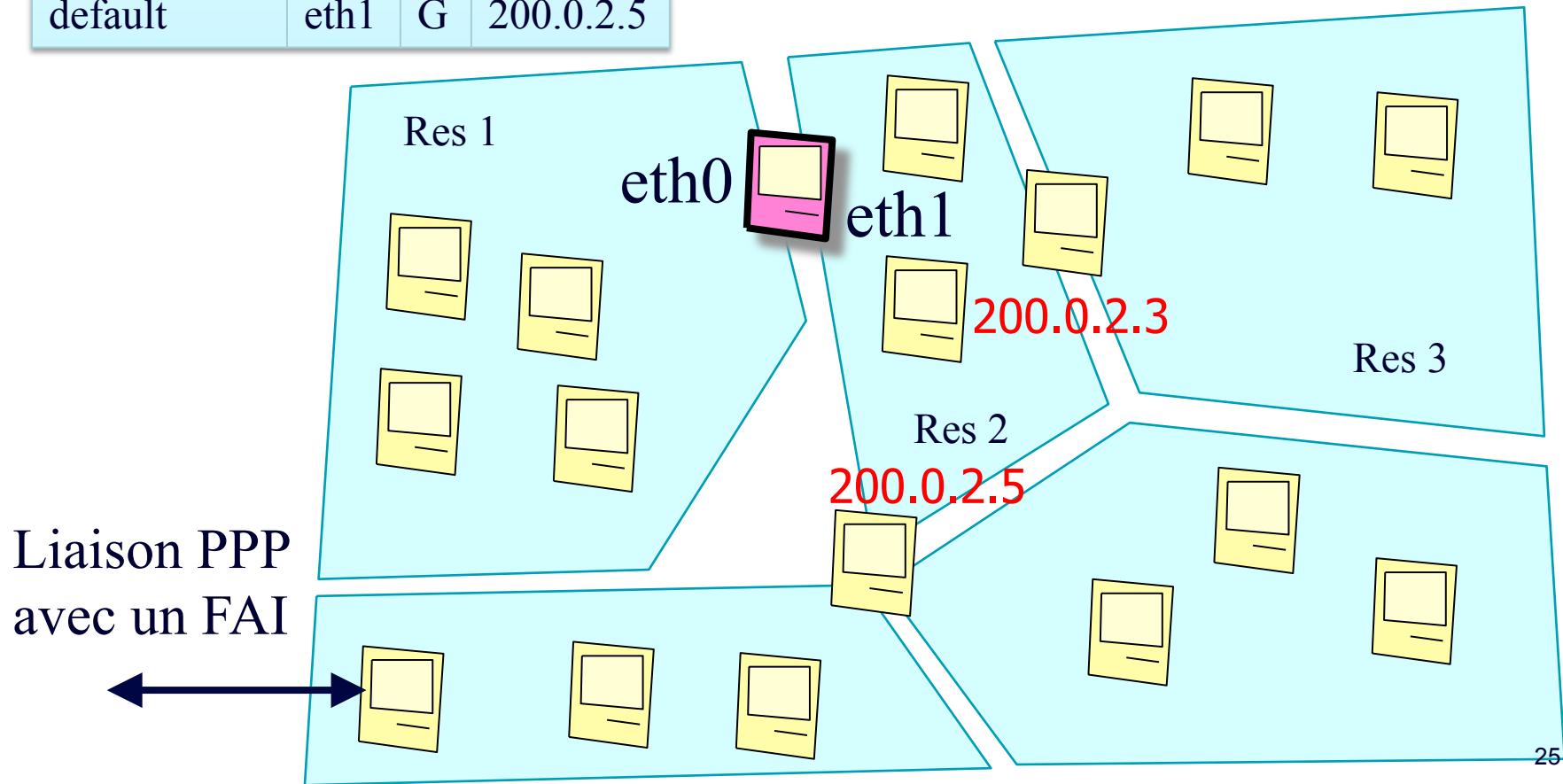
# Exemple Table de routage d'un routeur

Etape 1 : « trouver » le nom des interfaces du routeur



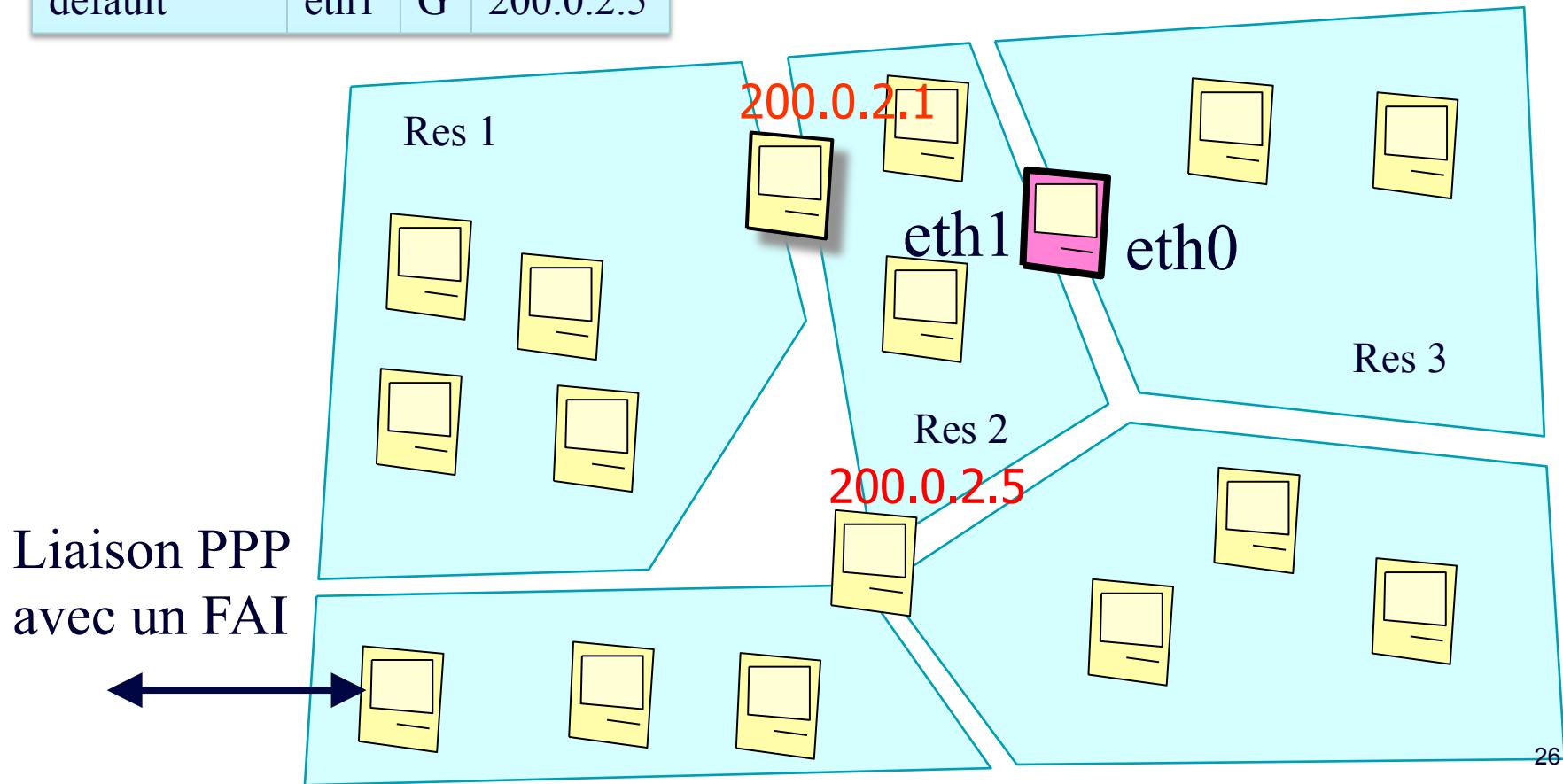
# Exemple Table d'un routeur

	127/8	lo	D	
	200.0.1.0/24	eth0	D	
	200.0.2.0/24	eth1	D	
	200.0.3.0/24	eth1	G	200.0.2.3
	default	eth1	G	200.0.2.5



# Exemple Table d'un routeur

127/8	lo	D	
200.0.3.0/24	eth0	D	
200.0.2.0/24	eth1	D	
200.0.1.0/24	eth1	G	200.0.2.1
default	eth1	G	200.0.2.5



# Etablissement de la table de routage

---

- La table de routage d'un routeur s'établit à partir d'algorithmes de routage tournant sur ce routeur.
- Ces algorithmes ont besoin comme entrée d'informations des routeurs voisins
- Ces informations sont obtenues par un protocole de routage
- Il existe plusieurs algorithmes de routage:
  - RIP
  - OSPF
  - EIGRP
  - IGRP

# Maintenance des tables de routage

---

- Chaque machine a une et une seule table de routage
- Tables de routage sont gérées manuellement ou automatiquement (par des protocoles)
  - Les tables de routage des routeurs peuvent être très longues



# Spécifications des protocoles de routage

---

- Un protocole de routage doit répondre à plusieurs critères (besoin de compromis) :
  - Minimiser la table de routage
  - Minimiser les messages de contrôle
  - Robustesse
  - Utilisation de chemins optimaux

# Spécifications des protocoles de routage

---

- Minimiser la table de routage :
  - L'objectif est de construire des routeurs les moins coûteux possible => minimiser la taille de la mémoire.
  - Plus la table de routage est grande, plus les échanges de messages entre routeurs sont volumineux.
  
- Minimiser les messages de contrôle:
  - Les messages échangés entre routeurs constituent une surcharge sur le réseau et doivent donc être minimisés

# Spécifications des protocoles de routage

---

- Robustesse:
  - Trous noirs : la pire chose que peut faire un routeur est d'envoyer des paquets dans une mauvaise direction, de sorte qu'ils n'atteignent jamais leur destination. On dit qu'ils sont entrés dans un trou noir.
  - Boucles : Si les tables de routages sont inconsistantes, des boucles peuvent se former.
  - Oscillations : Des oscillations peuvent apparaître si les protocoles de routage choisissent un chemin en tenant compte du trafic dans le réseau.

# Spécifications des protocoles de routage

---

- Trous noirs, boucles et oscillations sont rares dans des conditions normales sauf si :
  - des tables de routages sont corrompues,
  - si l'admin spécifie des informations incorrectes,
  - si des liaisons disparaissent ou réapparaissent régulièrement,
  - si des paquets de contrôle sont corrompus, ...
- Le protocole de routage doit se protéger par des tests périodiques, utilisation de checksums, numérotation de séquences, ...

# Spécifications des protocoles de routage

---

- Utilisation de chemins optimaux:
  - Tout paquet devrait suivre le chemin optimal vers sa destination.
- Le chemin optimal :
  - le plus court ? (pas nécessairement)
  - le plus petit délai,
  - les liaisons les plus sécurisées
  - Le coût financier le plus faible, ...
- La détection de chemin optimaux nécessite une collaboration entre tous les routeurs.

# Classification des Protocoles et des algorithmes de routage

---

- Deux classes de protocoles de routage
  - Les protocoles de routage Intra-domaine
  - Les protocoles de routage Inter-domaine
  
- Deux types d'algorithmes de routage
  - État de lien
  - Vecteur de distance

# Classification des algorithmes de routage

---

Sondes Kallel

# Classification des algorithmes de routage

---

- Classification 1
  - routage centralisé
  - routage distribué
- Classification 2
  - Routage « à partir de la source »
  - Routage « noeud après noeud»
- Classification 3
  - Selon les informations prises en compte pour calculer le chemin
    - Locales ou globales

# Classification des algorithmes de routage

---

- Pour constituer sa table de routage, un routeur **doit être informé**, de la topologie du réseau
  - Notion de routage centralisé
    - Mis en oeuvre grâce à un superviseur qui se tient informé des caractéristiques de l'ensemble des liaisons entre routeurs
    - Il peut donc juger de la meilleure route d'un accès à un autre d'un réseau
    - Il en informe chaque routeur qui met à profit ces informations pour mettre à jour sa table de routage
    - Dans les réseaux de grandes envergures, réseau opérateurs, la supervision des voies de communication est indispensable pour gérer les demandes de connexion qui peuvent varier en qualité de service (QoS): vitesse, bande passante, sécurité, ...

# Classification des algorithmes de routage

---

- Pour constituer sa table de routage, un routeur **doit être informé**, de la topologie du réseau
  - **Notion de routage distribué**
    - Mis en oeuvre par chacun des routeurs du réseau grâce à la diffusion de trames de questionnement/d'information de/vers ses voisins
    - Des logiciels résidant dans chaque routeur et mettant en oeuvre des algorithmes permettent de déterminer les chemins les plus avantageux au regard de la métrique
    - Avantage: souplesse. Les algorithmes de routage sont attentifs à tout changement de topologie dans les noeuds du réseau et remettent à jour spontanément les tables de routage
    - Inconvénient: incessant échange d'informations entre routeurs pénalise le trafic dans le réseau

# Classification des algorithmes de routage

## Routage « à partir de la source »

---

- L'en-tête d'un paquet contient les adresses de tous les noeuds par lesquels il va devoir passer pour arriver à destination.
- La source doit connaître la **topologie** de tous le réseau.
- Inconvénients :
  - Si une liaison ou un routeur sur le chemin disparaît, le paquet n'atteindra pas la destination.
  - Si le chemin est long, l'en-tête du paquet peut-être très grande.

# Classification des algorithmes de routage

## Routage «noeud après noeud»

---

- L'en-tête d'un paquet contient juste l'adresse de destination.
  - C'est aux routeurs de déterminer le noeud suivant.
  - Sur Internet on utilise le routage « noeud après noeud »

# Classification des algorithmes de routage

Routage statique	Routage dynamique
<ul style="list-style-type: none"><li>• Consiste à remplir manuellement les tables de routage internes des routeurs du réseau</li><li>• <b>Avantage:</b> nécessite pour les petits réseaux aucun protocole de routage qui pénalise le trafic par l'échange de trames d'informations entre routeurs</li><li>• <b>Inconvénient:</b> toute modification du réseau nécessite la remise à jour des tables de la plupart des routeurs ce qui peut être long et complexe dans de grands réseaux</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les tables de routage sont mises à jour automatiquement par des algo de routage dont les performances recherchées sont:<ul style="list-style-type: none"><li>• La rapidité de convergence, c'est à dire le temps que mettent l'ensemble des routeurs du réseau à faire l'apprentissage de leur environnement ou à réagir à un changement du réseau pour le consigner dans leurs tables de routage</li><li>• leur aptitude à ne pas inonder le réseau de message de services ou de trames dupliquées</li><li>• L'efficacité du routage en terme de:<ul style="list-style-type: none"><li>• Rapidité d'acheminement des paquets</li><li>• Aptitude à ne pas perdre les paquets</li><li>• prise en compte des paramètres de QoS dans le choix des itinéraires</li></ul></li></ul></li></ul>

# Classification suivant les informations disponibles

## □ Locales ou globales

- les informations prises en compte pour calculer le chemin sont:

GLOBALES	LOCALES
<ul style="list-style-type: none"><li>• connaissance de l'ensemble du réseau<ul style="list-style-type: none"><li>• Algorithme à état de liens</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• connaissance partielle du réseau<ul style="list-style-type: none"><li>• Algorithme à vecteur de distance</li></ul></li></ul>

## □ Nombres d'informations prises en compte

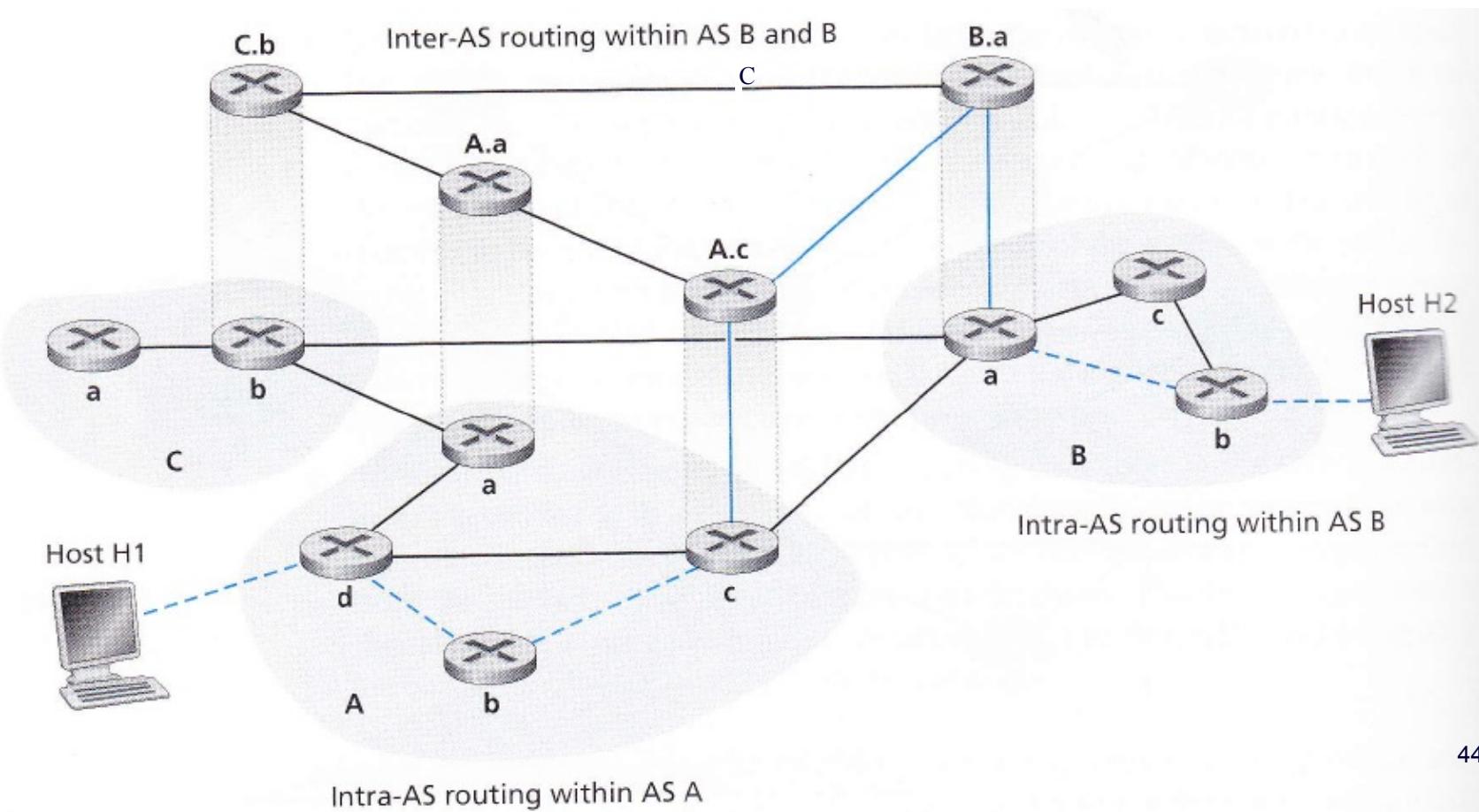
- La plupart des algorithmes associent un coût à un chemin: on parle de métrique
- Ce coût peut faire intervenir plus ou moins de paramètres: temps de propagation, débit, charge moyenne mesurée, etc ... mais aussi politique (interdiction de passer par certaines routes)

# Classification des protocoles de routage

---

# Systèmes autonomes

- Système autonome (i.e. domaine) (AS – Autonomous System)
  - Ensemble des routeurs contrôlés par une même autorité administrative et utilisant un même protocole de routage



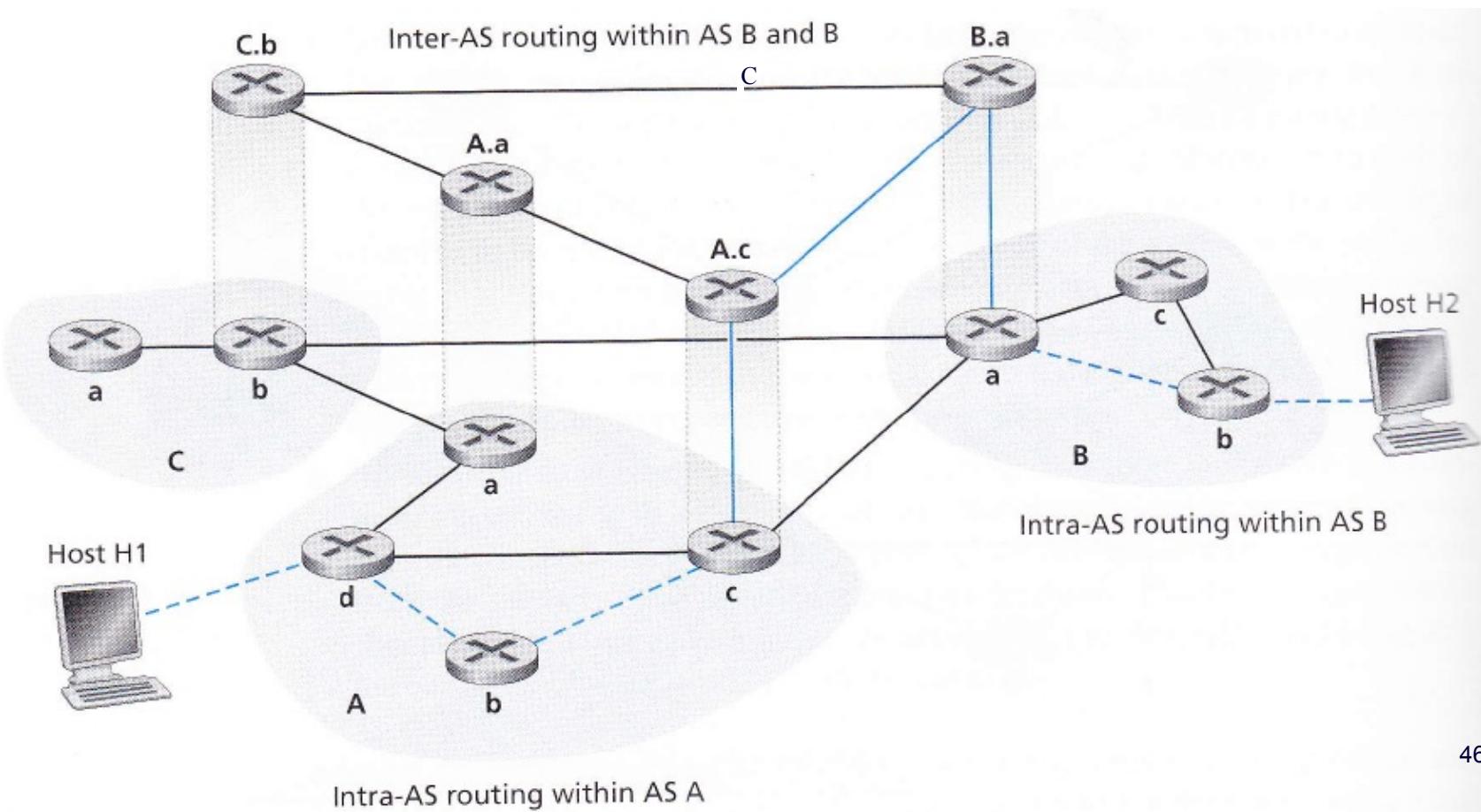
# Protocoles de routage

## □ Deux types de protocoles de routage

Interne : Interior Gateway Protocol (IGP)	Externe : Exterior Gateway Protocol (EGP)
<ul style="list-style-type: none"><li>• au sein d'un même Autonomous System<ul style="list-style-type: none"><li>• ex.: RIP, OSPF, IGRP ...</li><li>• Détermine dynamiquement la meilleure route vers chaque réseau ou sous-réseau.</li><li>• "Intradomain routing protocols"</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilisé pour interconnecter les grands réseaux</li><li>• Entre 2 Autonomous Systems (ou plus)<ul style="list-style-type: none"><li>• ex.: EGP, BGP ...</li></ul></li><li>• "Interdomain routing protocols"</li></ul>

# Systèmes autonomes

- Système autonome (i.e. domaine) (AS – Autonomous System)
  - Ensemble des routeurs contrôlés par une même autorité administrative et utilisant un même protocole de routage



# Algorithmes de routage fondamentaux

---

# Algorithmes de routage fondamentaux

L'algorithme du vecteur de distance  
(distance-vector routing) :

- un noeud transmet à ses voisins le coût pour atteindre chaque noeud du réseau.

L'algorithme de l'état des liens  
(state-link routing)

- un noeud transmet à chaque noeud du réseau le coût pour atteindre ses voisins

- Ces deux algorithmes supposent **que chaque routeur connaît l'adresse de ses voisins et le coût pour atteindre ceux-ci.**
- Ce sont des algorithmes **distribués** qui conviennent particulièrement bien à Internet.

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

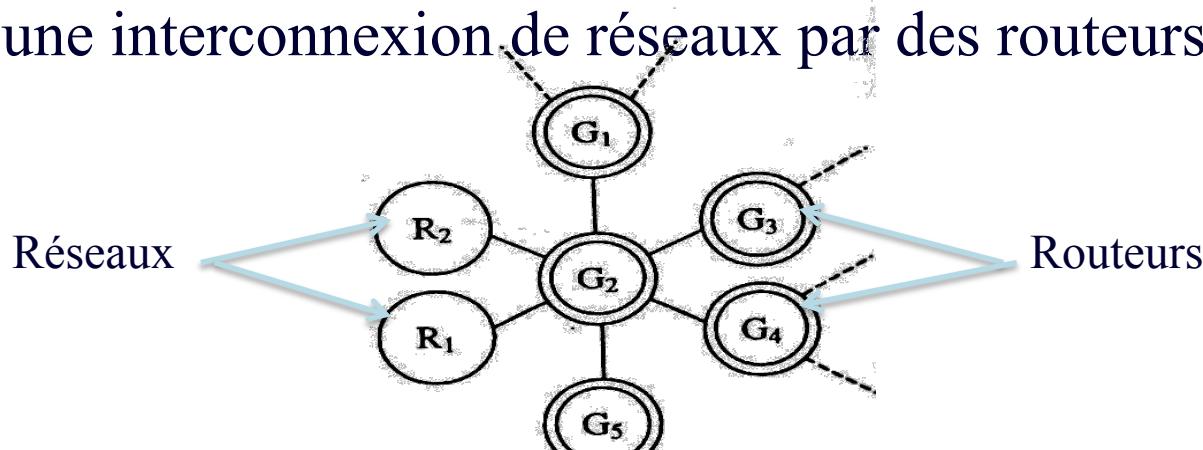
---

- Chaque routeur maintient un vecteur de distance (DV), liste de couples (destination, coût), qu'il recalcule à chaque fois qu'il reçoit une copie du vecteur de distance (DV) d'un de ses voisins.
- L'information se propage noeud après noeud à chaque échange de vecteurs, jusqu'à parcourir tout le réseau.

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

- Algorithme à vecteur de distance ou algorithme de Bellman-Ford-Fulkerson
  - Soit une interconnexion de réseaux par des routeurs



- Table de routage initiale de G2 (par prise de contact avec les voisins)

DESTINATION	DISTANCE	ROUTE
R1	0	Directe
R2	0	Directe

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

- Diffusion d'une copie de la table de routage d'un routeur à tous ses voisins

Table de routage du routeur G2 après diffusion		
DESTINATION	DISTANCE	ROUTE
R1	0	Directe
R2	0	Directe
R4	8	G5
R17	5	G4
R24	6	G1
R30	2	G3
R42	2	G1

Adresse du réseau de destination

Port du routeur G2 où est connecté le routeur de destination

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

- Mise à jour des tables en fonction des messages

MESSAGE DE G1	
DESTINATION	DISTANCE
R1	2
R4	3
R17	6
R21	4
R24	5
R30	10
R42	3

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

- Modification de la table de routage si
  - Il existe un chemin plus court que celui existant **(1)**
  - Une destination inconnue apparaît **(2)**
  - Une distance a été modifiée **(3)**

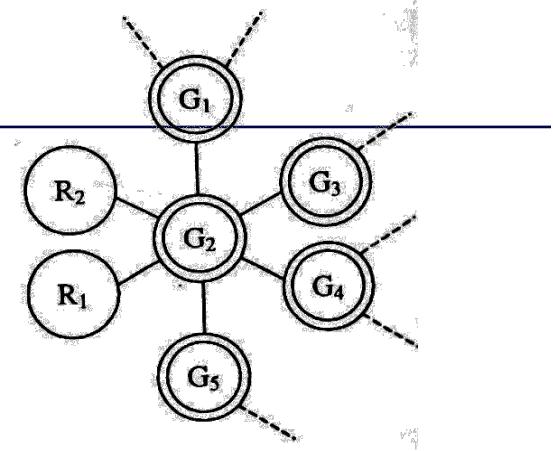


Table de routage du routeur G2 après message

DESTINATION	DISTANCE	ROUTE
R1	0	directe
R2	0	Directe
<b>(1) R4</b>	<b>4</b>	<b>G1</b>
R17	5	G4
R24	6	G1
R30	2	G3
<b>(3) R42</b>	<b>4</b>	<b>G1</b>
<b>(2) R21</b>	<b>5</b>	<b>G1</b>

Table de routage du routeur G2 après diffusion

DESTINATION	DISTANCE	ROUTE
R1	0	Directe
R2	0	Directe
R4	8	G5
R17	5	G4
R24	6	G1
R30	2	G3
R42	2	G1

MESSAGE DE G1

DESTINATION	DISTANCE
R1	2
R4	3
R17	6
R21	4
R24	5
R30	10
R42	3

Table de routage du routeur G2 après message

DESTINATION	DISTANCE	ROUTE
R1	0	directe
R2	0	Directe
<b>R4</b>	<b>4</b>	<b>G1</b>
R17	5	G4
R24	6	G1
R30	2	G3
<b>R42</b>	<b>4</b>	<b>G1</b>
<b>R21</b>	<b>5</b>	<b>G1</b>

# Algorithmes de routage

## Vecteur de distance

---

- Inconvénients du routage à vecteur de distance
  - nécessite l'échange de messages de configurations long: le contenu des tables de routage de chaque routeur
  - la longueur des messages est donc proportionnel au nombre de routeurs
  - le nombre des messages est lui aussi proportionnel au nombre de routeurs
- ⇒ **Ce type de routage a un mauvais temps de réponse aux changements de configuration**
  - un réseau où il n'y a aucun changement génère malgré tout un trafic important d'échange des tables
  - A contrario, un réseau dans lequel il y a beaucoup de changements , risque de rencontrer des incohérences: les échanges ne sont pas instantanés, certains routeurs ont à un moment donné des routes fausses, la modification n'étant pas encore arrivée jusqu'à eux.
- ⇒ **La convergence n'est pas alors assez rapide**

# Algorithmes de routage

## Etat de liens

---

- Algorithme à état de liens ou Shortest Path First (SPF)
  - Principe: donner à chaque routeur la vision complète du réseau par ses propres moyens, donc indépendamment des autres matériels
    - La philosophie du routage par état de liens est de distribuer la topologie du réseau et le coût de chaque liaison à travers tout le réseau.
  - Obtention d'une table contenant tous les plus courts chemins pour atteindre tous les routeurs grâce à des calculs découlant de la théorie des graphes
  - Réduit le temps de convergence de l'algorithme à vecteur de distance

# Algorithmes de routage

## Etat de liens

---

- Méthode
  - test de l'activité des routeurs voisins
    - message court de type ping (ICMP): LSP (link-state packets)
      - Si le voisin est vivant ou accessible le lien est considéré comme actif
      - si le voisin est inaccessible le lien est considéré comme tombé
  - propagation à tous les routeurs de l'état des voisins
  - chaque routeur met à jour sa carte des liens:
    - S'il y a modification, il recalcule les routes par l'algorithme du plus court chemin (algo de Dijkstra)
- Avantages
  - La taille des messages est limitée
  - La convergence de l'algorithme est sûre car elle est calculée sur chaque routeur indépendamment.

# Comparaison algorithmes de routage

## Vecteur de distance vs Etat des liens

VECTEUR DISTANCE	ETAT DE LIENS
Visualise la topologie du réseau du point de vue de leurs voisins	Dispose d'une vue commune de la topologie
Ajoute des vecteurs de distance d'un routeur à l'autre	Calcule le plus court chemin vers les autres routeurs
Mises à jour périodique fréquentes et convergence lente	Mise à jour déclenchées par évènements et convergence plus rapide
Passe des copies des tables de routages aux routeurs voisins	Passe les mises à jour du routage à état de liens aux autres routeurs

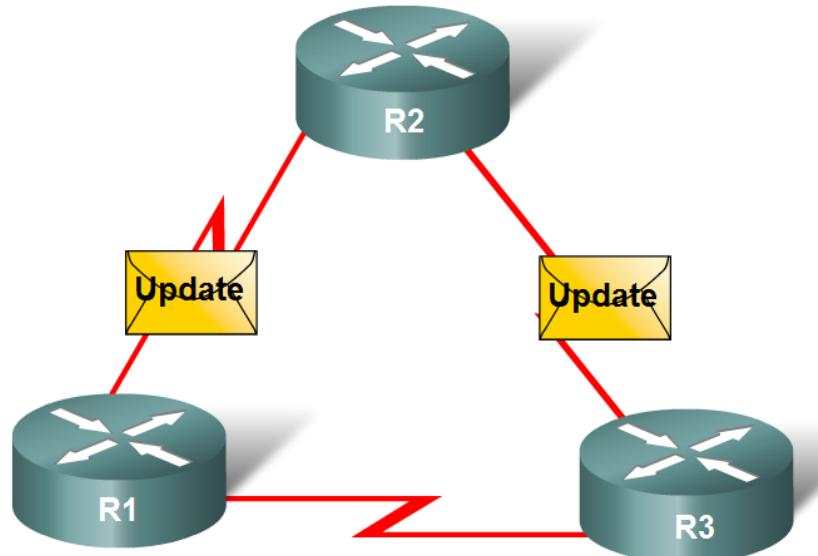
# Protocoles de routage dynamique

---

# Protocoles de routage dynamiques

- Function(s) des protocoles de routage dynamiques:
  - Partage dynamique de toutes les informations entre les routeurs.
  - Mise à jour automatique des tables de routage lors d'un changement de topologie
  - Détermine le meilleur chemin.

**Routers Dynamically Pass Updates**



# Protocoles de routage dynamiques

- Function(s) des protocoles de routage dynamiques:
  - Découvre les réseaux à distance.
  - Maintient une mise à jour automatique de l'information de routage
  - Détermine le meilleur chemin pour atteindre la destination.
  - Capacité de trouver un nouveau meilleur chemin si le chemin courant n'est plus valide

## Routing Protocol Operation

Routing protocols are used to exchange routing information between the routers.



# Protocoles de routage dynamiques

## □ Composants d'un protocole de routage

### ■ Algorithme

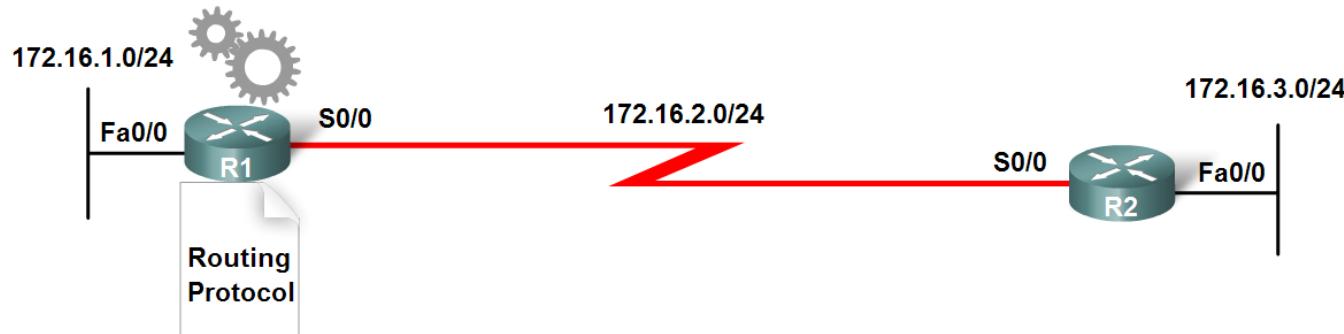
- Il est utilisé pour faciliter le routage de l'information et la détermination du meilleur chemin

### ■ Messages des protocoles de routages

- Pour permettre la découverte des voisins et les échanges des informations de routage

#### Routing Protocol Operation

Routing protocols are used to exchange routing information between the routers.



# Protocoles de routage dynamiques

---

## □ Avantages du routage statique

- Il peut sauvegarder des interfaces/réseaux multiples sur un routeur
- Facilité de configuration
- Pas besoin de ressources supplémentaires
- Plus sécurisé

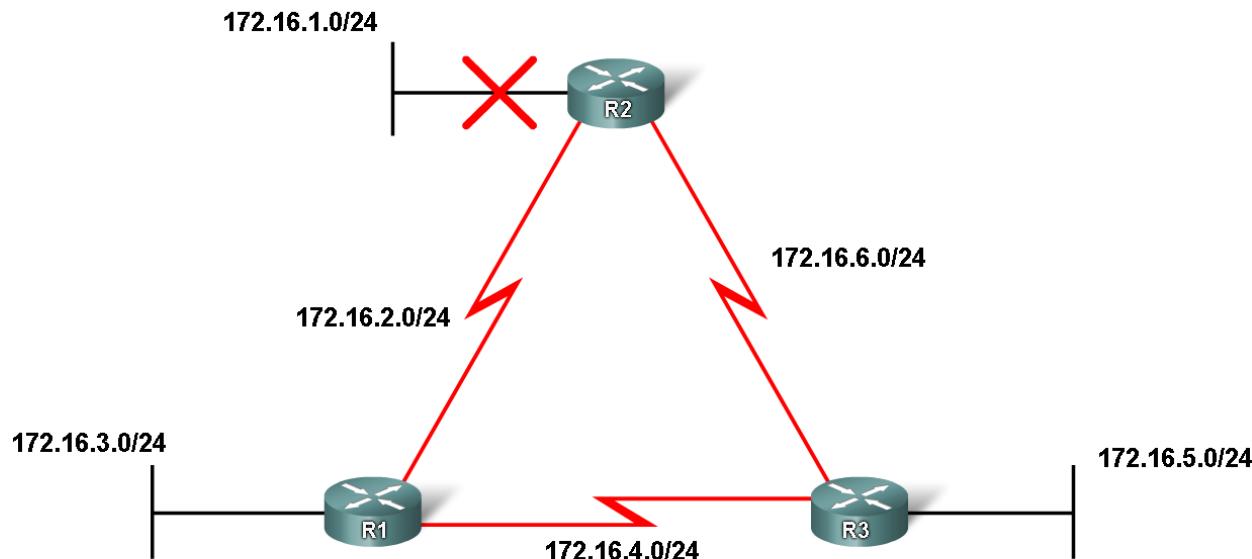
## □ Inconvénients du routage statique

- Les changements de réseau exigent une reconfiguration manuelle
- Ne passe pas à l'échelle dans une grande topologie

# Protocoles de routage dynamiques

- Convergence est définie dès que les tables de routage arrivent à état de stabilité

Comparing Convergence

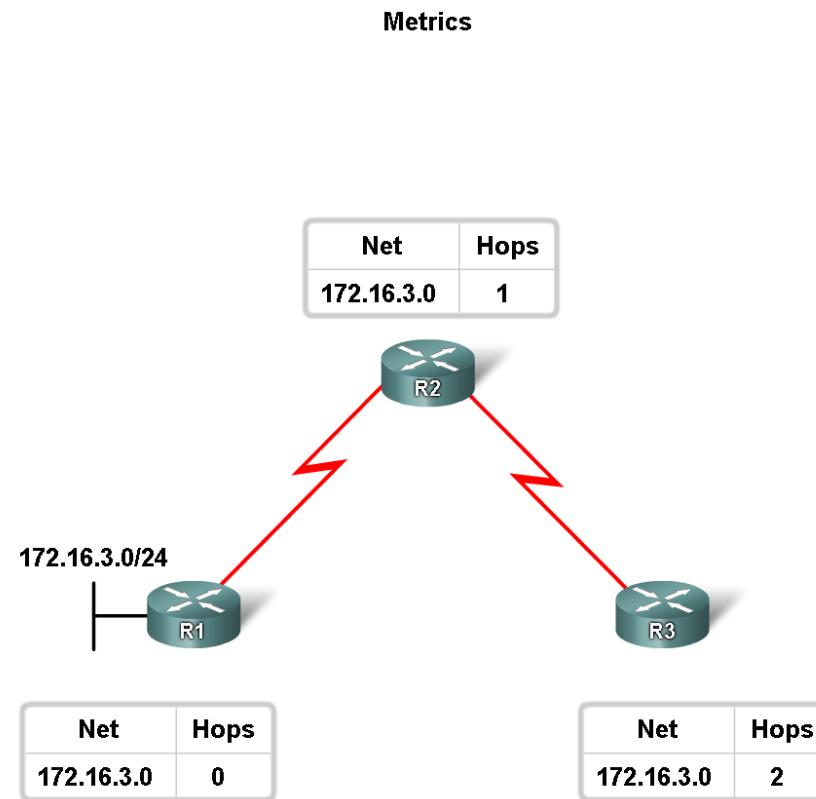


Slower Convergence: RIP and IGRP  
Faster Convergence : EIGRP and OSPF

# Protocoles de routage dynamiques

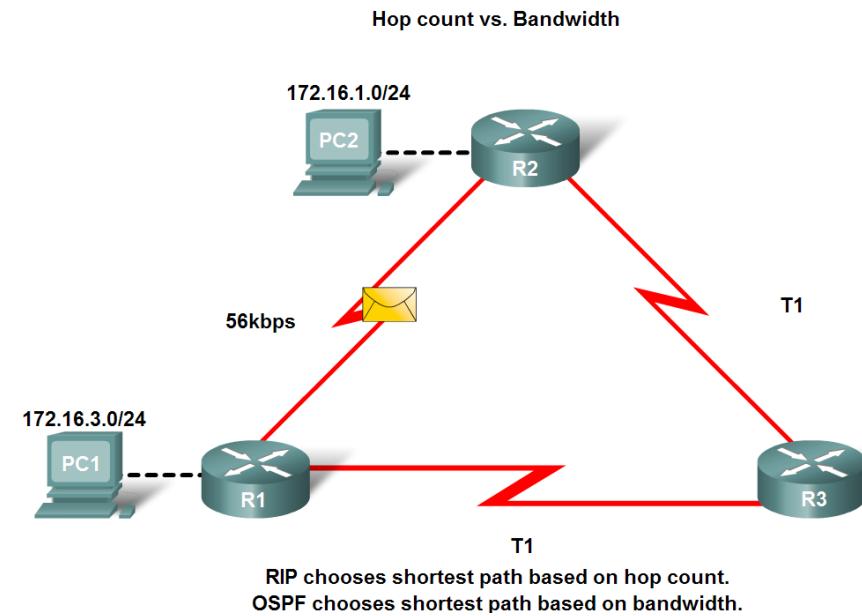
## □ Métrique

- C'est une valeur utilisée par le protocole de routage pour déterminer quelle est la meilleure route



# Métriques de protocole de routage

- Les métriques sont utilisés dans le protocoles de routage IP
  - Bande passante (Bandwidth)
  - Coût (Cost)
  - Délai (Delay)
  - Nbre de Saut (Hop count)
  - Charge (Load)
  - Fiabilité (Reliability)

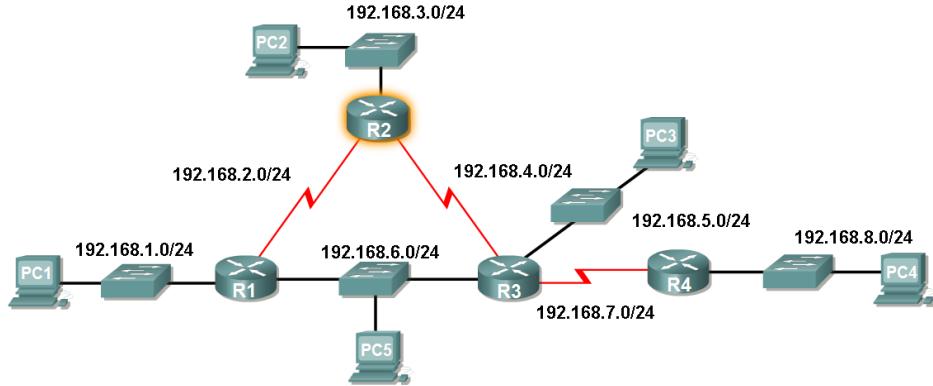


# Métriques de protocole de routage

- Le champ Métrique dans la table de routage
- **Métriques** utilisé pour chaque protocole de routage

- RIP - hop count
- IGRP & EIGRP - Bandwidth (utilisé par défaut), Delai (utilisé par défaut), Load, Reliability
- IS-IS & OSPF – Cost, Bandwidth (Cisco's implementation)

## Metric in the Routing Table



```
R2#show ip route
```

```
<output omitted>
```

```
Gateway of last resort is not set
```

```
R  192.168.1.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0
C  192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/0
C  192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C  192.168.4.0/24 is directly connected, Serial0/1
R  192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/1
R  192.168.6.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0
                                            [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/1
R  192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/1
R  192.168.8.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/1
```

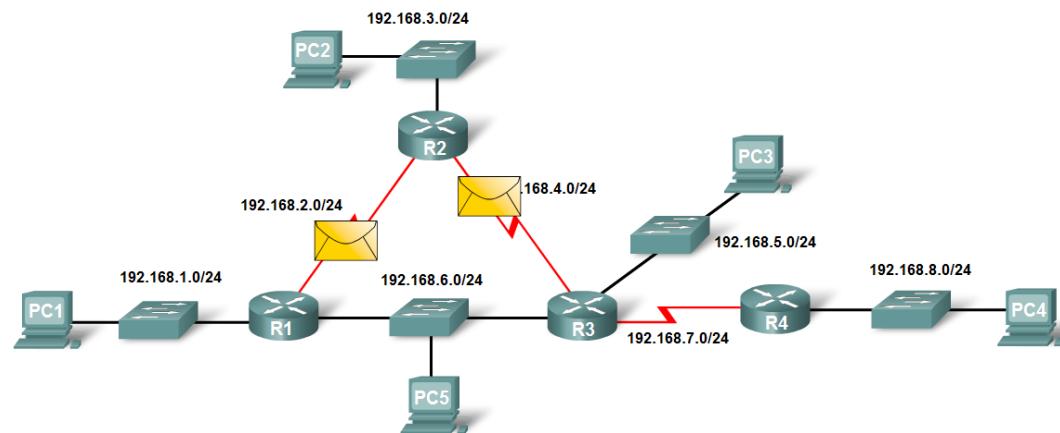
It is 2 hops from R2 to 192.168.8.0/24

# Métriques de protocole de routage

## □ Equilibrage de charge

- C'est la capacité d'un routeur à distribuer des paquets parmi des multiples chemins ayant le même coût

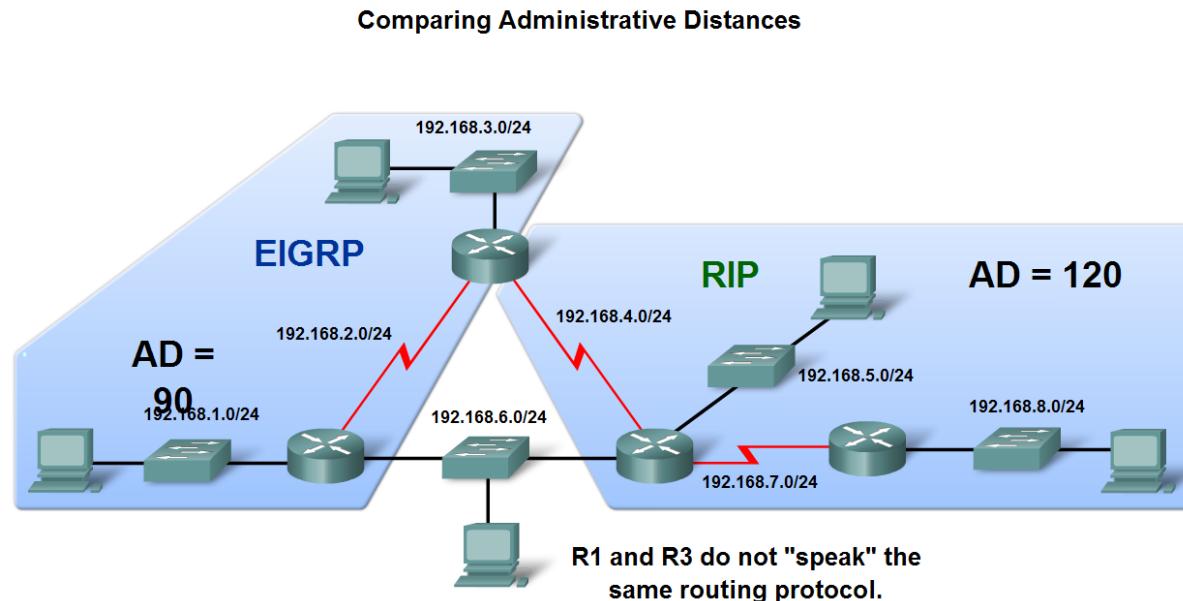
**Load Balancing Across Equal Cost Paths**



```
R2#show ip route
<output omitted>
R    192.168.6.0/24 [120/1] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
                [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
```

# Métrique de protocole de routage

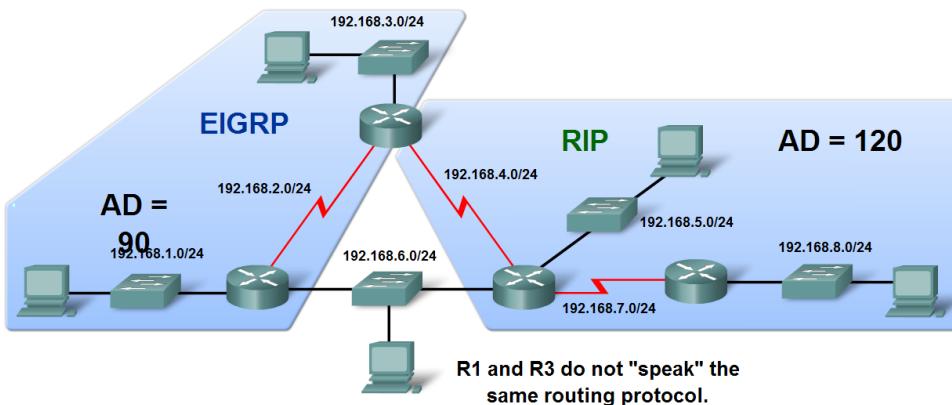
- **Objectif des métriques**
  - C'est une valeur calculée utilisée pour déterminer le meilleur chemin pour atteindre la destination
- **Objectif de la Distance Administrative**
  - C'est une valeur numérique qui spécifie la préférence à une route particulière



# Distance Administrative d'une Route

- Identifie la **Distance Administrative (AD)** dans une table routage
  - C'est le premier numéro entre parenthèses dans la table de routage

Comparing Administrative Distances



```
R2#show ip route
<output omitted>

Gateway of last resort is not set

D  192.168.1.0/24 [90/2172416] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
C  192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
C  192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C  192.168.4.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
R  192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
D  192.168.6.0/24 [90/2172416] via 192.168.2.1, 00:00:24, Serial0/0/0
R  192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
R  192.168.8.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:08, Serial0/0/1
```

```
R2#show ip rip database
192.168.3.0/24    directly connected, FastEthernet0/0
192.168.4.0/24    directly connected, Serial0/0/1
192.168.5.0/24
[1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.6.0/24
[1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.7.0/24
[1] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
192.168.8.0/24
[2] via 192.168.4.1, Serial0/0/1
```

# Distance Administrative d'une Route

## Dynamic Routing Protocols

Default Administrative Distances	
Route source	Default AD
Connected interface	0
Static	1
EIGRP summary route	5
eBGP	20
EIGRP (Internal)	90
IGRP	100
OSPF	110
IS - IS	115
RIP	120
EIGRP (External)	170
iBGP	200
Unknown	255

# Distance Administrative d'une Route

- Les routes directement connectés (Directly connected routes)
  - A une AD par défaut de 0 : **AD=0**
- Routes statiques (Static Routes)
  - Administrative distance of a static route has a **une valeur par défaut de 1 : AD=1**

```
R2#show ip route 172.16.3.0
Routing entry for 172.16.3.0/24
Known via "static", distance 1, metric 0 (connected)
  Routing Descriptor Blocks:
    * directly connected, via Serial0/0/0
      Route metric is 0, traffic share count is 1
```

# Distance Administrative d'une Route

## □ Directly connected routes

- Apparaissent immédiatement dans la table de routage aussitôt que l'interface est configurée

```
R2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

      172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets
C        172.16.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
C        172.16.2.0 is directly connected, Serial0/0/0
S        172.16.3.0 is directly connected, Serial0/0/0
C        192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0/0/1
S        192.168.2.0/24 [1/0] via 192.168.1.1
```

# Résumé

---

- **Dynamic routing protocols** fulfill the following **functions**
  - Dynamically share information between routers
  - Automatically update routing table when topology changes
  - Determine best path to a destination
- **Routing protocols are grouped as either**
  - Interior gateway protocols (IGP) **Or**
  - Exterior gateway protocols(EGP)
- **Types of IGPs include**
  - **Classless routing protocols** - these protocols include subnet mask in routing updates
  - **Classful routing protocols** - these protocols do not include subnet mask in routing update

# Résumé

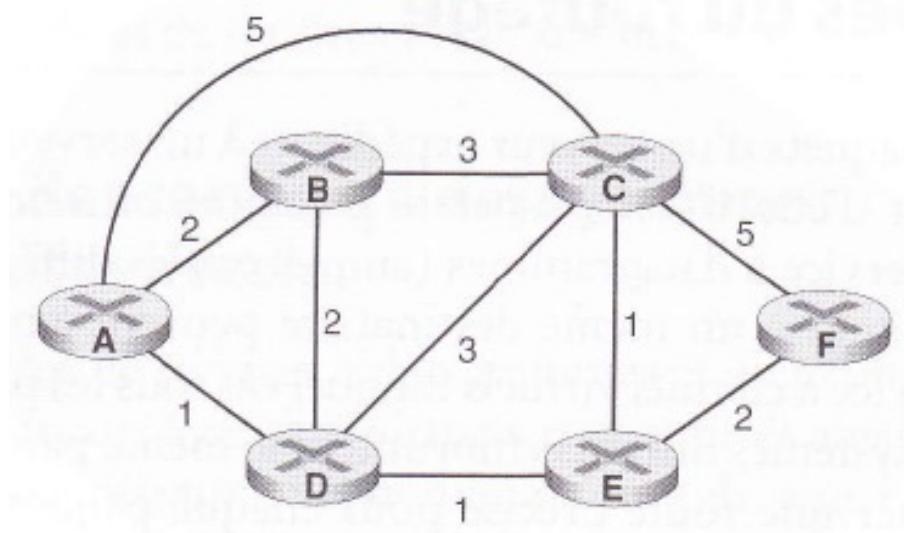
- 
- **Metrics** are used by dynamic routing protocols to calculate the best path to a destination.
  - **Administrative distance** is an integer value that is used to indicate a router's "trustworthiness"
  - **Components of a routing table** include:
    - Route source
    - Administrative distance
    - Metric

# ANNEXE

---

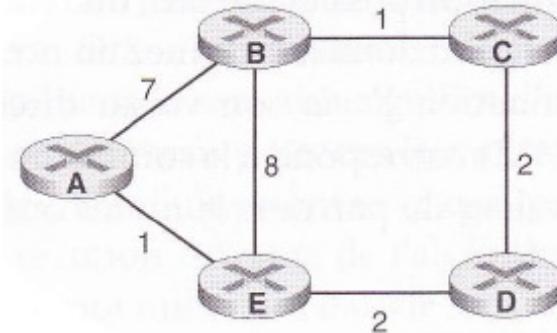
# Modèle théorique de réseau

- Un réseau est représenté par un graphe
  - Les nœuds représentent les routeurs
  - Les liens représentent les liaisons
- Un algorithme de routage consiste à identifier le parcours entre un expéditeur et un destinataire dont la somme des liaisons est la plus faible



# Algorithmes de routage à vecteur de distance (1)

- Chaque nœud maintient une table de distances
  - Une ligne pour chaque destination possible
  - Une colonne pour chaque voisin direct
  - $D^X(Y,Z) = c(X,Z) + \min_w \{D^Z(Y,w)\}$ 
    - X: le nœud source (le nœud qui maintient la table)
    - $D^X(Y,Z)$ : le coût du chemin de X à Y en passant par Z
    - $\min_w \{D^Z(Y,w)\}$ : le coût du chemin le plus court de Z à Y
    - $c(X,Z)$ : le coût du lien (X,Z)
      - Pour atteindre A de E en passant par A : 1
      - Pour atteindre A de E en passant par B : on passe par EBCDEA = 8+1+2+2+1+14



Coût du parcours vers la destination via

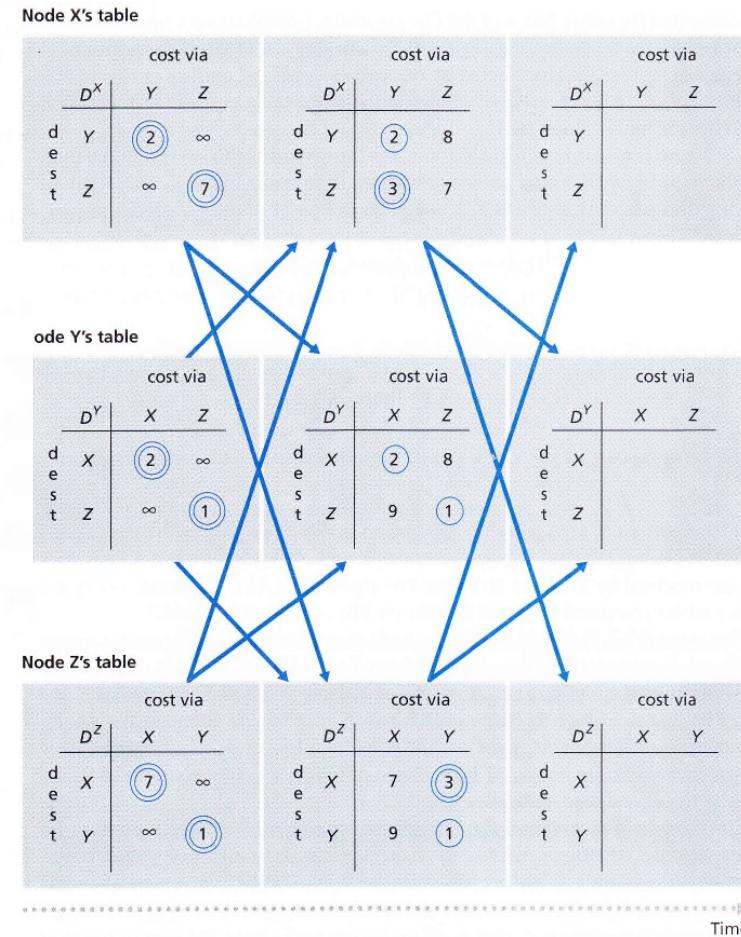
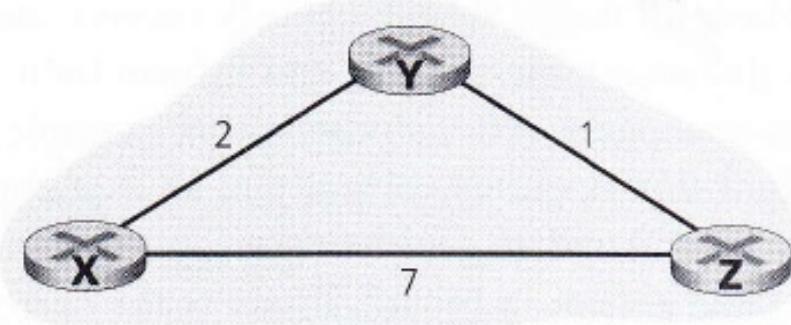
		A	B	D
Destination	$D^E()$	1	14	5
A	1			
B	7	8	5	
C	6	9	4	
D	4	11	2	

## Algorithmes de routage à vecteur de distance (2)

---

- Dès qu'un nœud trouve un nouveau chemin le plus court vers une destination donnée, il est chargé d'en informer tous ses voisins
- Chaque nœud, à la réception d'un vecteur des distances venant d'un nœud voisin, met à jour sa table des distances avec de nouvelles routes ou de meilleures routes en passant par lui comme le nœud suivant

# Algorithmes de routage à vecteur de distance (3)



# Algorithme de routage par état de lien

---

- Chaque nœud du réseau diffuse l'état des liaisons auxquelles il est rattaché
- Avec les informations sur les états des liens venant des autres nœuds dans le réseau, chaque nœud possède une connaissance sur la topologie complète du réseau
- Chaque nœud applique l'algorithme de Dijkstra sur cette topologie pour trouver les chemins les plus courts vers chaque destination

# Un Algorithme de routage Link-State

---

## Algorithme de Dijkstra

La topologie et le coût des liens sont connus de tous les nœuds

- accompli avec une diffusion de l'état des liens
- Tout les nœuds ont la même info
- Calculer le plus court chemin (le chemin le moins coûteux) d'un nœud à tout les autres
  - Génère la **table de routage** du noeud
  - De façon itérative : après  $k$  itérations, on connaît le chemin le plus cours vers  $K$  destinations

## Notation :

- $c(i,j)$  : coût du lien de  $i$  à  $j$ .  
Est infini si  $i$  et  $j$  ne sont pas voisins
- $D(v)$  : Valeur courante du coût du chemin de la source à la destination  $V$
- $p(v)$  : noeud précédent  $v$  dans le chemin de la source à  $v$
- $N$  : Ensemble des nœuds dont on connaît le coût minimal

# Algorithme de Dijksra

1 ***Initialisation :***

2     $N = \{A\}$

3    Pour tout noeud  $v$

4      si  $v$  est adjacent à  $A$

5       alors  $D(v) = c(A,v)$

6       Sinon  $D(v) = infinity$

7    ***boucle***

8      Trouver  $w \notin N$  tel que  $D(w)$  est minimal

10     ajouter  $w$  à  $N$

11     Mettre à jour  $D(v)$  pour tout les nœuds  $v \notin N$  adjacents à  $w$

12      $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$

13 ***jusqu'à la fin des nœuds de N***

# Algorithme de Dijkstra (1)

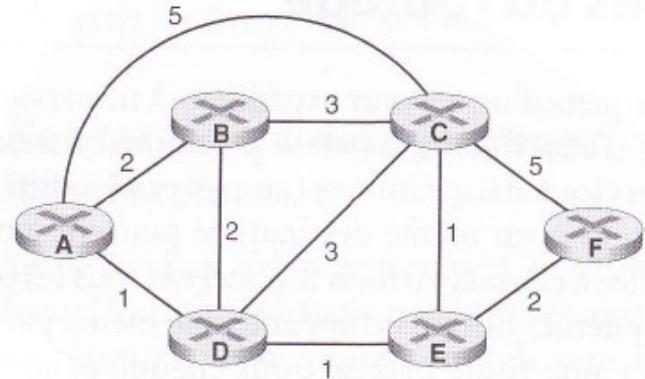
---

- Pour un nœud source A
  - $C(i,j)$  : coût du lien direct  $(i,j)$
  - $D(v)$  : coût du chemin du nœud source au destinataire  $v$
  - $P(v)$  : Nœud précédent du destinataire  $v$
  - $N$  : groupe du nœud source et des nœuds destinataires dont les chemins les plus courts sont définitivement trouvés

# Algorithme de Dijkstra (2)

```
1 Initialisation:  
2   N = {A}  
3   pour tous les noeuds v  
4     si v adjacent à A  
5       alors D(v) = c(A,v)  
6     ou bien D(v) = 8  
7  
8 Effectuer une boucle  
9   trouver w à l'extérieur de N tel que D(w) soit minimum  
10  ajouter w à N  
11  mettre à jour D(v) pour tout v adjacent à w et à l'extérieur de N:  
12    D(v) = min( D(v), D(w) + c(w,v) )  
13  /* le nouveau coût du parcours vers new v est soit l'ancien coût,  
   ↪ soit  
14    celui calculé vers w additionné du coût de w à v */  
15 jusqu'à tous les noeuds de N
```

# Algorithme de Dijkstra (3)



Étape	N	D(B), p(B)	D(C), p(C)	D(D), p(D)	D(E), p(E)	D(F), p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	$\infty$	$\infty$
1	AD	2,A	4,D		2,D	$\infty$
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E
4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					

# Algorithme de Dijkstra : exemple

étapes	start N	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
→ 0	A	2,A	5,A	1,A	inf	inf
→ 1	AD	2,A	4,D		2,D	inf
→ 2	ADE	2,A	3,E			4,E
→ 3	ADEB		3,E			4,E
→ 4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					

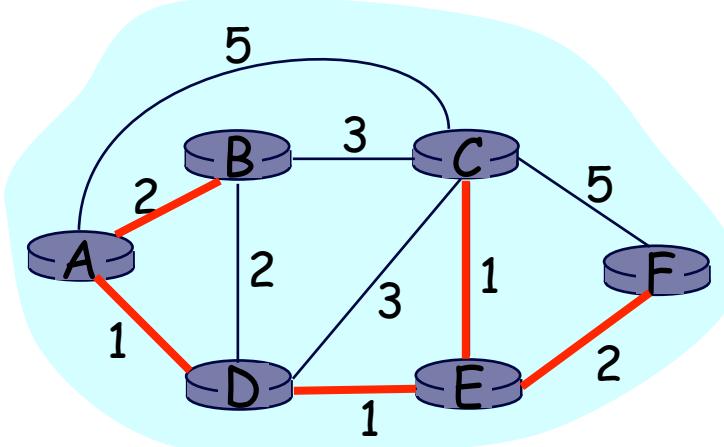
Notation :

$c(i,j)$  : coût du lien de  $i$  à  $j$ .  
Est infini si  $i$  et  $j$  ne sont pas voisins

$D(v)$  : Valeur courante du coût du chemin de la source à la destination  $V$

$p(v)$  : noeud précédent  $v$  dans le chemin de la source à  $v$

$N$  : Ensemble des nœuds dont on connaît le coût minimal



# Configuration de routeurs CISCO

- Configuration des interfaces (ports Ethernet) :

IOS cmd :

```
router> enable
```

```
router #configure terminal
```

```
router(config)#hostname routeur
```

-- Nom du routeur

```
routeur(config)#interface FastEthernet 0/?
```

-- Choix de l'interface

```
routeur(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
```

-- Affectation de l'@ IP

```
routeur(config-if)#no shutdown
```

- Configuration des interfaces (ports Série) :

```
routeur(config)#interface serial 0/? 35
```

```
routeur(config-if)#ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
```

```
routeur(config-if)#clock rate 56000 (à ne pas oublier) -- vitesse de la liaison série
```

```
routeur(config-if)#no shutdown
```

```
routeur(config-if)#exit
```

# Configuration de routeurs CISCO

---

- Configuration de l'algorithme de routage utilisé :

```
routeur(config)#ip routing
```

-- protocole routé

```
routeur(config)#router rip
```

-- algorithme de routage

```
routeur(config-router)#network 192. 168.1.0
```

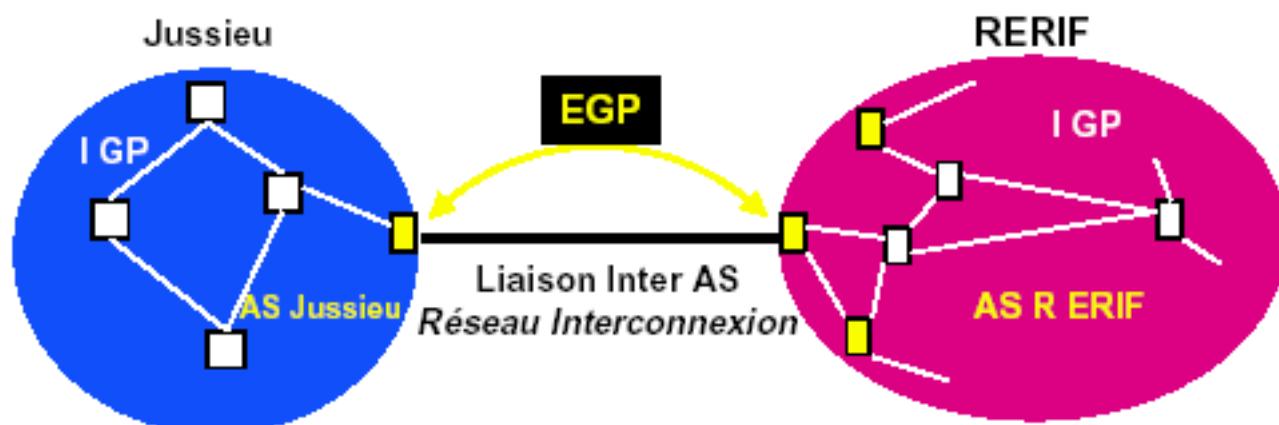
-- réseau directement connecté

```
routeur(config-router)#network 192. 168.2.0
```

-- réseau directement connecté

# Protocoles de routage

- Un système autonome (AS) est un ensemble de réseaux sous la même autorité administrative (autorité de gestion). Au sein d'un système autonome, les routes sont générées par des protocoles de routage intérieurs comme RIP, IGRP, EIGRP, OSPF.



- Routeur Frontière (gateway)
- Routeur interne

# Protocoles de routage

- Les protocoles de routage qui permettent de connecter les systèmes autonomes entre eux sont des protocoles de routage extérieurs comme EGP ou BGP. Dans le contexte de l'interconexión mondiale des réseaux, l'IANA assigne un numéro d'AS (16 bits). Un AS peut éventuellement être découpé en zones (areas) selon le protocole de routage (OSPF).

