



**Université Internationale  
de Casablanca**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

# Routage IP

Dr Mohammed BOUTABIA

# Internet et routage

- Internet est un réseau de réseau
- Comment atteindre une machine sur le réseau?
- Relayer les paquets de réseau à réseau jusqu'à destination
- Les réseaux ont des adresses logiques différentes

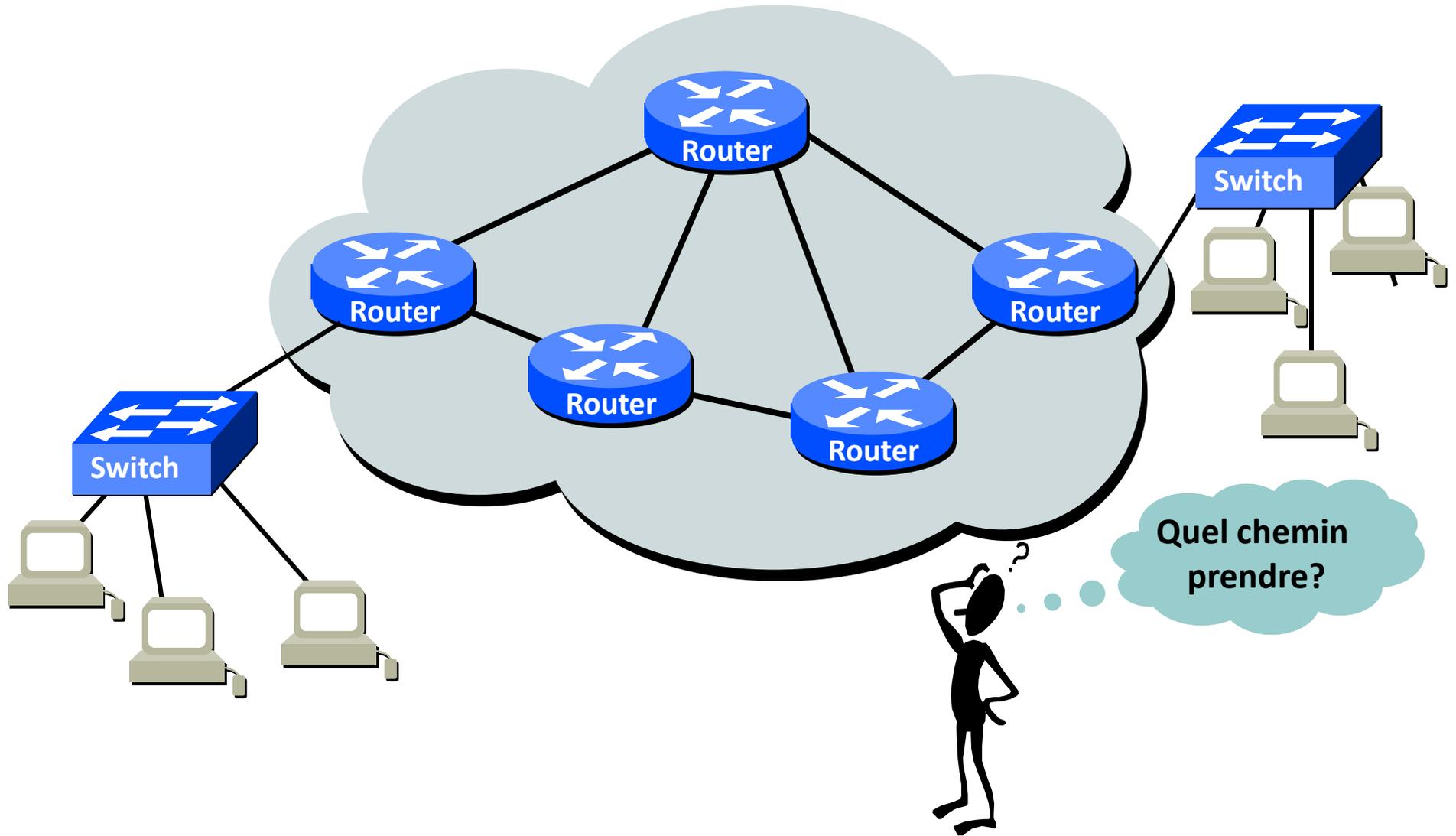
# Livraison des paquets IP

- vers un réseau local
  - Envoie des paquets ARP pour résoudre l'adresse IP et envoie direct du paquet à la destination=> routage direct
- vers un autre réseau:
  - Les paquets présentent une adresse qui n'est pas dans le même réseau (utilisation du masque)
  - Délivre le paquet vers la passerelle par défaut qui va « s'en occuper » => routage indirect

# Le routage IP

- Le routage est une fonction de la couche 3
- Basé sur l'adresse IP (logique) de destination
- L'adressage IP est hiérarchique => une adresse appartient à un réseau déterminé
- Il suffit de connaître la route vers le réseau auquel la machine appartient
- Une fois sur le réseau de destination=> routage direct pour la livraison du paquet

# Quel chemin prendre?



# Déterminer la route

- Trouver un chemin ou le meilleur chemin?
- Les critères de choix d'un chemin
  - Le nombre de sauts
  - Le débits des liaisons
  - Le cout des liaisons
  - L'encombrement des liaisons

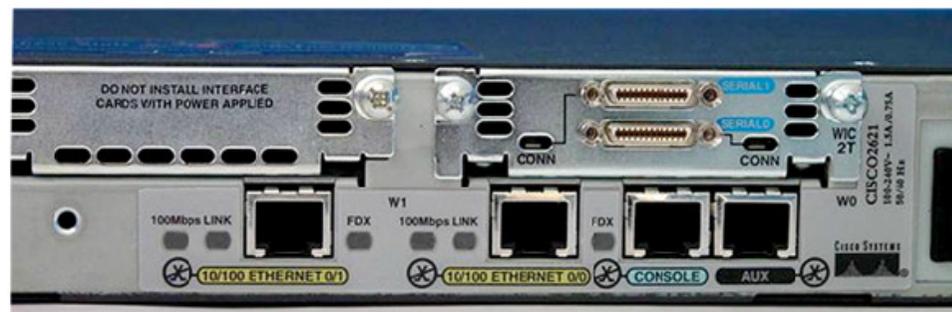
# Les routeurs

- Un routeur est un ordinateur comme les autres
- Les routeurs possèdent de nombreux composants matériels et logiciels que l'on trouve également dans les autres ordinateurs, dont les suivants :
  - Unité centrale (UC)
  - Mémoire vive (RAM)
  - Mémoire morte (ROM)
  - Système d'exploitation
- Symbole:



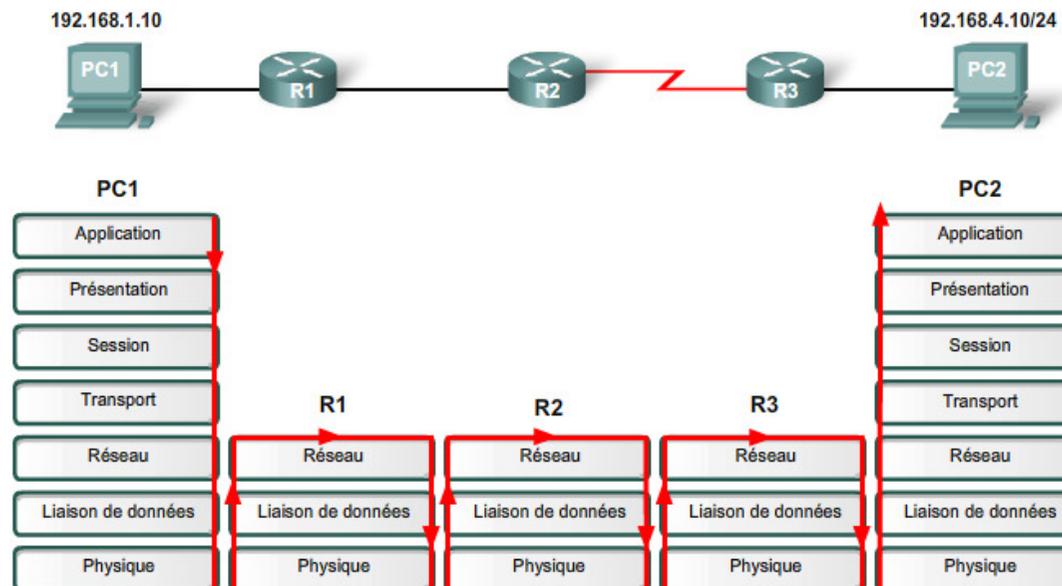
# interfaces

- Les interfaces d'un routeur sont les connecteurs qui ont comme rôle de recevoir et de transférer les paquets
- Ils peuvent être de différentes technologies (couche 2)
- Interface LAN :Ethernet 10/100/1000
- Interface WAN: RNIS, série, relais de trame



# Rôle du routeur

- Le routeur est un équipement de couche 3
- Reçoit le paquet par une interface et lie les informations sur les protocoles jusqu'à la couche 3
- Décide par quel port le paquet doit être envoyé



# Routeur versus Switch

- Un Switch connecte les machines / un routeur connecte les réseaux
- Un Switch dispose de plusieurs port 8, 12, 24 / un routeur dispose de peu de port
- Un Switch dispose d'une table de correspondance / un routeur dispose d'une table de routage
- Un Switch effectue un traitement léger (table de correspondance petite de taille) / le routeur effectue un traitement plus compliqué (table de routage contient plusieurs réseaux)

# Table de routage

- La table de routage est une table qui contient plusieurs entrées qui déterminent le chemin vers les autres réseaux
- Chaque routeur dispose d'une table de routage
- La table de routage contient la liste des autres réseaux et comment les atteindre.
- la table de routage détermine l'interface de sortie pour transférer le paquet

# Structure de la table de routage

- Réseaux de destination: réseau final auquel l'adresse destination du paquet appartient
- prochain saut : le premier routeur vers lequel le paquet sera livré (adresse Mac destination)
- Interface de sortie: c'est l'interface par laquelle le paquet sera envoyé vers le prochain saut
- Métrique: distance vers le réseau de destination (cela dépend des protocoles)

# Configuration du routeur

- Un administrateur réseau doit d'abord commencer par un plan d'adressage
- les sous réseaux doivent être définis pour chaque entité dans l'entreprise ex: un sous réseau par département
- Il faut mettre une politique pour les adresses des interface des routeurs et le différents services: par exemple .1 ou .254

# Configuration du routeur

- Un routeur permet d'interconnecter deux ou plusieurs réseaux
- Chaque interface sur un réseau appartient à ce réseau (adresse du même réseau)

# Création de la table de routage

- Les routeurs stockent les adresses réseau et non pas les adresses de machines => table de routage moins volumineuse + recherche de la route plus rapide
- Les routeurs commencent d'abord par les réseaux vers lesquels ils sont connecté => route direct
- Les réseaux appris par un administrateur ou un protocole de routage sont rajoutés et mis à jour ou supprimés

# exemple

Destination	Subnet mask	Outgoing Interface	Route via
128.10.0.0	255.255.0.0	eth0	directly connected
128.15.0.0	255.255.0.0	eth1	directly connected
129.7.0.0	255.255.0.0	eth1	128.15.1.2

- Directly connected : route directe
- Établir le schéma du réseau à partir de cette table de routage

# Traitement du paquet

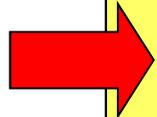
- Le routeur reçoit le paquet par une interface
- Lie les informations de la couche 2 et la couche 3
- Consulte la table de routage
- Trouve l'interface par laquelle il faut envoyer le paquet
- Décrémente le TTL
- Encapsule le paquet dans la trame Ethernet avec adresse MAC source l'interface de sortie du routeur et adresse MAC destination l'adresse MAC du prochain saut

# Parcours de la table de routage

- Le routeur lie l'adresse IP de destination
- Le masque n'est pas fournie dans le paquet
- Comment le routeur peut déterminer le réseau auquel le paquet appartient dans le cas de plusieurs sous réseaux?
- Solution: algorithme de la plus longue correspondance=> recherche du plus spécifique et non pas le plus générale

# Longest Match Algorithm

**Destination 11.1.2.5 = 00001011.00000001.00000010.00000101**



Route #1 11.1.2.0/24 = 00001011.00000001.00000010.00000000

Route #2 11.1.0.0/16 = 00001011.00000001.00000000.00000000

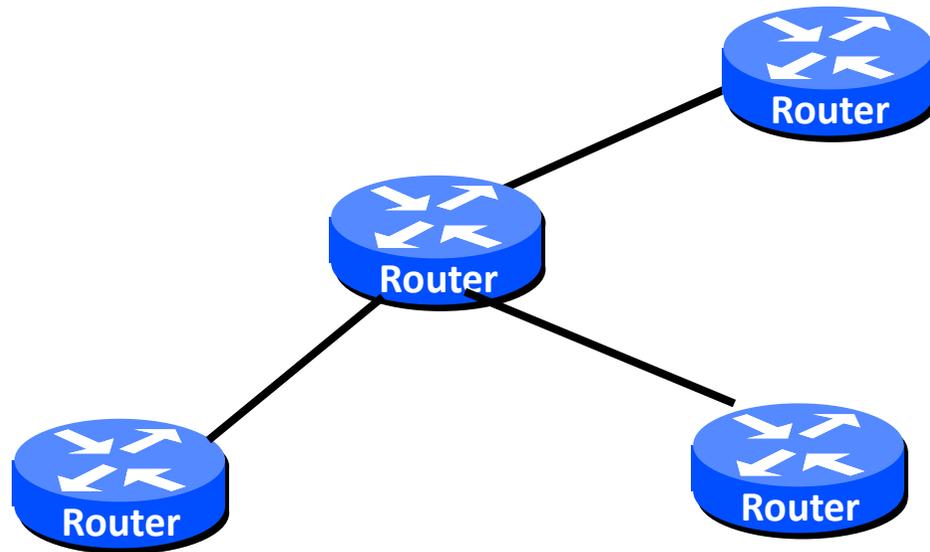
Route #3 11.0.0.0/8 = 00001011.00000000.00000000.00000000

La meilleure correspondance est avec une route ayant le plus long préfixe (le plus spécifique)

# Routage statique

- La configuration manuel des routes sur tous les routeurs
- Difficile à gérer avec un grand réseau
- Plus difficile avec l'évolutivité du réseau => nouveau réseau et en cas de pannes
- Utilisable seulement dans le cas d'un petit réseau

exemple



# Route par défaut

- Une route par défaut (default route ou default gateway) est configuré sur les routeurs d'extrémité ou routeurs d'accès
- Il y a toujours une seule route vers le routeur de l'opérateur peu importe la destination du paquet
- Chez les utilisateurs finaux (particulier + petites entreprises)
- Les machines sont aussi dotées d'une route par défaut (passerelle par défaut)

# Routage dynamique

- Les tables de routage sont remplies et mises à jour dynamiquement
- Les routeurs s'échangent des information concernant les réseaux visibles (il existe une route vers ces réseaux) via des protocoles de routage

# Routage dynamique

- Avantages:
  - la maintenance de la configuration est simplifiée pour l'administrateur lors de l'ajout et de la suppression de réseaux
  - les protocoles réagissent automatiquement aux modifications topologiques
  - la configuration présente moins de risques d'erreurs
  - plus évolutif, l'expansion du réseau ne présente généralement pas de problème.
- Inconvénients:
  - Consommation des ressources du routeur (processus)
  - Consommation de la bande passante par les messages de routage
  - Plus de connaissance des protocoles de routage par l'administrateur

# IGP/EGP

- Un système autonome est un ensemble de routeurs dont l'administration est commune. Exemples: Le réseau interne d'une société et le réseau d'un fournisseur de services Internet.
- Internet repose sur le concept de système autonome
- Deux types de protocoles de routage sont nécessaires :
  - les protocoles IGP (Interior Gateway Protocol) sont utilisés pour le routage interne du système autonome
  - les protocoles EGP (Exterior Gateway Protocol) sont utilisés pour le routage entre systèmes autonomes

# Protocole à vecteur de distance

- Un vecteur de distance signifie que les routes sont annoncées sous la forme de vecteurs de distance et de direction:
  - La distance est définie en termes de métrique, comme le nombre de sauts jusqu'à la destination
  - la direction est le routeur de tronçon suivant ou l'interface de sortie.
- Un routeur utilisant un protocole de routage à vecteur de distance ne connaît pas le chemin complet vers un réseau de destination il connaît juste le prochain saut et la distance vers ce réseau

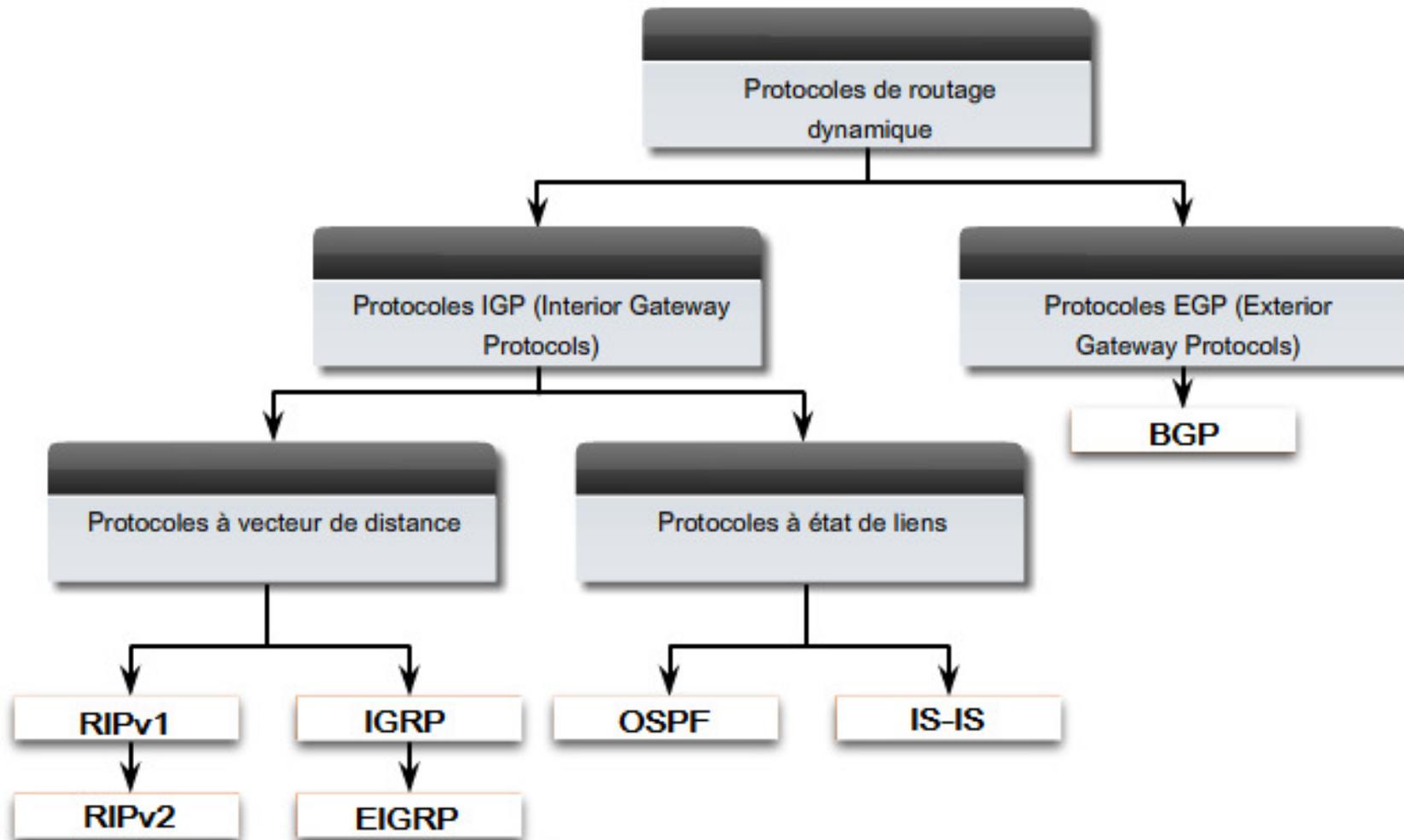
# Protocole à état de lien (link state)

- Les routeurs partagent avec tous les routeurs du réseau les informations sur leurs voisins directs avec les coûts
- Chaque routeur du réseau dispose de la topologie totale du réseau
- Les routeurs appliquent un algorithme pour déterminer le chemin le plus court

# DV versus LS

- DV: le routeur partage avec les voisins sa table de routage ou sa vision du monde mais ne dispose pas de la topologie du réseau
- LS: le routeur partage les informations sur ses voisins (état du lien) avec tout le monde, le routeur dispose de la topologie de tout le réseau

# Classification des protocoles de routage dynamique



# Le protocole RIP

- RIP: Routing information protocole
- Existe en deux versions RIPv1 et RIP v2
- Protocole à base de vecteur de distance
- L'algorithme exécuté pour le choix du meilleure chemin est l'algorithme de bellman ford

# Idée de base

- Le nœud informe ces voisins de sa meilleure idée de la distance à toutes les autres destinations du réseau
- Le nœud reçoit ces vecteurs de distance de ses voisins
- Il met à jour sa vision sur le meilleur chemin vers toutes ces destinations et le prochain saut vers ces destinations

# caractéristiques du protocole RIP

- Protocole de routage à vecteur de distance.
- La seule métrique utilisée pour le choix du chemin d'accès est le nombre de sauts.
- Si métrique  $> 15$  le réseau est injoignable (16=infini)
- Les messages de mises à jour sont diffusés toutes les 30 secondes aux routeurs voisins

# Fonctionnement de RIP

- Les informations de routage sont encapsulées dans un segment UDP, avec les numéros de ports source et de destination 520.
- L'en-tête IP et les en-têtes de liaison de données ajoutent des adresses de destination de diffusion avant l'envoi du message à toutes les interfaces configurées RIP

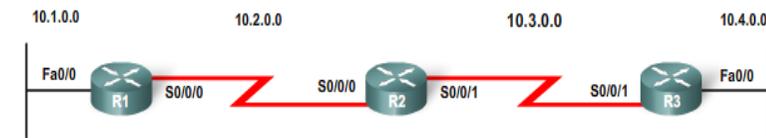
# Les versions de RIP

- RIPv1 tient compte des classes d'adresse => classful protocol
- RIPv2 ne tient pas compte des classes (prend en compte la subdivision en sous réseaux d'une classe données) => classless routing protocol

# Problèmes de routage: Boucle de routage

- Lorsqu'un paquet est routé d'un routeur à l'autre sans jamais atteindre sa destination finale
- Une boucle de routage peut se produire lorsque deux routeurs ou plus possèdent des informations de routage qui indiquent, à tort, qu'il existe un chemin valide vers une destination inaccessible.
- Les boucles de routage doivent être éliminées du réseau pour assurer un fonctionnement normal  
=> boucle = consommation de la bande passante

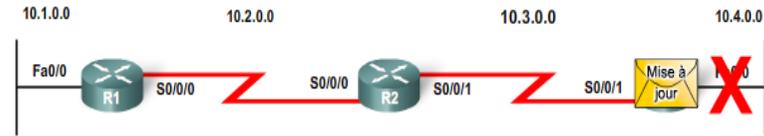
# Boucle de routage



Réseau	Interface	Saut
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/0	1
10.4.0.0	S0/0/0	2

Réseau	Interface	Saut
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.1.0.0	S0/0/1	1
10.4.0.0	S0/0/1	1

Réseau	Interface	Saut
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.4.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/1	1
10.1.0.0	S0/0/1	2



Réseau	Interface	Saut
10.1.0.0	Fa0/0	0
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/0	1
10.4.0.0	S0/0/0	2

Réseau	Interface	Saut
10.2.0.0	S0/0/0	0
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.1.0.0	S0/0/1	1
10.4.0.0	S0/0/1	1

Réseau	Interface	Saut
10.3.0.0	S0/0/1	0
10.4.0.0	S0/0/1	2
10.2.0.0	S0/0/1	1
10.1.0.0	S0/0/1	2

- Un paquet envoyé à 10.4.0.1 tourne en boucle entre R2 et R3 continuellement

# Problème de routage: Comptage à l'infini

- Le comptage à l'infini est une situation qui se produit lorsque des mises à jour de routage inexactes augmentent la valeur de la métrique jusqu'à l'infini pour un réseau qui n'est plus accessible.
- Lorsque la métrique atteint 16 la destination est considéré comme injoignable
- convergence très lente

# Solution: Découpage d'horizon

- la règle de découpage d'horizon stipule qu'un routeur ne doit pas annoncer de réseau par le biais de l'interface dont est issue la mise à jour
- Envoyer les routes vers les autres routeurs sauf le routeurs qui a annoncé la route au départ

# Empoisonnement de route

- La métrique d'une route vers un réseau en panne est remise à la valeur maximale 16
- Une mise à jour est envoyée vers les routeurs voisins qui installe cette route dans leurs tables de routage
- Le réseau en panne est considéré comme injoignable

# Protocoles à état de liens

- Chaque routeur prend connaissance des réseaux qui lui sont connectés directement => détection de l'état up des interfaces
- Détection des voisins sur les réseaux connectés directement=> envoi de paquets Hello sur les réseaux connectés directement.
- Chaque routeur construit un paquet à état de liens LSP (Link-State Packet) contenant l'état de chacun des liens connectés directement. Il contient les informations pertinentes sur chaque voisin (ID, le type de lien et la bande passante).

# Protocoles à état de liens

- Chaque routeur diffuse le LSP à tous ses voisins, qui stockent l'ensemble des paquets LSP reçus dans une base de données. Les voisins diffusent ensuite le LSP à leurs voisins, jusqu'à ce que tous les routeurs de la zone aient reçu le LSP. Chaque routeur stocke une copie de chaque LSP reçu de ses voisins dans une base de données locale
- Chaque routeur utilise la base de données pour construire une carte complète de la topologie du réseau et calcule le meilleur chemin vers chaque réseau de destination.

# L'état du lien

- Les informations relatives à l'état des liens :
  - l'adresse IP et le masque de sous-réseau de l'interface ;
  - le type de réseau, par exemple Ethernet (diffusion) ou la liaison série point à point ;
  - le coût du lien ;
  - les routeurs voisins sur ce lien.

# Le protocole OSPF

- Open shortest path first est un protocole à état de lien
- Il utilise l'algorithme de dijkstra pour trouver le plus court chemin
- Ospf est un protocole sans classe

# Métrique OSPF

- La métrique en ospf tient compte de la bande passante des liens
- Métrique =  $10^8$ /le débit du lien
- Plus la bande passante est importante plus le cout est faible
- Le chemin le plus court est le chemin qui présente une somme de couts la moins élevée

# Le protocole OSPF

- OSPF n'utilise pas de protocole de couche transport => les paquets OSPF sont envoyés directement sur IP
- les paquets Hello OSPF sont envoyés toutes les 10 secondes
- Si le paquet Hello n'est pas reçu pendant un intervalle Dead est la période pendant laquelle le routeur met fin à une contiguïté avec son voisin.
- l'intervalle Dead est quatre fois plus long que l'intervalle Hello

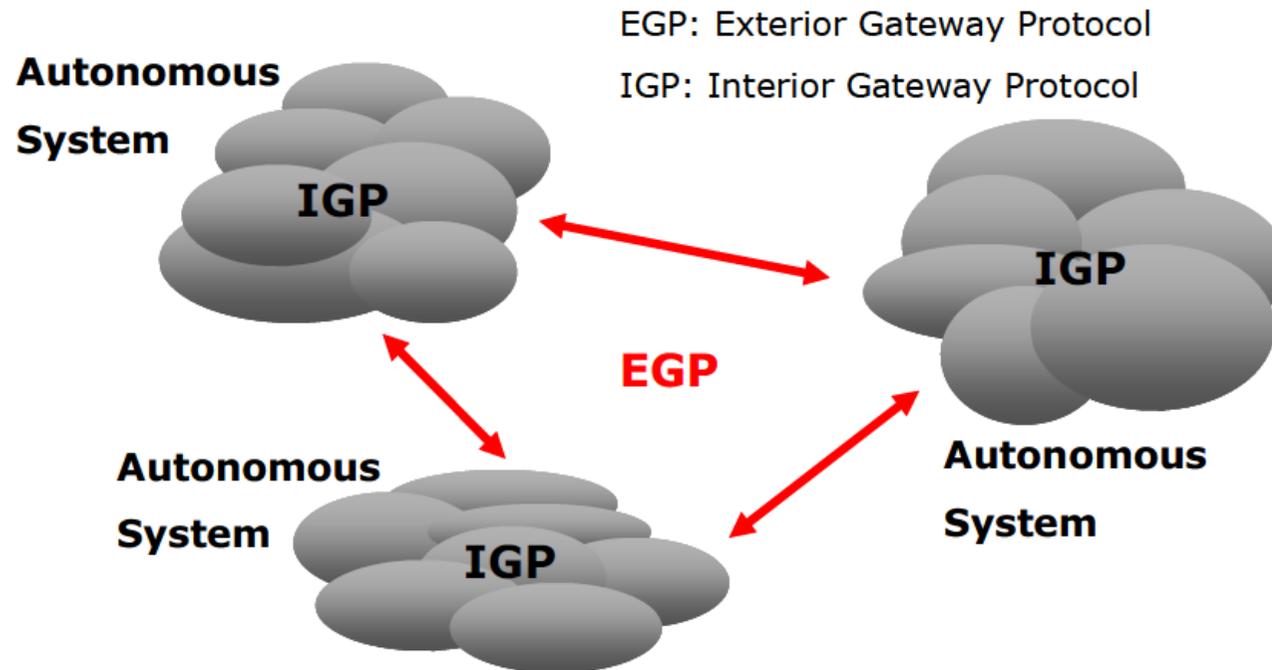
# Distance administrative

- la distance administrative correspond à la fiabilité (ou préférence) de la route

Source de la route	Distance administrative
Connectée	0
Statique	1
Résumé de routes EIGRP	5
BGP externe	20
EIGRP interne	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EIGRP externe	170
BGP interne	200

# Protocole BGP

- Border Gateway Protocol est un EGP
- Les systèmes autonomes sont identifiés par des numéros assignés par l'IANA de 1 à 65535
- Une plage privée de 64512 à 65535 sont utilisé en interne par les ISP



# Fonctionnement de BGP

- BGP échange des informations d'accessibilité de réseaux (**NLRI** :Network Layer Reachability Information) entre AS
- NLRI est le couple (longueur du préfixe, adresse réseau)
- ces informations permettent de déterminer les routes vers les réseaux distants.
- Chaque routeur BGP stocke ces informations dans des **RIBs (Routing Information Base)**

# Les attributs BGP

- Les NLRI ne sont pas suffisant pour déterminer les routes
- Afin de pouvoir mettre en place une politique de routage, BGP se base sur un ensemble d'attribut
  - Origin:IGP, EGP ou incomplete
  - Next hop: prochain routeur vers la destination
  - *AS-Path : liste des AS traverses pour atteindre le reseau de destination*
  - *Local preference: le degré de préférence d'une route par rapport à une autre*
  - *Multi-exit-disc: métrique annoncé par l'AS d'origine*
  - *Et bien d'autres métrique*

# Choix d'une route

- BGP est un protocole à vecteur de chemin (prend en compte tout le chemin vers la destination AS-Path)
- Construit un graphe des AS sans boucle et met dans la table de routage seulement les meilleurs routes selon les attributs
- Il annonce aux voisins les meilleurs routes

# Échanges BGP

- Les échanges entre routeurs BGP sont transportés entre voisins BGP par une connexion TCP utilisant le port 179.
- A la création de la connexion, les routeurs échangent toutes les informations de routage en leur possession, puis, seules les informations de mise à jour seront échangées (disparitions et apparitions de routes).
- Quand l'échange d'informations de routage est terminé, les routeurs continueront à faire vivre la connexion par l'échange de petits messages de vie (19 octets) (*Keepalive*) par défaut toutes les 60 secondes.

# Messages BGP

- Open : Pour établir la connexion, en incluant le numéro de version, le numéro d'AS les timers et l'identifiant du routeur.
- Keepalive : Généralement émis tous les tiers de *hold time* , *durée d'attente* maximum.
- Notification : Remontée d'erreurs.
- Update : émission des NLRI, attributs et routes supprimées... quand nécessaire.