

Chapitre 6:

Routage dynamique

Chapitre 6: Routage Dynamique

Plan

1. Introduction
2. Classification des protocoles de routage
3. Protocoles à vecteurs de distance
4. Protocoles à états des liens



Chapitre 6: Routage dynamique

1.Introduction

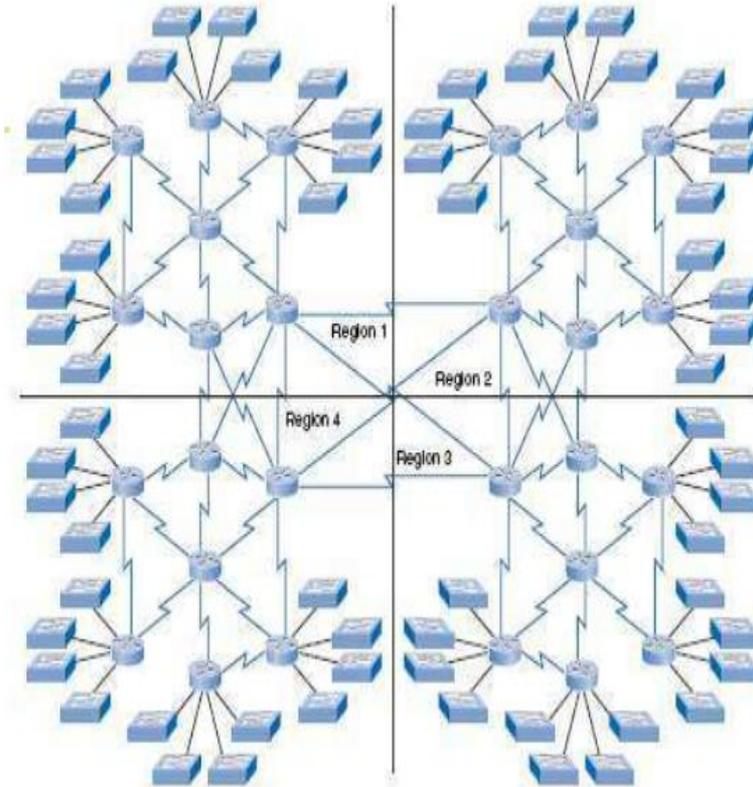
- Imaginez-vous gérer les liens statiques dans un réseau pareil
- **Objectif du routage dynamique**

Les protocoles de routage spécifient une méthode pour envoyer et recevoir **dynamiquement** des mises à jour de routage entre les routeurs.

il résout essentiellement trois problèmes :

- il découvre les autres routeurs ,
- il construit les tables de routage,
- il maintient les tables de routage à jour.

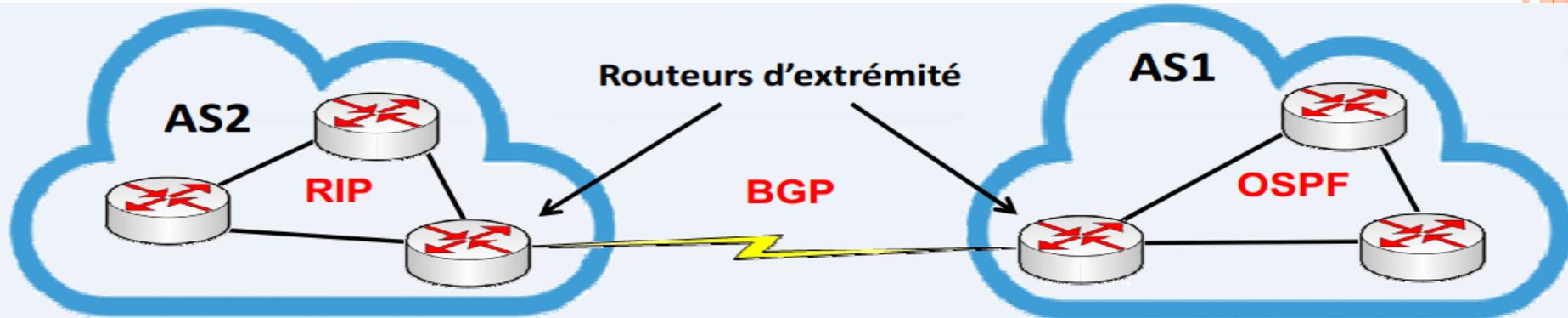
Le domaine global de routage (**Internet**) a été subdivisé en domaines de routage autonomes (**AS, Autonomous System**). Cette division conduit à distinguer deux familles de protocoles de routage (**IGP et EGP**)



Chapitre 6: Routage dynamique

2. Classification des protocoles de routage

- Routage intérieur (Interior Gateway Protocol: IGP)
 - Pour la gestion des routeurs à l'intérieur d'un inter-réseau ou système autonome
- Routage extérieur (Exterior Gateway Protocol: EGP)
 - Pour l'échange de données avec les autres systèmes autonomes
- Un système autonome (*autonomous system* – AS), aussi connu sous le nom de **domaine de routage** – est l'ensemble de routeurs sous une administration commune



- IGP : RIP, EIGRP, OSPF
- EGP : BGP

Chapitre 6: Routage dynamique

2. Classification des protocoles de routage

➤ Classe de protocoles de routage intérieur

1. A vecteur de distance (distance vector routing)

- **RIP** = Routing Information Protocol
- **IRGP** = Interior Routing Gateway Protocol
- **EIRGP** = Extended IRGP (protocole constructeur Cisco)

2. A état de lien (link state routing)

- **OSPF** = Open Shortest Path First
- **IS-to-IS** = Intermediate System to Intermediate System

➤ Classe de protocoles de routage extérieur

- **EGP** = Exterior Gateway Protocol
- **BGP** = Border Gateway Protocol

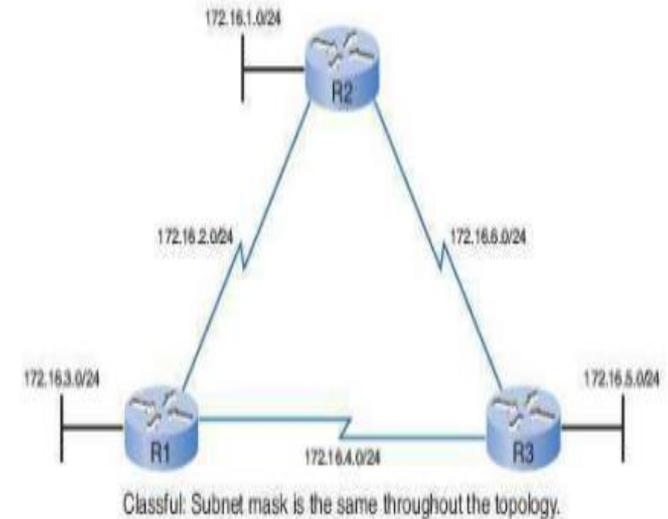


Chapitre 6: Routage dynamique

2. Classification des protocoles de routage

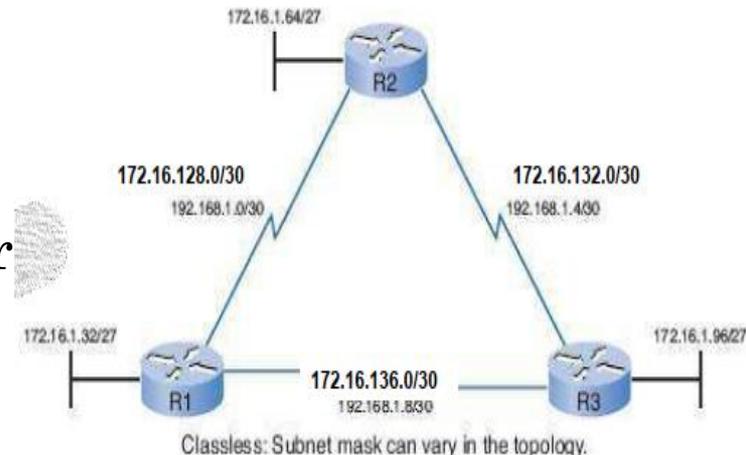
➤ Protocoles Classful

- N'envoient pas le masque lors des mises à jour de l'information de routage
- Le masque réseau est obtenu à partir de la classe de l'adresse
- Tout sous réseau à l'intérieur d'un réseau classful doit porter le même masque
- C'est le cas des protocoles plus anciens comme RIP (v1)



➤ Protocoles Classless

- Incluent le masque dans les mises à jour
- La plupart des réseaux actuels requièrent des protocoles Classless



Chapitre 6: Routage dynamique

2. Classification des protocoles de routage

➤ Vitesse de convergence

Le temps de convergence est le temps pour que les routeurs :

- ✓ Partagent l'information
- ✓ Calculent les meilleures routes
- ✓ Mettent à jour leurs tables de routage

• **Lent** : RIP

• **Rapide** : EIGRP, OSPF, et IS-IS

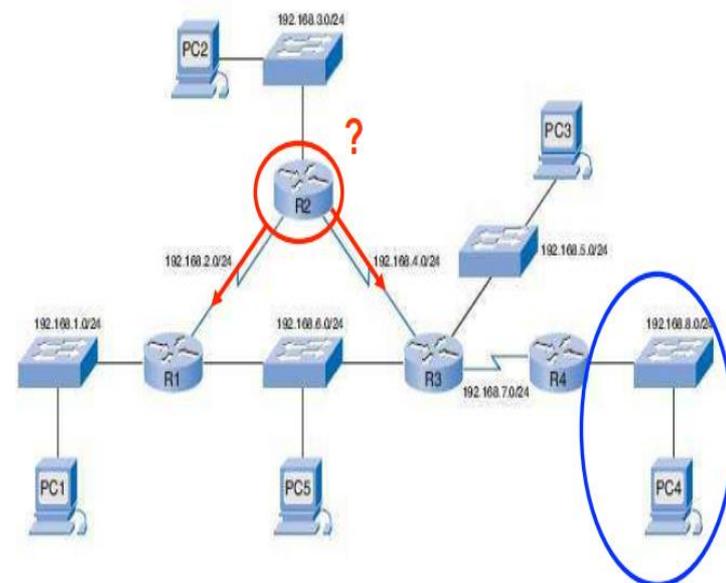
➤ Les métriques

• Déterminer quelle route est la meilleure

• Attribuer des coûts pour atteindre les réseaux distants

• Les protocoles apprennent plusieurs routes vers une destination

• Utilisées pour déterminer le chemin préféré



Chapitre 6: Routage dynamique

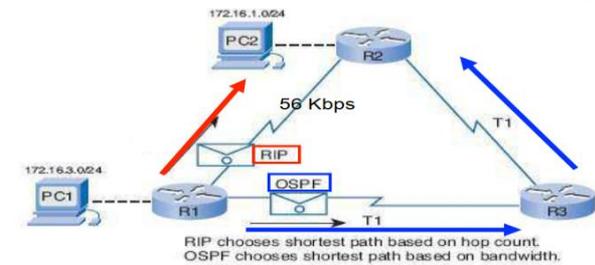
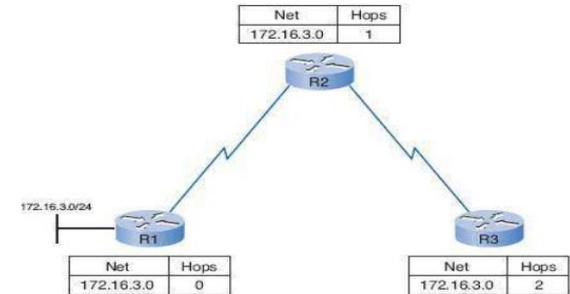
2. Classification des protocoles de routage

Les métriques

- **RIP** : Nombre de sauts (Hop count)
- **EIGRP**: Débit, latence, fiabilité et charge
- **OSPF** (version Cisco) : Débit

Exemple :

- ✓ **R1** veut atteindre le réseau **172.16.1.0/24**
- ✓ **RIP**: Le plus petit nombre de sauts se fait via **R2**
- ✓ **OSPF**: le chemin avec le débit cumulé plus grand passe par **R3**, Ceci permet l'envoi le plus rapide



La "métrique" dans la table de routage

Les routeurs tournent RIP

R2 a une route vers 192.168.8.0/24 avec coût de **2 sauts** (figure slide précédent)

Le **2** indique le coût de la métrique
120 est la Distance Administrative

```
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, Serial0/0/0
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, 00:00:26, Serial0/0/1
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
R   192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
R   192.168.8.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:26, Serial0/0/1
```

Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

- Le réseau est simple et plat et ne requiert pas une structuration hiérarchique
- Basé sur l'échange d'informations (tables de routage) entre routeurs adjacents (connectés directement),
- Utilisation de l'algorithme **Bellman-Ford** → meilleur chemin
- **Les métriques les plus utilisées** : nombre de sauts (hops),
- La **direction** indique simplement :
 - L'adresse du prochain routeur ou
 - L'interface de sortie.

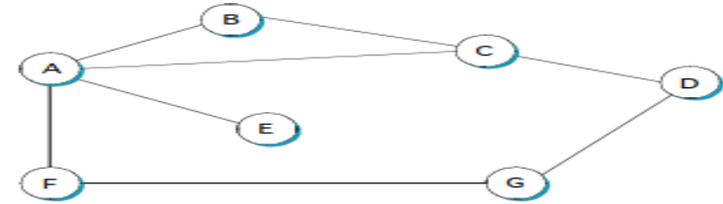


Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

Exemple (Algorithme Bellman-Ford) :

- On considère une métrique "saut"
- Avec l'information de départ (Matrice de distance Initiale), la table de routage de A est (table 1).



	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	∞	1	1	∞
B	1	0	1	∞	∞	∞	∞
C	1	1	0	1	∞	∞	∞
D	∞	∞	1	0	∞	∞	1
E	1	∞	∞	∞	0	∞	∞
F	1	∞	∞	∞	∞	0	1
G	∞	∞	∞	1	∞	1	0

Matrice initiale

	Coût	Next Hop
B	1	B
C	1	C
D	∞	-
E	1	E
F	1	F
G	∞	-

table 1

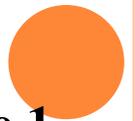
	Coût	Next Hop
B	1	B
C	1	C
D	2	C
E	1	E
F	1	F
G	2	F

table 2

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	1	1	2
B	1	0	1	2	2	2	3
C	1	1	0	1	2	2	2
D	2	2	1	0	3	2	1
E	1	2	2	3	0	2	3
F	1	2	2	2	2	0	1
G	2	3	2	1	3	1	0

Matrice finale

- Evolution de la table de routage (table 2) :
- ✓ Chaque nœud envoie à ses voisins le contenu de sa table de routage
- ✓ Les nouvelles entrées sont mises à jour : F → A : je connais G à une distance 1, C → A : je connais D à une distance 1



Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

❑ Problèmes en cas de panne d'un lien:

➤ Les boucles de routage : bouclage infini

des paquets dans le réseau.

■ Exemple : tous les paquets à destination de R3 oscillent entre R1 et R2

➤ L'algorithme ne converge plus :

■ R1 apprend de R2 que le cout pour rejoindre R3

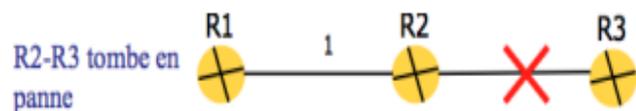
En passant par R2 est de 3

il met sa table à jour (R3, R2,4) ; de même, R2 va apprendre de R1 que le cout pour rejoindre R3 est de 4...

➤ Solutions:

■ interdire à un nœud de signaler une destination qu'il connaît au routeur par lequel il l'a apprise (split horizon)

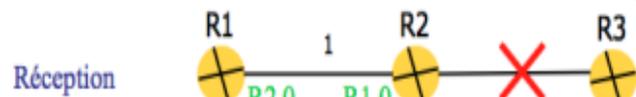
■ limiter la valeur infinie du cout à une petite valeur (16 dans RIP) → convergence dès que l'infini est atteint



Mise à jour

	dest	next	coût	dest	next	coût
	R1	R1	0	R2	R2	0
	R2	R2	1	R1	R1	1
	R3	R2	2	R3	R3	+inf

R2 n'envoie plus la route vers R3 car il ne sait plus le joindre !



Mise à jour

	dest	next	coût	dest	next	coût
	R1	R1	0	R2	R2	0
	R2	R2	1	R1	R1	1
	R3	R2	2	R3	R1	3

R1 envoie la sienne, puis R2 envoie la sienne, ... -> comptage à l'infini

Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.1. Routing Information Protocol (RIP)

- **RIPv1, RIPv2, RIPng (adapté à IPV6)**
- **Usage pour les réseaux de diamètre < 15 routeurs, à partir de 16 routeurs le paquet est perdu**
- **Métrie: nombre de sauts (hops) = nombre de routeurs traversés**
- **Chaque entrée dans la table de routage a une distance administrative de 120.**
- **Un réseau directement connecté a une métrie de 0**
- **Temps de convergence de quelques minutes acceptable**
- **Minutiers associés:**
 - ✓ **30s routing update (mise à jour de la table de routage)**
 - ✓ **180s route time out (sans nouvelle de cette route, le routeur marque le routeur de destination comme injoignable)**
 - ✓ **240 s route flush (nettoyage de la table: routes invalides effacées)**
 - ✓ **RIP ne garantit pas que le chemin sélectionné soit le plus rapide.**
 - **un chemin court mais embouteillé peut être un mauvais choix par rapport à un chemin plus long mais totalement dégagé.**

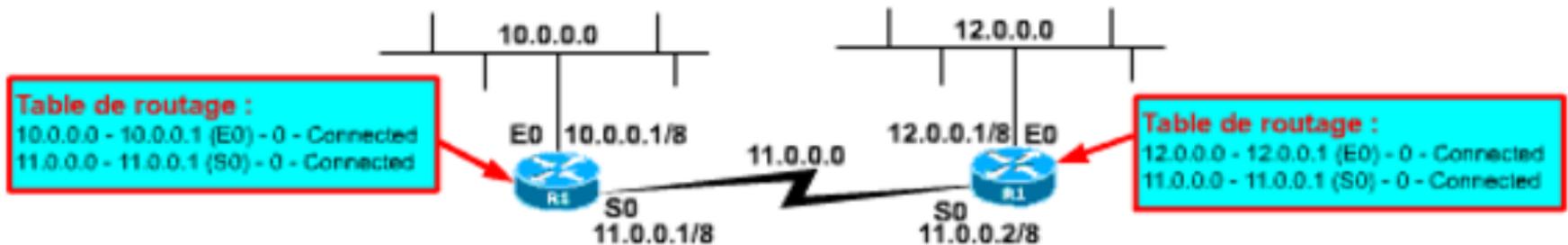


Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.1. Routing Information Protocol (RIP)

- Chaque routeur commence par émettre des updates RIP sur toutes ses interfaces en broadcast IP. Ces updates contiennent la totalité de leur table de routage, sauf le réseau sur lequel est émis l'update. (inutile d'indiquer le réseau 10.0.0.0 aux routeurs qui sont sur ce réseau)
- Pour chaque réseau annoncé, le routeur associe, dans l'update, la valeur de coût qu'il a dans sa table de routage.
- Le routeur qui traite l'update examine chaque entrée dans sa table de routage
- Si l'entrée n'existe pas dans sa TR, il incrémente de 1 le coût puis il inscrit dans sa table :



Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.1. Routing Information Protocol (RIP)

- **l'adresse de destination** indiquée dans l'entrée de l'update
 - **le coût associé** qu'il vient d'incrémenter
 - **l'adresse IP de l'émetteur** de l'update
 - **le délai écoulé depuis la réception de cet update** (il enclenche un timer appelé le **hold-time timer**).
 - **le nom du protocole de routage par lequel il a appris cette route (RIP).**
 - **l'interface de sortie du routeur** par laquelle on peut atteindre le next-hop
 - **priorité du protocole de routage.** Si une même destination est apprise par deux protocoles de routage différents, ce paramètre permet de préférer la route indiquée par l'un plutôt que par l'autre.
- **Si l'entrée existe déjà** avec une adresse de next-hop différente de l'adresse de l'émetteur, **le routeur compare les coûts** (après avoir incrémenté de 1 le coût indiqué dans l'update) :
- **Si le coût de l'update est inférieur** il remplace l'entrée dans la table de routage par celle de l'update.
 - **Sinon** il ignore l'update.

Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.1. Routing Information Protocol (RIP)

- **RIPv2 apporte les modifications suivantes à RIPv1 :**
 - ❑ **Le support du routage classless.**
 - ❑ **La diffusion du masque réseau dans les mises à jour de routage.**
 - ❑ **Le support de V.L.S.M.**
 - ❑ **La diffusion des mises à jour de routage s'effectue par multicast. (Avec RIPv1 les mises à jour s'effectuent en broadcast)**

- **L'utilisation d'indicateurs de route externe (route tag) afin de pouvoir différencier les routes apprises par d'autres protocoles de routage et redistribuées dans RIP**



Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.1. Routing Information Protocol (RIP)

➤ Avantages

- Très facile à mettre en œuvre pour les petites infrastructures
- S'adapte automatiquement en cas de panne ou d'ajout de routeur

➤ Inconvénients

- Routes limitées à 16 sauts pour résoudre les problèmes de convergence (apparition de boucles)
- Métrique ne tenant pas compte des performances des liaisons
- Fortement consommateur de bande passante (la totalité des tables de routage sont transmises)
- Pas de possibilité de masquer les sous-réseaux (un seul masque possible sur tout le réseau - limitation supprimée dans RIP-version 2)
- Problèmes de convergence non résolus (malgré les algorithmes de l'horizon coupé et du poison inverse)



Chapitre 6: Routage dynamique

3. Protocoles à vecteurs de distance

3.2. Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

➤ **Métrique:** Paramétrable en fonction :

- des délais de transmission offerts par les liaisons,
- des bandes passantes, taux d'occupation et fiabilité des liaisons

➤ **Avantages**

- Capacité à gérer des inter-réseaux de tailles quelconques
- Capacité à gérer plusieurs routes en parallèle
- Capacité à prendre en compte plusieurs masques de sous-réseaux

➤ **Inconvénients**

- Saturation des lignes de secours en cas d'incidents
- Met en œuvre des algorithmes brevetés, ce qui en fait une solution constructeur (Cisco)



Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

- Problème du routage à vecteur de distance : Attendre le voisin pour avoir l'information, ce qui peut être long.
- Un protocole à état de liens (*Link-state*) peut créer une “vue complète” ou topologie, du réseau → Découverte par chaque routeur de la topologie complète du réseau
- Les protocoles Link-state sont associés à l'algorithme Shortest Path First (SPF)
- Les protocoles Link-state sont indiqués pour les situations où :
 - La structuration du réseau est hiérarchique (grands réseaux)
 - L'administrateur a une bonne connaissance du protocole link-state installé
 - Une convergence rapide est cruciale



Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

- OSPFv1, OSPFv2, OSPFv3 (adapté IPv6)
- Utilisé pour les grands réseaux
- Résoudre les problèmes du RIP : gérer des domaines de diamètre > 16
- Amélioration du temps de convergence
- Utilise un seul paramètre comme métrique, à savoir le **coût de l'interface**
- Utilise les adresses de (multicast) **224.0.0.5** et **224.0.0.6**
- Segmentation du domaine en aires (zones)

- Mais OSPF est plus complexe (configuration moins simple que le RIP)
- Les routeurs exécutant OSPF doivent établir des **relations de voisinage** avant d'échanger des routes.
 - Les voisins n'échangent pas de tables de routage. Au lieu de cela, ils échangent des informations sur la topologie du réseau.
 - Les voisins OSPF sont dynamiquement découverts en envoyant des paquets **Hello** sur chaque interface

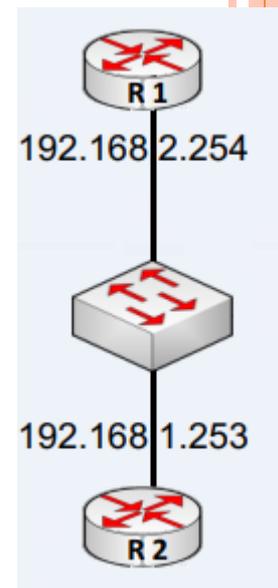
Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

- Les champs dans les paquets Hello qui **doivent être identiques** sur les deux routeurs afin que les routeurs deviennent voisins, sont :
 - sous-réseau (subnet)
 - id de zone (area ID)
 - minuteurs d'intervalle morts (dead-interval)
 - minuteurs d'intervalle hello
 - Authentification
- La réception d'un paquet OSPF hello sur une interface confirme pour un routeur qu'un autre routeur OSPF existe sur cette liaison.

```
Open Shortest Path First
  OSPF Header
    OSPF Version: 2
    Message Type: Hello Packet (1)
    Packet Length: 48
    Source OSPF Router: 192.168.2.254 (192.168.2.254)
    Area ID: 0.0.0.0 (Backbone)
    Packet Checksum: 0x664d [correct]
    Auth Type: Null
    Auth Data (none)
  OSPF Hello Packet
    Network Mask: 255.255.255.0
    Hello Interval: 10 seconds
    Options: 0x12 (L, E)
    Router Priority: 1
    Router Dead Interval: 40 seconds
    Designated Router: 0.0.0.0
    Backup Designated Router: 0.0.0.0
    Active Neighbor: 192.168.1.254
  OSPF LLS Data Block
```



Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

- Chaque routeur OSPF a un **identifiant**
 - ❑ Le ID OSPF doit être unique dans une topologie OSPF.
 - ❑ Un identifiant de routeur est déterminé en utilisant l'un des éléments suivants, par priorité:
 - ❑ Manuellement, en utilisant la commande *router-id* sous le processus OSPF (une adresse IPv4)
- OSPF utilise le concept de **zones (area)**.
 - ❑ Une zone est un **regroupement logique** de réseaux et de routeurs contigus.
 - ❑ Tous les routeurs dans la même zone ont le **même ID de zone**, et aussi la même table de topologie, mais ils ne connaissent pas les routeurs dans les autres zones.
 - ❑ Le principal avantage est que la taille de la topologie et la table de routage sont **réduites**, qu'il faut **moins de temps** pour exécuter l'OSPF et que les mises à jour sont **réduites**.

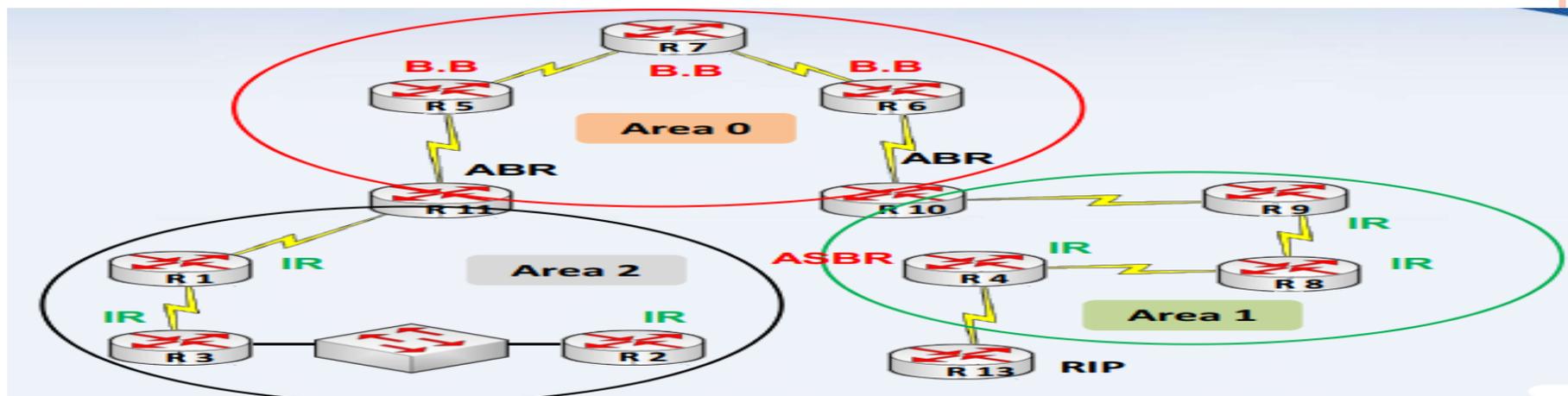


Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

- **BackBone (B.B)** : Chaque zone du réseau OSPF doit se connecter à la **zone de backbone (area 0)**.
- **Area Border Router (A.B.R)** : Un routeur qui a des interfaces dans plus d'une zone (zone 0 et zone 1, par exemple). Son rôle consiste à annoncer **des résumé** de routes aux zones voisines
- **Internal Router (I.R)** : Les routeur qui partage le **même ID de zone**, et qui ne sont pas des ABR
- **Autonomous System Boundary Router (A.S.B.R)** : Un routeur qui connecte un réseau OSPF à d'autres domaines de routage (ex:réseau RIP)



Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

□ Algorithme OSPF :

- Chaque routeur OSPF maintient une base de données d'état de liaison contenant les LSA (*Link-State Advertisement*) reçues de tous les autres routeurs.
- Lorsqu'un routeur a reçu tous les LSA et a construit sa base de données locale, OSPF utilise l'algorithme du chemin le plus court pour créer un arbre SPF. L'algorithme a été conçu par E. W. Dijkstra (1930-2002)
- le meilleur chemin est celui qui a le coût le moins "cher", soit le plus faible.
- Cet algorithme accumule les coûts le long de chaque trajet, de la source à la destination....
- L'arbre SPF est ensuite utilisé pour remplir la table de routage IP, avec les meilleurs chemins vers chaque réseau.
- Chaque routeur A construit son propre LSP (Link State Packet) sous la forme (A, B, c), → le lien du nœud A vers le nœud B a un coût de c ;
- Chaque nœud a un nom et possède une base de données complète de tous les liens et a donc ainsi une connaissance complète de la topologie que...

Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

□ Algorithme OSPF :

- La valeur par défaut du coût dépend de la valeur de la bande passante d'un lien. En général, plus la bande passante diminue plus le coût est élevé.
- La formule de calcul du coût d'un lien est :
Soit pour un lien 100 Mbps : Le coût = 1
- Sans autre configuration OSPF considère que tout lien égal ou supérieur à 100 Mbps est représenté avec le meilleur coût de 1.

$$\text{Coût} = \frac{10^8}{\text{Bande passante (Bit / s)}}$$

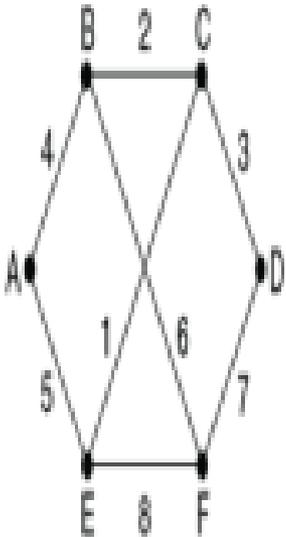
Support	Coût
64 Kb/s	1562
E1 (ligne série 2048kbps)	48
Ethernet (10 Mb/s)	10
Fast Ethernet 100Mbps	1
1 Gb/s	1

Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

- Dès que le LSP est créé, le routeur le diffuse vers tous ses voisins qui stockent l'information et ensuite l'achemine jusqu'à ce que tous les routeurs aient la même information.
- Une fois que tous les routeurs ont reçu tous les LSP, chaque nœud construit une table où figure pour chaque lien son coût (matrice de coûts)



A	B	C	D	E	F
Séq.	Séq.	Séq.	Séq.	Séq.	Séq.
Âge	Âge	Âge	Âge	Âge	Âge
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

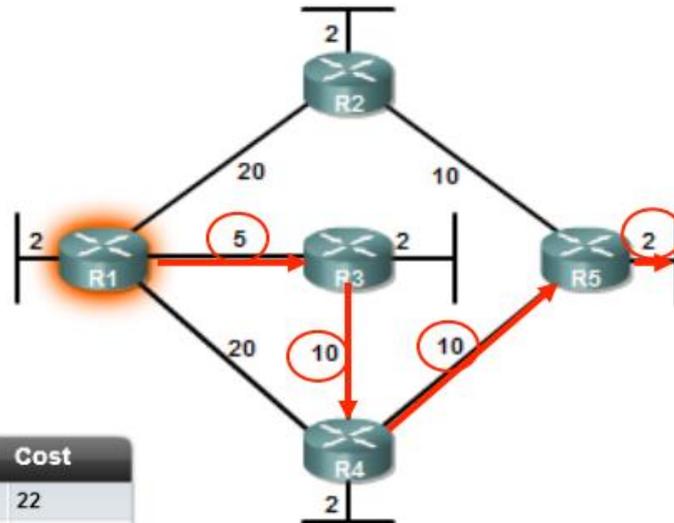
	A	B	C	D	E	F
A	0	4	∞	∞	5	∞
B	4	0	2	∞	∞	6
C	∞	2	0	3	1	∞
D	∞	∞	3	0	∞	7
E	5	∞	1	∞	0	8
F	∞	6	∞	7	8	0

Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.1. Protocole OSPF (Open Shortest First Protocol)

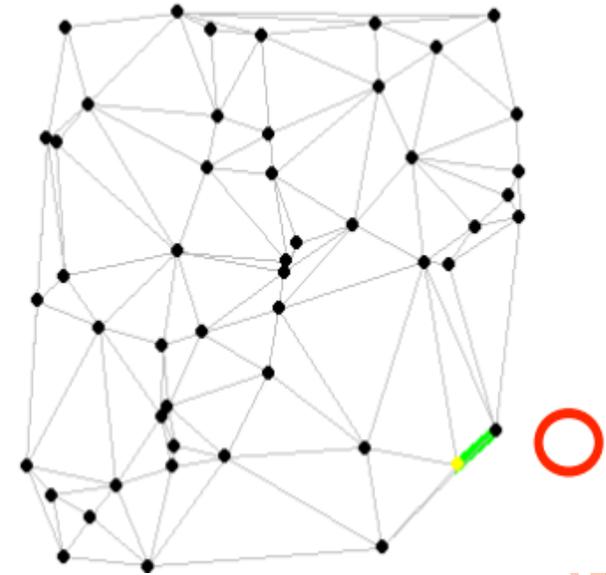
Le chemin le plus court n'est pas nécessairement le chemin avec moins de sauts



SPF pour R1

Destination	Shortest Path	Cost
R2 LAN	R1 to R2	22
R3 LAN	R1 to R3	7
R4 LAN	R1 to R3 to R4	17
R5 LAN	R1 to R3 to R4 to R5	27

Dijkstra's algorithm



Chapitre 6: Routage dynamique

4. Protocoles à états des liens

4.2. Choix d'un type de protocole

- Les protocoles à état de lien sont caractérisés par :
 - **Convergence Rapide**
 - Les paquets LSP sont immédiatement diffusés sur toutes les interfaces (sauf celle d'où venait le LSP)
 - les hold-down timers ne sont pas nécessaires (technique des protocoles à vecteur de distance pour permettre la stabilisation du réseau)
 - Les modifications sont diffusées immédiatement grâce aux LSPs
 - Un trafic moins important en cas de panne de liaison
 - Une meilleure adaptation aux grands réseaux (plus de 1500 *nœuds*, *routeurs* ou *hôtes*)
- En contrepartie, les protocoles à état de lien doivent faire face à :
 - Une surcharge de travail pour les processeurs des routeurs (par le calcul des plus courts chemins)
 - Une augmentation de la capacité mémoire nécessaire dans les routeurs



Chapitre 6: Routage dynamique

Comparatif des protocoles de routage

Vecteur de distance	Etat de lien
Algorithme Bellman-Ford (RIP)	Algorithme Dijkstra (OSPF)
Facile à configurer	Compétences requises
Partage des tables de routage	Partage des liaisons
Réseaux plats	organisés en zones
Convergence plus lente	Convergence rapide, répartition de charge
Topologies limitées	Topologies complexes et larges
Gourmand en bande passante	Relativement discret
Peu consommateur en RAM et CPU	Gourmand en RAM et CPU
Mises à jour régulière en Broadcast/Multicast	Mises à jour immédiate
Pas de signalisation	Signalisation fiable et en mode connecté