

Chapitre (Routage : Statique et Dynamique (RIP v1/v2, OSPF, BGP))



1. Introduction & Routage Statique

1.1. Introduction

Objectifs



Fondamental

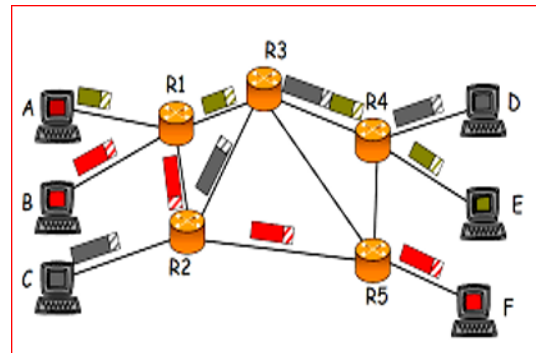
- Comprendre routage **statique et dynamique**
- Savoir configurer **RIP v1/v2, OSPF et BGP** (exemples Cisco)
- Diagnostiquer les problèmes de **routage**

Le réseau comme une autoroute



Rappel

- Les données sont les voitures qui circulent.
- Les paquets IP sont les véhicules avec une destination précise (adresse IP).
- Les routeurs sont les panneaux de signalisation qui orientent les voitures vers la bonne sortie.
- Les protocoles TCP/UDP sont comme des types de transports :
- **TCP** = bus avec contrôle des passagers (fiable).
- **UDP** = moto rapide sans contrôle (rapide mais moins sûr).



Qu'est-ce que le routage ?



Définition

Le routage est le processus par lequel un dispositif réseau, généralement un routeur, détermine le meilleur chemin qu'un paquet de données doit emprunter pour aller de sa source vers sa destination à travers un ou plusieurs réseaux interconnectés.⁸

Utilisation d'un Graphe par les algorithmes de routage:

1. Les nœuds du graphe sont des routeurs/commutateurs.
2. Les Arcs du graphe sont des liens physiques: – poids: délai, nombre de sauts,...
3. Le "meilleur" chemin: – Typiquement un chemin à coût minimum.

Appareils impliqués



Routeurs : appareils spécialisés qui prennent les décisions de routage.

Passerelles (Gateway) : souvent le premier routeur qu'un paquet rencontre dans un réseau local.

Commutateurs de couche 3 : dans les réseaux modernes, ils peuvent aussi faire du routage entre VLANs.

Un routeur a :

- Une table de routage (liste des réseaux connus et comment les atteindre).
- Un algorithme de routage (statique ou dynamique).
- Une interface d'entrée et de sortie.

Un routeur a :

Une interface est un port physique dont le rôle est de recevoir et de transférer des paquets. Chaque interface connecte un réseau différent.

1. Interfaces LAN: Connecter le routeur au réseau local (Ethernet, Fastethernet, Gigabitethernet), Possède une adresse MAC et a sa propre adresse IP, Une cache ARP est associées à chaque interface LAN.

2. Interface WAN: Connecter les routeurs à des réseaux étendus externes (Serial, ADSL, Gigabitethernet), Chaque interface WAN a sa propre adresse IP, Les adresses de couche 2 diffèrent suivant la technologie (encapsulation) utilisée.



routeur de marque CISCO

Fonctionnement du Routage

Objectif du routage : garantir que les données atteignent leur destination de manière efficace, fiable et rapide.

Éléments impliqués : tables de routage, protocoles de routage, métriques (coût, distance, bande passante, délai...).

Ps. Une table de routage : ensemble de triplets <Adresse destination>, <Route à prendre>, <coût>

La table de routage ne contient que les meilleures routes

Métrique: Une valeur numérique utilisée par les protocoles de routage pour déterminer le meilleur chemin.

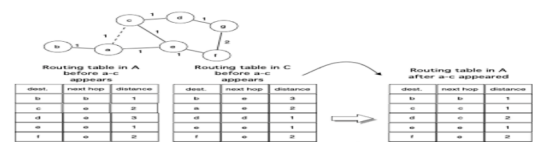
Une métrique dont la valeur est la plus petite reflète le meilleur chemin.

Exemple de métriques utilisées par certains protocoles de routage dynamique :

- Nombre de sauts: nombre de routeur pour atteindre la destination
- Bande passante: vitesse du lien (exprimée en une fraction 1/Bande Passante)

• Chaque paquet contient @destination

• Le "coût" permet de choisir la route appropriée si plusieurs



routes sont possibles.

- Figure : coût, distance = nombre de sauts.

Principes: classification des algo



Fondamental

Global ou décentralisé?

Global:

- Une connaissance topologique
- Algorithme “**link state**”

Décentralisé:

- Processus itératif de calculs, échange des infos avec les voisins
- Algorithme “**distance vector**”

Statique ou dynamique?

Statique:

- Les routes changent lentement avec le temps

Dynamique:

- Les routes changent rapidement
- Mise à jour périodique

Un routeur peut obtenir des informations sur des réseaux distants de l'une des deux façons suivantes :

1. Manuellement, à partir de routes statiques configurées par l'administrateur .
2. Automatiquement, à partir d'un protocole de routage dynamique.

1.2. Routage Statique

Routage statique



Définition

Routage statique: le choix de la route est défini par l'administrateur une fois pour toute.

- Adapté aux petits réseaux
- Assure le séquençement des paquets même en mode non connecté (les paquets prennent la même route)
- Simple
- Ne recherche pas la route optimale

Norme d'interopérabilité : Le routage statique repose sur les standards IP, sans protocole de routage dynamique

Port: Aucun port réseau dédié, car le routage statique est interne à l'équipement

Versions: Support complet IPv4 et IPv6 sur l'ensemble des plateformes CISCO.

Distance administrative: 1 par défaut pour les routes statiques (0 pour les interfaces directement connectées)

Métrique: 0 par défaut

Équipements supportés: Routeurs CISCO (ISR, ASR...) et switches multi layer (Catalyst, Nexus)

Types de routes: Point-to-point, multi access, route par défaut, route flottante



•**Next-hop:** Le next-hop représente l'adresse IP du routeur suivant dans le chemin vers la destination. Cette adresse doit être directement accessible sur le même segment réseau.

•**Route par défaut:** Une route par défaut (0.0.0.0/0 pour IPv4 ou ::/0 pour IPv6) capture tout le trafic qui ne correspond à aucune route plus spécifique dans la table de routage.

•**Route flottante:** Une route flottante est une route statique configurée avec une distance administrative supérieure à celle de la route principale, servant de route de secours.

Avantages ou Inconvénients?

1. Avantages du routage statique

- Facile à configurer
- Plus sécurisé
- Aucune ressource supplémentaire n'est requise

2. Inconvénients du routage statique

- Risque d'erreur
- Mise à jour manuelle des routes statiques
- Maintenance devient fastidieuse avec l'expansion du réseau (petits réseaux)

routage statique



Imaginons un petit réseau d'entreprise composé de **3 routeurs** connectant trois sites :

Site A : siège social (192.168.1.0/24)

Site B : agence régionale (192.168.2.0/24)

Site C : entrepôt (192.168.3.0/24)

Topologie du réseau

Routeur A relie le réseau 192.168.1.0/24

Routeur B relie le réseau 192.168.2.0/24

Routeur C relie le réseau 192.168.3.0/24

Configuration des routes statiques

Chaque routeur doit savoir comment atteindre les réseaux qui ne sont pas directement connectés :

Sur Routeur A :

```
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface A-B]
```

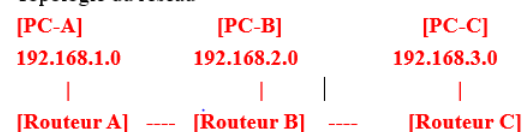
```
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface A-B]
```

Sur Routeur B :

```
ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface B-A]
```

```
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface B-C]
```

Topologie du réseau



Sur Routeur C :

```
ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface C-B]
```

```
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 via [IP de l'interface C-B]
```

Analyse de l'exemple

Si PC-A (192.168.1.10) veut communiquer avec PC-C (192.168.3.20), les paquets suivront :

PC-A → Routeur A → Routeur B → Routeur C → PC-C

Même en cas de surcharge ou de panne entre B et C, Routeur A continuera à envoyer les paquets par la même route, car le routage statique ne prévoit aucune adaptation automatique.

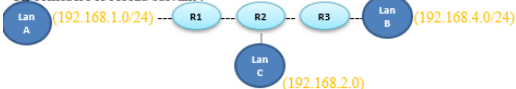


- La commande `ip route` permet de créer une route statique en spécifiant le réseau de destination, son masque de sous-réseau et soit l'adresse IP du next-hop, soit l'interface de sortie directe.
- La commande `show ip route` affiche l'ensemble de la table de routage IPv4. L'option `static` filtre uniquement les routes statiques, tandis qu'une adresse IP spécifique montre le chemin utilisé pour cette destination.
- Le préfixe `no` devant la commande permet de supprimer la route statique correspondante.
- Cette route dirige le trafic vers l'interface Null0, créant un "trou noir" pour bloquer certains flux réseau.
- La commande `ip routing` est obligatoire sur les switches CISCO pour activer les fonctionnalités de routage Layer 3. Sans cette commande, le switch ne pourra pas router entre les VLANs.⁹

2. Exercice : Routage Statique

Situation :

On considère le réseau suivant :



Chaque routeur est connecté à deux réseaux :

R1 : LAN A et R2

R2 : R1, R3 et LAN C

R3 : R2 et LAN B

Adresses IP des interfaces :

Routeur	Interface	Adresse IP	Réseau
R1	Fa0/0	192.168.1.1	LAN A
R1	S0/0	10.0.0.1	Lien R1-R2
R2	S0/0	10.0.0.2	Lien R1-R2
R2	S0/1	10.0.1.1	Lien R2-R3
R2	Fa0/0	192.168.2.1	LAN C
R3	S0/1	10.0.1.2	Lien R2-R3
R3	Fa0/0	192.168.4.1	LAN B

Questions :

1. Quel est le rôle d'un routage statique dans ce réseau ?
2. Quelle commande permet à R1 d'atteindre le réseau LAN C (192.168.2.0/24) ?
3. Quelle commande faut-il sur R3 pour atteindre le réseau LAN A (192.168.1.0/24) ?
4. Si le lien entre R2 et R3 tombe en panne, pourquoi le routage statique ne peut pas assurer la connectivité automatiquement ?
5. Quelle est la différence entre :
 - une route statique simple
 - une route par défaut
6. Donne la commande pour ajouter une route par défaut sur R1 vers R2.
7. Quelle commande permet d'afficher la table de routage sur R2 ?

8. Interprète la ligne suivante :

S 192.168.4.0/24 [1/0] via 10.0.1.2

3. Routage Dynamique

3.1. Le routage dynamique

a) Le routage dynamique



Est une méthode où les routeurs construisent et maintiennent automatiquement leurs tables de routage en utilisant des protocoles de routage. Les routeurs échangent régulièrement des informations sur l'état du réseau afin de déterminer la meilleure route disponible.

Avantages ou Inconvénients?

Avantages

1. Automatisation : aucune configuration manuelle des routes nécessaires (sauf activation du protocole).
2. Adaptabilité : mise à jour automatique des chemins en cas de panne ou d'ajout de nouveaux routeurs.
3. Optimisation : permet de choisir la route la plus efficace selon certains critères (distance, coût, bande passante, délai...).

Inconvénients

1. Complexité : configuration et compréhension plus difficiles que le routage statique.
2. Surcharge réseau : génère du trafic supplémentaire dû aux échanges d'informations entre routeurs.
3. Séquençage non garanti : en mode non connecté, les paquets peuvent prendre des routes différentes et arriver dans un ordre différent.

Algorithme



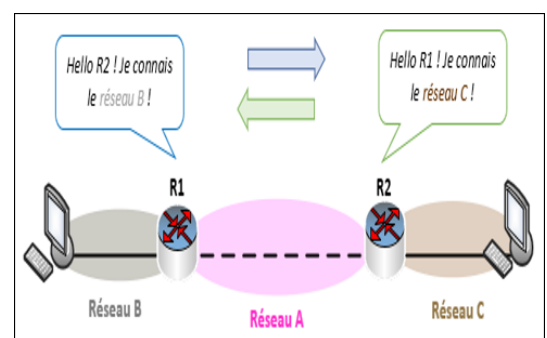
pour déterminer le meilleur chemin Exemple:

- RIP à Bellman,
- OSPF à Djikistra,
- EIGRP à Dual

Structures de données/bases de données: pour conserver les informations de routage.

Messages:

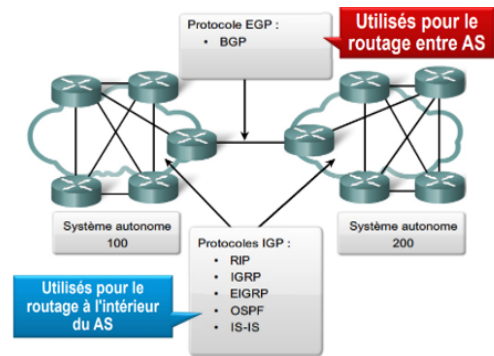
- Messages pour découvrir les routeurs voisins
- Informations de routage (Mise-à-jour).¹¹



Routage

Concepts: Echange automatique d'informations de routage entre routeurs.

- IGP (interne): RIP, OSPF.
- EGP (externe): BGP.
- Algorithmes: Distance Vector, Link State, Path Vector.



Routage dynamique

Distance Administrative (DA)

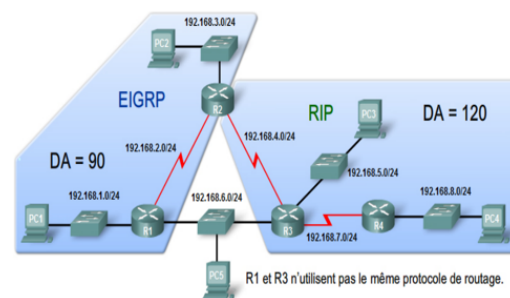


La distance administrative est une valeur numérique attribuée à une source d'information de routage (**par exemple : route statique, protocole RIP, OSPF, BGP, etc.**).

Elle indique le niveau de confiance qu'un routeur accorde à cette source.

Plage : entre 0 et 255

Principe : plus la valeur est faible, plus la source est fiable et donc préférée par le routeur. Si plusieurs routes vers la même destination existent, la route avec la plus petite **DA** sera choisie.



Distance administrative

3.2. Distance Vector

a) Distance Vector



Un protocole de routage à vecteur de distance est un protocole dynamique qui permet aux routeurs d'échanger des informations sur les chemins disponibles pour atteindre les réseaux.

Chaque routeur envoie régulièrement à ses voisins un tableau (vecteur) contenant :

- Les réseaux qu'il connaît.
- La distance (souvent mesurée en nombre de sauts ou hops) pour y accéder.

On parle de vecteur de distance car :

- Vecteur = liste de réseaux connus.
- Distance = coût pour y arriver (*souvent en nombre de routeurs*).

Fonctionnement :

- Annonce périodique : chaque routeur envoie sa table de routage à ses voisins (par broadcast ou multicast).
- Mise à jour : si un voisin propose un chemin plus court, la table est mise à jour.
- Convergence : après quelques échanges, tous les routeurs ont une vision cohérente du réseau.

Caractéristiques principales

- **Simplicité** → facile à configurer et à comprendre.
- **Basé sur le nombre de sauts (hop count)** → la distance maximale est limitée (exemple RIP : 15 sauts).
- **Annonce périodique** → consomme de la bande passante.
- **Risque de boucles de routage** → nécessite des mécanismes comme: –Split horizon. –Poison reverse. –Hold down timer

Distance Vector

- exemples de protocoles :
- RIP (Routing Information Protocol) : le plus connu, basé sur hop count.
- IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) : ancien protocole Cisco (remplacé par EIGRP).

Avantages et limites:

Avantages :

1. Simples à configurer.
2. Adaptés aux petits réseaux.

Inconvénients :

1. Convergence lente (met du temps à s'adapter en cas de panne).
2. Pas adaptés aux grands réseaux.
3. Peu d'intelligence dans le choix des chemins (basés uniquement sur hop count).

b) RIP(Routing Information Protocol version1/2)



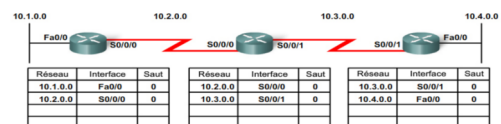
Opération Protocole RIP

Découverte du réseau: **Démarrage à froid**: Le routeur détecte initialement ses propres réseaux connectés directement.¹¹

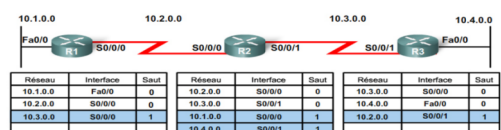
•Découverte du réseau: **Échange initial**, les routeurs commencent à échanger des mises à jour de routage; L'échange initial des mises à jour de routage n'incluent que des informations sur leurs réseaux directement connectés; Toute nouvelle route est ajoutée à la table de routage, sa métrique est mise à jour.

•Découverte du réseau: **prochaine mise à jour**, Les routeurs continuent à échanger des mise à jour, si aucune nouvelles information n'est trouvée alors l'état de convergence est atteint.

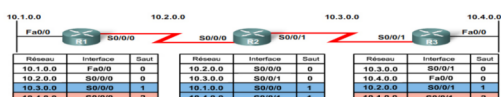
Les routeurs atteignent l'état de Convergence si toutes les tables de routage dans le réseaux contiennent les mêmes informations sur les réseaux.



Démarrage à froid



Échange initial



prochaine mise à jour

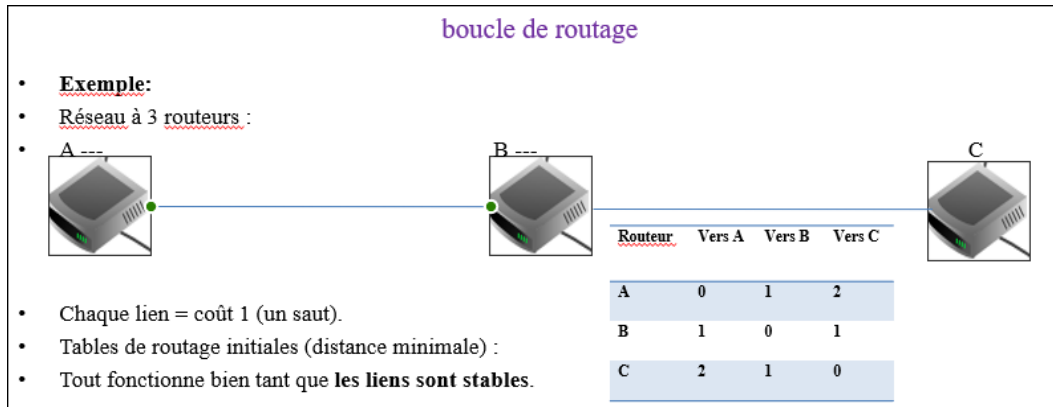
Qu'est-ce qu'un algorithme de vecteur de distance ?

C'est un algorithme de routage dynamique où :

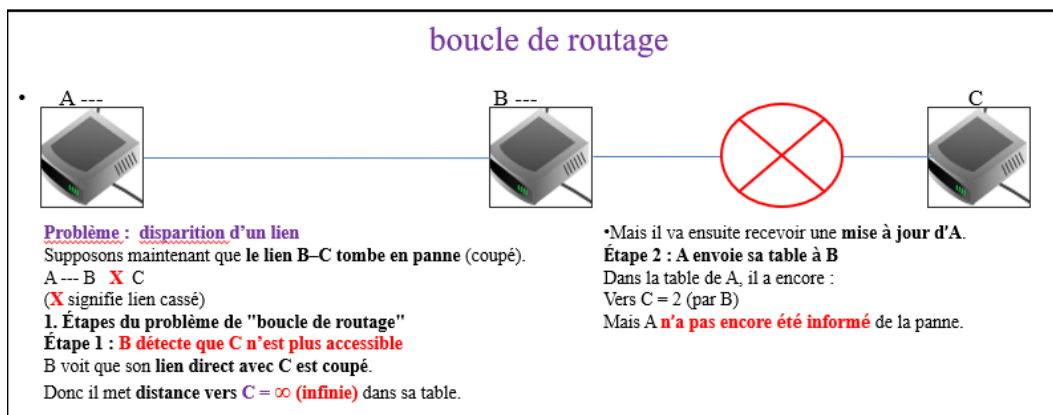
- Chaque routeur (ou nœud) connaît la distance vers les autres réseaux, souvent mesurée en nombre de sauts (hops).
- Il envoie périodiquement sa table de routage à ses voisins.
- Chaque routeur met à jour sa table selon les informations reçues (principe de Bellman-Ford).
 - Supposons maintenant que le lien tombe en panne entre deux routeurs (**coupé**)?

boucle de routage

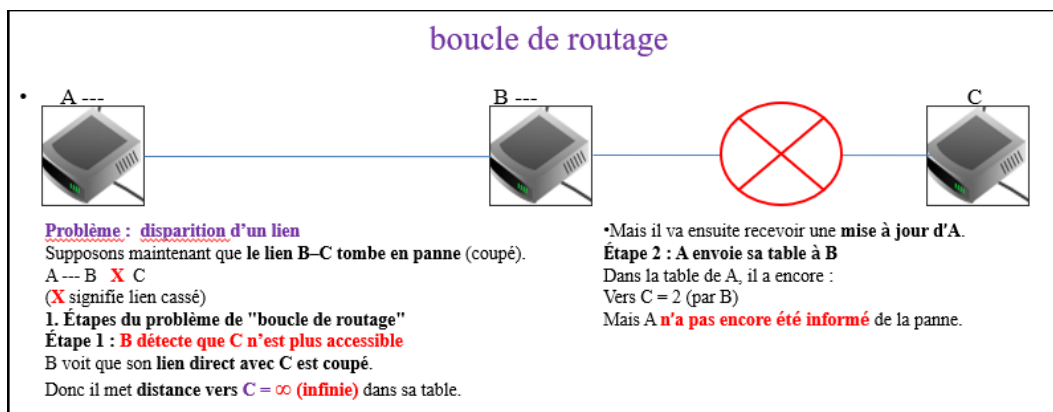
 **Exemple**



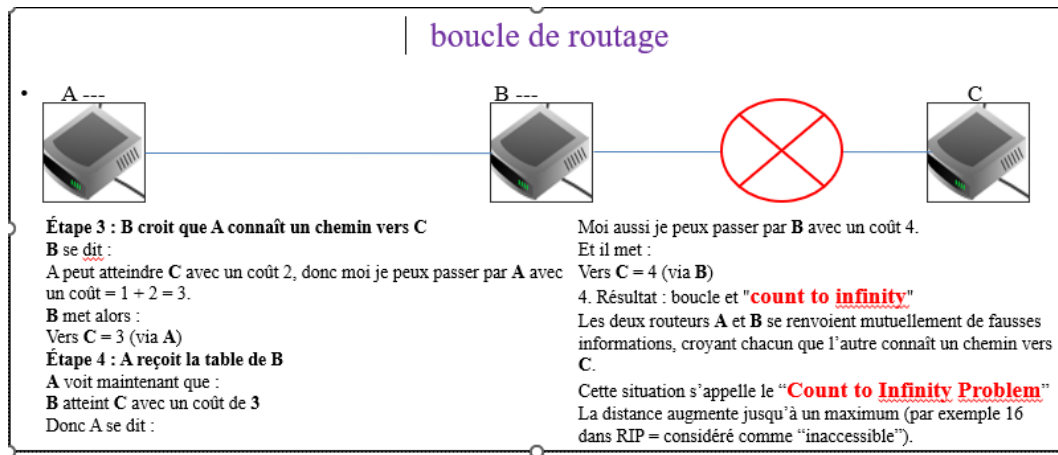
Boucle de routage



Boucle de routage

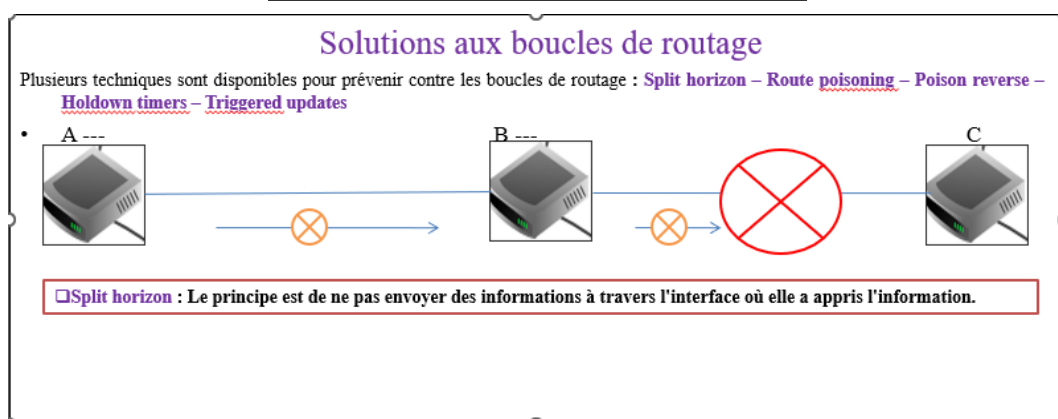


Boucle de routage



Boucle de routage

Itération	A pense que C=	B pense que C=
1	2 via B	1 via C
2	∞	∞
3	4 via B	3 via A
4	5 via B	4 via A
5	...	...



Solution

Solution:

Split horizon : Le principe est de ne pas envoyer des informations à travers l'interface où elle a appris l'information.

Route poisoning : Les routeurs envoient immédiatement des maj avec une métrique infinie pour les routes qui deviennent invalides.

RIPv2 (Routing Information Protocol version 2)**1- Type de protocole**

- **Vecteur de distance** : il envoie périodiquement la liste (vecteur) des réseaux connus avec la distance (nombre de sauts) jusqu'à chacun.
- **Distance administrative** : 120 (cela signifie que si plusieurs protocoles de routage existent, RIP est moins prioritaire que d'autres comme OSPF ou EIGRP).

2- Métrique utilisée

- La métrique est le nombre de sauts (hop count).
- Chaque fois qu'un paquet traverse un routeur, la métrique augmente de 1.
- Limite : si la **distance > 15 sauts** → le réseau est considéré inaccessible.

Donc RIP est adapté uniquement aux petits réseaux

3- Fonctionnement des mises à jour

- Mises à jour périodiques : toutes les **30 secondes**. **RIP** envoie sa table de routage à ses voisins.
- **RIPv1** : utilisait le broadcast → 255.255.255.255.
- **RIPv2** : utilise le multicast → 224.0.0.9 (plus efficace car seuls les routeurs RIP écoutent).

4- Classement des adresses

- **RIPv1** était un protocole **classful** (ne transmet pas le masque de sous-réseau).
- **RIPv2** est **classless** → il transmet le masque de sous-réseau dans ses mises à jour. Cela permet de supporter des réseaux avec différents masques.

Packet tracer



```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# router rip
Router(config-router)# version 2
Router(config-router)# network 192.168.1.0
Router(config-router)# network 192.168.12.0
Router(config-router)# no auto-summary
Router(config-router)# exit
Vérif: show ip route | show ip protocols | debug ip rip
show ip route ->Affiche la table de routage
show ip protocols ->Affiche les protocoles de routage actifs
debug ip rip ->Affiche en temps réel les mises à jour RIP
show running-config -> Vérifie la configuration RIP
```

c) IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)



protocole de routage à vecteur de distance avancé (ou hybride), propriétaire développé par Cisco il y a plus de 10 ans.

Objectif: Être plus efficace, plus rapide et plus stable que RIP v1 et v2, tout en restant simple à Configurer comme un protocole à vecteur de distance.

La métrique utilisée est la combinaison des paramètres suivants:

- la bande passante
- le délai
- La fiabilité
- La charge

- La *MTU* (maximum transfert unit)

Généralement, seule la bande passante et le délai sont utilisés. Pas de métrique cumulative, seule la métrique du lien directe est prise en compte

Caractéristique	RIPv1	RIPv2	IGRP
Type de protocole	Classful (ne supporte pas VLSM ni CIDR)	Classless (supporte VLSM et CIDR)	Classful (ne supporte pas VLSM ni CIDR)
Méthode de mise à jour	Diffusion (broadcast) à 255.255.255.255	Multidiffusion (multicast) à 224.0.0.9	Diffusion (broadcast)
Authentification	Non supportée	Supportée (mot de passe clair ou MD5)	Non supportée
Masque de sous-réseau	Non inclus dans les mises à jour	Inclus dans les mises à jour	Non inclus
Taille maximale du réseau	15 sauts (hop count = 15)	15 sauts	255 sauts
Algorithme utilisé	Bellman-Ford	Bellman-Ford	Bellman-Ford
Métrique utilisée	Nombre de sauts (hop count)	Nombre de sauts (hop count)	Combinaison : bande passante + délai
Propriétaire ou standard	Standard ouvert	Standard ouvert	Protocole propriétaire Cisco
Port UDP utilisé	520	520	Pas d'UDP (protocole spécifique Cisco)
Sécurité	Faible	Meilleure (authentification possible)	Faible
Compatibilité IPv6	Non	Non (RIPng existe pour IPv6)	Non

Comparaison

d) Exercice : RIP

Lecture d'une table de routage simple. Table observée sur le routeur R1

R1# show ip route

C 192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0

R 192.168.20.0/24 [120/1] via 10.0.0.2, 00:00:22, GigabitEthernet0/1

S 192.168.30.0/24 [1/0] via 10.0.0.6

Questions:

1. Que signifient les lettres **C, R, et S** ?
2. Quelle est la **passerelle suivante (next-hop)** vers le réseau **192.168.30.0** ?
3. Quelle est la **métrique** de la route **RIP** ?
4. Combien de routes directement connectées possède **R1** ?

3.3. Link State

a) Link State



Un protocole Link State est un protocole de routage dans lequel chaque routeur partage l'état de ses liens (ses connexions directes) avec tous les autres routeurs du réseau, afin que chacun construise une carte complète de la topologie du réseau.

En d'autres termes : Chaque routeur sait qui sont ses voisins directs et l'état de ces liens (actif, coût, bande passante, etc.). Tous les routeurs échangent ces informations sous forme de LSA (Link-State Advertisements).

- Avec ces **LSAs**, chaque routeur construit une base de données d'état des liaisons (LSDB). Puis chacun applique un algorithme de plus court chemin (Dijkstra) pour calculer la route optimale vers chaque destination.
- **Link State (OSPF)**: LSDB + SPF (Dijkstra), convergence rapide
- **Path Vector (BGP)**: policy-based, AS path attributes

- Le routage d'état des liaisons utilise **LSA (Link-state advertisement)** : petit paquet d'informations de routage envoyées entre les routeurs. Les **LSA** décrivent l'état des interfaces (liaisons) d'un routeur, ainsi que d'autres informations, telles que l'adresse IP de chaque liaison, Base de données.
 - **Topologique** : ensemble d'informations collectées auprès de tous les **LSA** reçus par le routeur.
- Lorsqu'un lien change d'état, le routeur qui le détecte transmet cette information à tous ses voisins par un mécanisme d'inondation. Chaque routeur recevant cette information met à jour sa base de donnée, et s'il s'agit d'une information nouvelle (en d'autres termes, s'il n'a pas déjà reçu cette information), il réémet le message d'information à tous ses voisins. Ce mécanisme permet à tous les routeurs d'être informés rapidement de toute modification, tout en assurant que le message soit détruit dès que tous l'ont reçu.
- **Découverte des voisins:**
 - Chaque routeur détecte ses voisins directs (Hello packets).
 - Et puis, annonce de l'état des liens (LSA) .
 - Il envoie à tous les autres routeurs du réseau les informations sur ses liens.
 - Construction de la LSDB (Link-State Database)
 - Tous les routeurs stockent ces annonces dans une base de données identique.
 - Calcul du plus court chemin (SPF)
 - Chacun exécute l'algorithme de Dijkstra pour trouver la route la plus courte vers chaque réseau.

? Exemple

Réseau :

- A dit : "Je suis connecté à B, coût 10"
- B dit : "Je suis connecté à A (10) et à C (20)"
- C dit : "Je suis connecté à B (20)"



Chaque routeur reçoit ces annonces et reconstruit la même carte du réseau. Ensuite, il calcule les plus courts chemins.

Fonctionnement(Dijkstra)

💡 Fondamental

Notation:

- **c(i,j)**: coût du lien d'un noeud i à un noeud j. le coût est infini s'il n'y a pas de lien direct
- **D(v)**: la valeur courante du chemin de la source vers la destination V
- **p(v)**: noeud prédécesseur le long du chemin de la source vers la destination V
- **N**: ensemble des nœuds destinations dont le coût minimum à partir d'une source est définitivement connu

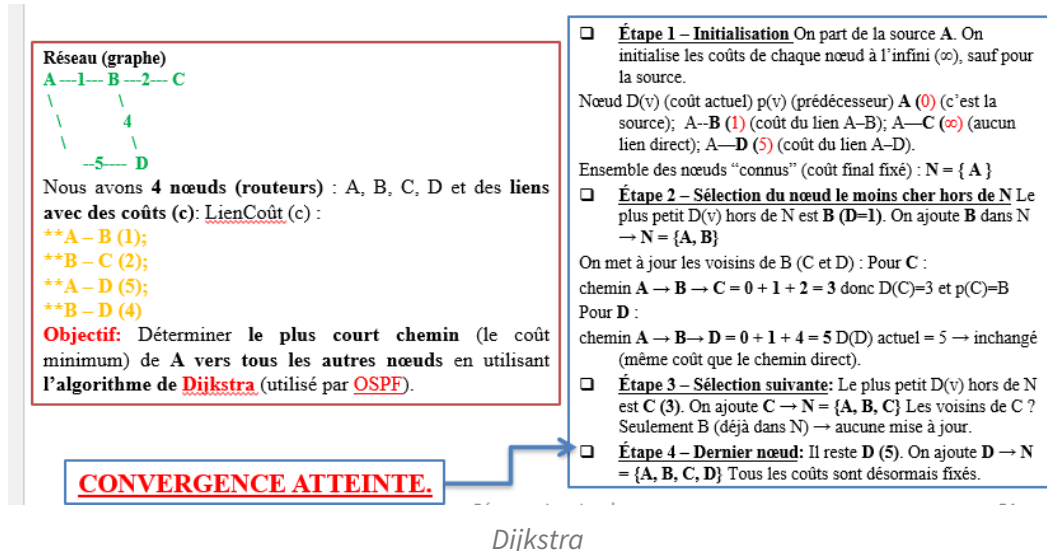
1. Initialization:

2. $N = \{A\}$ / le noeud source

3. Pour tous les noeuds v

4. Si v est adjacent à A

5. Alors $D(v) = c(A, v)$
6. Sinon $D(v) = \text{infini}$
7. Boucle
8. trouver w pas dans N avec $D(w)$ est minimum
9. Ajouter w à N
10. m.à.j $D(v)$ pour tout v adjacent à w et non dans N
11. $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$ until tous les noeuds soient dans N



b) OSPF — Open Shortest Path First

Qu'est-ce qu'OSPF ?



Protocole de routage de type 'link-state' (RFCs OSPF).

Objectif : obtenir des chemins optimaux (plus courts) et une convergence rapide.

Remplace RIP pour les IGP dans les réseaux de taille moyenne à grande.

Pour trouver le plus court chemin.¹²

Métrique OSPF = somme des coûts des interfaces traversées (coûts s'additionnent).

Important : OSPF utilise des valeurs entières pour le **cost**, la valeur minimale installée est 1 (on ne descend pas à 0).

Principes :

- Chaque routeur construit LSDB via LSA et exécute SPF (Dijkstra).
- Area 0 = backbone; utilisation d'areas pour scaler
- Métrique OSPF: cost (souvent inverse de bandwidth)

Principe de fonctionnement



- Chaque routeur construit une LSDB (Link-State Database) via LSAs.
- Exécution de l'algorithme SPF (Dijkstra) pour calculer l'arborescence des plus courts chemins.
- La table de routage est dérivée de l'arborescence SPF.
- Formule standard

- **Cost = reference_bandwidth / bandwidth_interface (en Mbps)**
- **Coût total d'un chemin = somme des costs des liens traversés.**
- **Cost minimal = 1 (OSPF n'autorise pas les valeurs < 1).**

Reference Bandwidth — rôle :

- Valeur par défaut : 100 Mbps (historique).
 - Si non modifiée, 100 Mbps et 1 Gbps auront le même cost = 1.
 - Il faut ajuster la reference_bandwidth pour différencier 1Gbps/10Gbps/100Gbps.

Chiffrés : ref = 100 Mbps



• Calculs

1. **10 Mbps** → cost = 100 / 10 = 10
2. **100 Mbps** → cost = 1
3. **1 Gbps (1000 Mbps)** → cost = 0.1 → min = 1

• Topologie simple

- A -- (1 Mbps) -- B , A -- (10 Mbps) -- C, C -- (10 Mbps) -- B
- Avec **ref=100**
- costs: A-B=100, A-C=10, C-B=10.
- Donc , chemin le plus court de **A→C→B** **cost=20** (choisi)

Avantages d'OSPF

- Convergence rapide (SPF)
- Support VLSM, authentification, multicast.
- ECMP pour chemins de coût égal
- Sécurité : authentification des messages
- Multiples chemins (ECMP) et hiérarchie en aires
- MOSPF et intégration unicast/multicast

Complexité et convergence

- **LS:** messages $O(nE)$; convergence $O(n^2)$; chaque noeud recalcule localement
- **DV:** échanges voisins ; risques de boucles et 'count to infinity'

c) Exercice : Topologie OSPF

Topologie OSPF

Topologie OSPF

On considère 6 routeurs A, B, C, D, E, F dans une même aire OSPF.

Les liaisons (bidirectionnelles) et leurs coûts (métriques OSPF) sont :

A — B : coût 2 / A — C : coût 5 / A — D : coût 1 / B — C : coût 3 / B — E : coût 7 / C — E : coût 2 / C — D : coût 2 /

D — F : coût 4 / E — F : coût 1

1) LSAs (contenu du Link-State Database)

Chaque routeur publie un LSA décrivant ses voisins et coûts :

LSA(A): neighbors { B:2, C:5, D:1 }

LSA(B): neighbors { A:2, C:3 }

LSA(C): neighbors { A:5, B:3, D:2, E:2 }

LSA(D): neighbors { A:1, C:2, F:4 }

LSA(E): neighbors { C:2, F:1 }

LSA(F): neighbors { D:4, E:1 }

En OSPF, après flooding, tous les routeurs possèdent la même LSDB (mêmes LSAs).

2) Application de l'algorithme de Dijkstra — calcul du SPF tree depuis A

- Exécuter Dijkstra pour trouver les plus courts chemins depuis A vers tous les nœuds?

```

      B
    /  \
   2    3
  \    /
 A--1--D--4--F
  \  | /  \
   5 | 2   1
    \| /   /
     C --2-- E
  
```

d) Protocole BGP



- =BGP** Border Gateway Protocol (path-vector): Utilisé entre Autonomous Systems (AS) sur Internet BGP (Border Gateway Protocol) est un protocole de routage externe (EGP) utilisé pour échanger les routes entre différents systèmes autonomes (AS – Autonomous Systems) sur Internet.¹⁰
- Il est défini par la norme **RFC 4271**.

C'est le protocole de routage de l'Internet :

- C'est grâce à **BGP** que les routeurs des FAI (fournisseurs d'accès Internet) savent par quel chemin envoyer les paquets vers n'importe quel pays du monde.
- Chaque **AS** est composé d'une multitude de routeurs et utilise des protocoles **IGP (RIP, OSPF ou EIGRP)**.



BGP

Qu'est-ce qu'un Système Autonome (AS) ?

L'Internet peut être vu comme un immense ensemble de réseaux interconnectés d'où l'expression «réseau de réseaux». Ces réseaux ne fonctionnent pas de manière anarchique : ils sont organisés en grandes entités administratives appelées Systèmes Autonomes (**AS – Autonomous Systems**).

Un **système autonome (AS)** est un ensemble de réseaux IP (souvent gérés par une même organisation) qui partagent une même politique de routage interne et sont administrés sous une autorité unique. Autrement dit, c'est une portion d'Internet gérée par un fournisseur d'accès, une entreprise, une université, ou une institution, qui applique ses propres règles de routage.

Chaque **AS** est identifié de manière unique par un numéro **d'AS (ASN – Autonomous System Number)**, attribué par les organismes régionaux de gestion d'adresses IP.

AS= Autonomus System (système autonome) : défini par la RFC 1771 sur 16 bits soit 65 535 possibilités géré par l'IANA et ses délégations. Les fonctions des numéros d'AS sont les suivants :

•L'AS

- 0 = Réserve.
- De l'AS 1 à l'AS64 495 = géré par l'IANA pour un usage publique.
- De l'AS 64 496 à l'AS 64 511 = Réserve pour de la documentation.
- De l'AS 64 512 à l'AS 65 534 = Usage privée.
- L'AS 65 535 = Réserve.

La distribution des numéros d' AS sur une échelle mondiale est de la responsabilité de **l'IANA (Internet Assigned Numbers Authority)**.

L'IANA va déléguer le travail à :

- AFRINIC
- APNIC
- ARIN
- LACNIC
- RIPE NCC



Source : <https://www.iana.org/>

IANA

Chaque système autonome :

- Utilise des protocoles de routage internes (IGP — Interior Gateway Protocols, ex. OSPF, EIGRP, RIP) pour gérer le trafic à l'intérieur du réseau.
- Des protocoles de routage externes (EGP — Exterior Gateway Protocols, principalement BGP) pour échanger des routes avec d'autres systèmes autonomes sur Internet.

- Ainsi, Internet repose sur la coopération entre plusieurs AS, chacun responsable de ses propres décisions de routage, mais interconnectés pour permettre la communication globale.

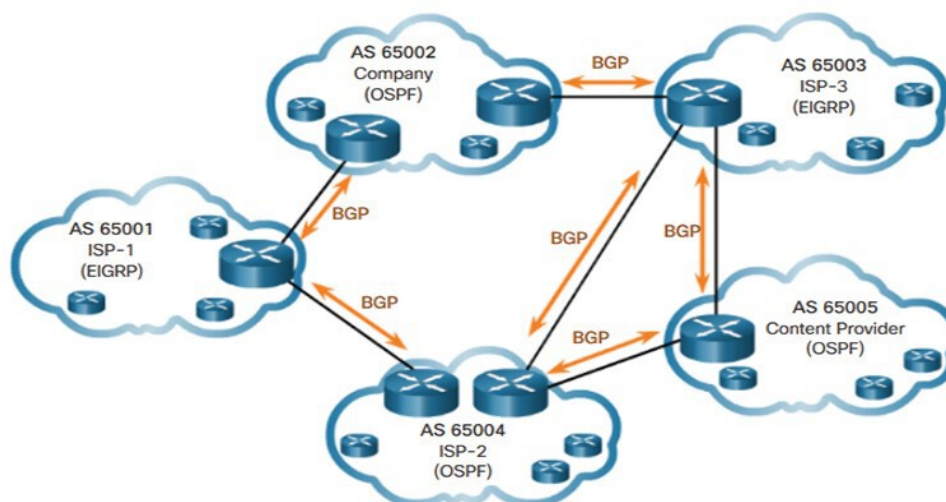
Objectif et Rôle



- BGP est responsable de la construction de la table de routage globale d'Internet. Chaque FAI (ou grand réseau) utilise BGP pour : annoncer les préfixes (plages d'adresses IP) qu'il gère.
- apprendre les routes disponibles vers d'autres réseaux .
- choisir la meilleure route selon ses propres politiques.

Exemple :

- L'université (AS 65001) veut joindre Google (AS 15169).
- BGP va permettre aux routeurs frontières d'échanger les informations de route pour atteindre ces réseaux via Internet.¹³



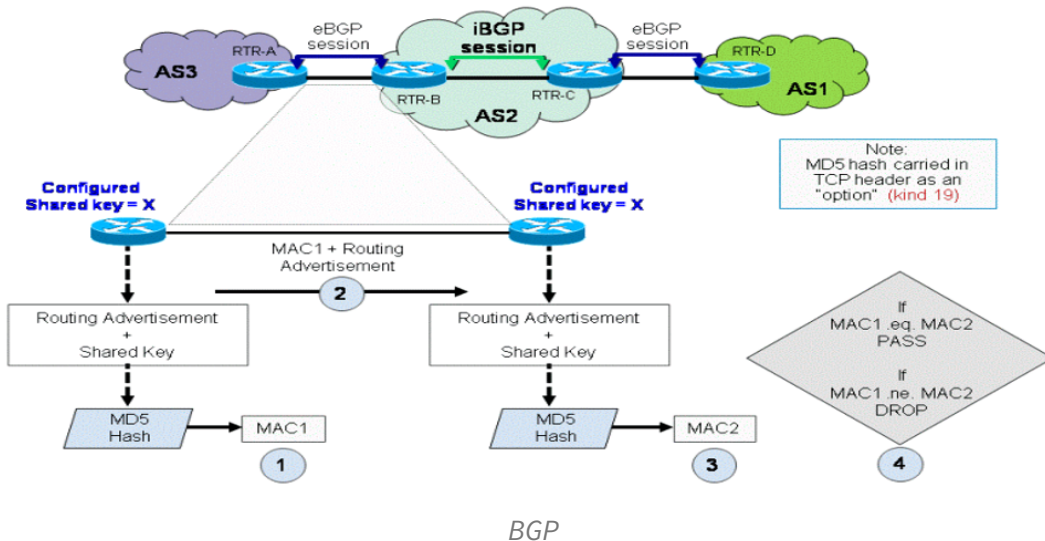
Fonctionnement de BGP

BGP – Principes Concepts de base



Terme	Signification
AS (Autonomous System)	Ensemble de routeurs gérés par une même entité (ex : un fournisseur d'accès, une université, un opérateur). Chaque AS a un numéro unique (ASN).
eBGP (External BGP)	Échange de routes entre deux AS différents (par ex : Algérie Télécom ↔ Google).
Peer (ou voisin BGP)	Routeur BGP avec lequel un autre routeur établit une session pour échanger les routes

iBGP (Internal BGP)	Échange de routes à l'intérieur du même AS (entre routeurs d'un même opérateur).
Table BGP	Contient toutes les routes reçues de tous les voisins. Le routeur choisit la "meilleure" selon plusieurs critères.



Fonctionnement de BGP



BGP fonctionne avec le protocole TCP (port 179) — donc c'est un routage fiable et orienté connexion.

Voici les grandes étapes de son fonctionnement :

a) Établissement d'une session BGP

Deux routeurs (appelés peers) établissent une connexion TCP :

Router A $\longleftrightarrow$ TCP $\longleftrightarrow$ Router B

Ils s'échangent des messages OPEN pour s'authentifier et définir les paramètres (AS, version, timers...).

b) Échange des routes

Une fois la session établie : Chaque routeur annonce les réseaux qu'il connaît à son voisin. Chaque annonce contient :

le préfixe (adresse réseau).

le chemin d'AS (AS-PATH) traversé.

et d'autres attributs (métriques, origine, etc...)

Qu'est-ce qu'une BGP Policy ?

Une policy (politique de routage), c'est un ensemble de règles que l'administrateur définit pour :

- décider quelles routes annoncer à un voisin BGP .
- décider quelles routes accepter ou refuser .

influencer le choix du meilleur chemin (par manipulation d'attributs BGP).

Or $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$

BGP ne choisit pas toujours « **le plus court chemin** », mais celui qui respecte les politiques décidées par l'administrateur.

Les trois niveaux de contrôle:

- Import Policy
- Export Policy
- Path Selection Policy

c) Sélection de la meilleure route

Quand un routeur reçoit plusieurs routes vers une même destination, il choisit la meilleure selon les critères suivants.

Ordre de priorité	Attribut	Explication
1	Weight (points)	Défini localement (plus grand = préféré)
2	Local Preference	Préférence interne à l'AS
3	AS-PATH	Moins d'AS traversés = mieux
4	Origin	Type d'origine de la route
5	MED (Multi Exit Discriminator)	Préférence pour certaines sorties
6	eBGP vs iBGP	Les routes eBGP sont préférées
7	IP du voisin	Plus petit = préféré (critère final)

Fonctionnement de BGP

? Exemple

Propagation

Chaque routeur envoie les routes apprises via eBGP à ses voisins internes (iBGP). Mais il ne réannonce pas les routes iBGP à d'autres routeurs iBGP (pour éviter les boucles).

Exemple

Scénario: Trois systèmes autonomes →→→



Situation

AS100 annonce le réseau : 192.168.10.0/24

AS200 annonce 10.0.0.0/8

AS300 annonce 8.8.8.0/24

Échanges:

AS100 envoie « je connais 192.168.10.0/24 » à AS200 → AS-PATH = [100]

AS200 ré-annonce à AS300 → AS-PATH = [200,100] « Cela veut dire : pour atteindre 192.168.10.0/24, il faut passer d'abord par AS200, puis par AS100 ».

AS300 envoie à ses voisins → AS-PATH = [300,200,100].

Ainsi, quand un paquet arrive dans le réseau Google vers 192.168.10.0, le routeur de Google lit le AS-PATH [300,200,100] et l'envoie vers AS200 puis AS100

Fonctionnement de BGP

e) Exercice : TEST

Dans un réseau, l'équipement qui prend généralement les décisions de routage est :

- ☐ le switch
- ☐ le routeur
- ☐ l'imprimante
- ☐ le serveur web

f) Exercice : TEST

BGP est principalement utilisé ?

Exercice : Test Finale



Exercice

Pourquoi utilise-t-on dot1Q ?

Exercice

Deux machines A et B sont connectés sur le même switch physique mais ont des adresses IP appartenant à des réseaux différents. Quelles modifications faut-il appliquer ?

Exercice

Expliquez le sens de {R 40.0.0.0/8 [120/2] via 204.40.0.2} ?

Exercice

4. Quelle commande sert à afficher la table de routage ?

Exercice : Test Finale



Ordre de priorité des critères BGP : Ordre de priorité BGP : **MED** → **Type (eBGP/iBGP)** → **AS-PATH** → **LocalPref** → **Weight** → **Origine**

1. Local Preference
2. Type d'origine
3. Type de route
4. Weight
5. MED
6. Longueur du AS-PATH
7. Route d'origine locale

Réponse : _____