

Chap.V. Les protocoles de routage

Un ordinateur peut communiquer avec un autre situé à des kilomètres et dont il ne connaît que son adresse IP grâce, premièrement, aux réseaux de nombreux opérateurs publics et privés qui assurent une connexion physique entre les deux ordinateurs et deuxièmement parce que le protocole IP est routable.

D'un point de vue utilisateur, Internet est un immense et unique réseau (Figure V.1.a). En réalité, Internet est composé d'un ensemble de réseaux reliés via des équipements particuliers : les routeurs (Figure V.1.b).

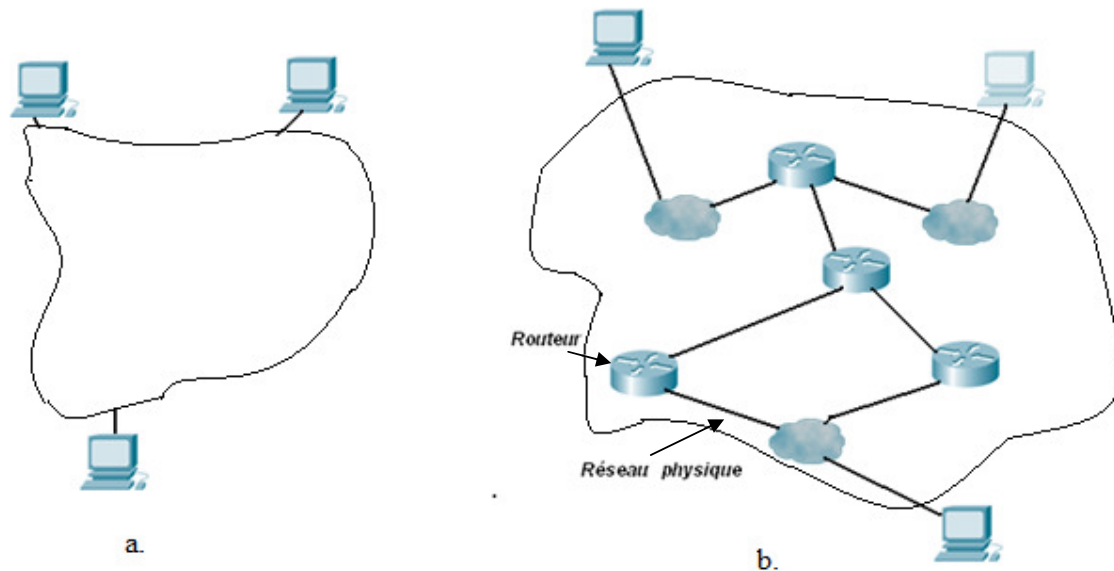


Figure V.1. Internet

Les routeurs possèdent de nombreux composants matériels et logiciels que l'on trouve également dans les ordinateurs : Processeur, Système d'exploitation et Mémoire de stockage (RAM, ROM, NVRAM, Flash, disque dur).

Mémoire vive (RAM) : fournit un stockage temporaire pour des applications et processus divers tels que l'IOS (Internetwork Operating System) actuel, le fichier de configuration en cours, différentes tables (par exemple, table de routage IP, table ARP Ethernet) et les tampons pour le traitement des paquets. La mémoire vive est dite volatile car elle perd son contenu lors de la mise hors tension.

Mémoire morte (ROM) : assure le stockage permanent des instructions de démarrage, du logiciel de diagnostic de base et d'une version limitée de l'IOS au cas où le routeur ne peut pas charger l'IOS complet. Elle est dite non volatile car elle ne perd pas son contenu lors de la mise hors tension.

La Mémoire vive non volatile (NVRAM) : garantit le stockage permanent du fichier de configuration initiale (startup-config). La mémoire vive non volatile ne perd pas son contenu lors de la mise hors tension.

Flash : offre le stockage permanent de l'IOS et d'autres fichiers liés au système. L'IOS est copié de la mémoire Flash vers la mémoire vive lors du processus de démarrage. La mémoire Flash est non volatile et ne perd pas son contenu lors de la mise hors tension.

Un routeur relie plusieurs réseaux. Pour ce faire, il dispose de plusieurs interfaces, chacune appartenant à un réseau IP différent. Lorsqu'un routeur reçoit un paquet IP sur une interface, il détermine quelle interface utiliser pour transférer le paquet vers sa destination. L'interface utilisée par le routeur pour transférer le paquet peut être le réseau de la destination finale du paquet (celui qui porte l'adresse IP de destination de ce paquet) ou il peut s'agir d'un réseau relié à un autre routeur utilisé pour accéder au réseau de destination.

Chaque réseau auquel un routeur se connecte nécessite une interface séparée. Ces interfaces servent à accueillir une combinaison de réseaux locaux (LAN) et de réseaux étendus. Les réseaux locaux sont souvent des réseaux Ethernet qui contiennent des périphériques tels que des ordinateurs personnels, des imprimantes et des serveurs. Les réseaux étendus sont utilisés pour relier des réseaux dans une zone géographique vaste. Par exemple, une connexion WAN est souvent utilisée pour relier un réseau local au réseau du fournisseur de services Internet (FAI).

Le routeur assure principalement l'interconnexion des réseaux en :

- déterminant le meilleur chemin pour l'envoi des paquets ;
- transférant les paquets vers leur destination.

Les routeurs transfèrent les paquets en obtenant des informations sur les réseaux distants et en gérant les informations de routage. La décision principale de transfert des routeurs est basée sur les informations de couche 3 c'est à dire l'adresse IP de destination.

Le routage IP est capable de choisir un chemin (une route) suivant lequel les paquets de données seront relayés de proche en proche jusqu'au destinataire. A chaque relais sur la route correspond un routeur. Le routage IP fonctionne de façon totalement décentralisée au niveau des machines qui constituent le réseau. Aucun n'a une vision globale de la route que prendront les paquets de données.

Remarque : Les différentes technologies de liaison de données auxquelles un routeur peut se connecter incluent Ethernet, PPP (Point-to-Point Protocol), Frame Relay, DSL, câble et sans fil (802.11, Bluetooth).

V.1 Concepts de la table de routage

Une table de routage est un fichier de données dans la mémoire vive qui sert à stocker des informations concernant la route pour les réseaux connectés directement et les réseaux distants. La table de routage contient des associations **réseau / routeur suivant**. Celles-ci informent un routeur qu'une destination donnée peut être atteinte de manière optimale en

envoyant le paquet à un routeur donné, lequel représente le « routeur suivant » sur le chemin menant à la destination finale.

La table de routage détermine l'interface de sortie pour transférer le paquet et le routeur encapsule ce paquet dans la trame liaison de données appropriée pour cette interface sortante.

Un réseau distant n'est pas connecté directement au routeur ; c'est-à-dire qu'un réseau distant est un réseau qui peut être atteint uniquement en envoyant le paquet à un autre routeur. Les réseaux distants sont ajoutés à la table de routage grâce à *un protocole de routage dynamique* ou grâce à *la configuration de routes statiques*. Les routes dynamiques, qui mènent à des réseaux distants, sont apprises automatiquement par le routeur et utilisent un protocole de routage dynamique. Les routes statiques mènent à des réseaux configurés manuellement par l'administrateur réseau.

La table de routage est donc composée d'une liste d'adresses réseau « connues », à savoir les *adresses connectées directement, configurées de manière statique et apprises de manière dynamique*. Une table de routage est une liste contenant essentiellement trois types d'information :

- *des adresses réseau*
- *le masque réseau associé et*
- *le moyen de les atteindre.*

Soit le réseau est directement connecté à l'appareil, dans ce cas **le moyen de l'atteindre** est le **nom de l'interface (s0/0/0, fa0/0...)**. Soit, il s'agit de **l'adresse du prochain routeur** situé sur la route vers ce réseau (@ IP).

Par exemple, considérons la table de routage sur une machine quelconque:

	Réseau	Masque	Moyen de l'atteindre
C	192.168.2.0	255.255.255.0	S0/0/0
C	100.0.0.0	255.0.0.0	Fa0/0
C	101.0.0.0	255.0.0.0	Fa0/1
	192.168.1.0	255.255.255.0	100.0.0.1
	192.168.3.0	255.255.255.0	101.0.0.2

Figure V.2. Table de routage

Cette table indique que :

- La machine possède trois interfaces réseau (S0/0/0, Fa0/0, Fa0/1) ainsi que les adresses IP des réseaux qui sont directement reliés à ces interfaces.
- On connaît les adresses IP de deux routeurs (100.0.0.1 et 101.0.0.2).
- On sait qu'il existe deux réseaux 192.168.1.0 et 192.168.3.0 et qu'ils sont respectivement derrière les routeurs 100.0.0.1 et 101.0.0.2.

- Par contre, il est impossible d'affirmer que ces deux réseaux sont directement reliés à ces routeurs.

Le réseau qui ***pourrait*** correspondre à cette table de routage (du routeur R1) est le suivant (figure V.3) :

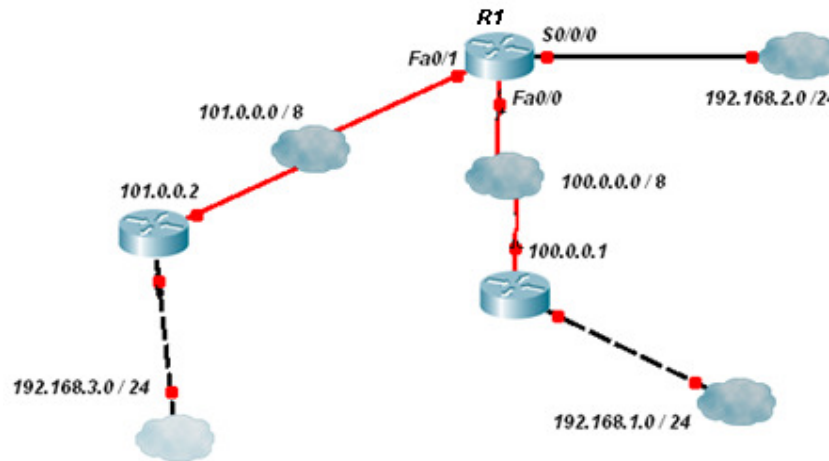


Figure V.3. Réseau correspondant à la table de routage de la figure V.2

Principes d'une table de routage

Principe 1 : Chaque routeur prend sa décision seul, en se basant sur les informations dont il dispose dans sa propre table de routage.

Principe 2 : Le fait qu'un routeur dispose de certaines informations dans sa table de routage ne signifie pas que d'autres routeurs ont les mêmes informations.

Principe 3 : Les informations de routage concernant un chemin d'un réseau à l'autre ne fournissent aucune information de routage sur le chemin inverse ou de retour.

V.2 Mécanismes de transfert des paquets

- **Ancien mécanisme de transfert :** Lorsqu'un paquet arrive sur une interface, le processeur fait correspondre l'adresse de destination avec une entrée de sa table de routage, puis détermine l'interface de sortie et transmet le paquet. Le routeur effectue cette opération pour chaque paquet, même si la destination est identique pour une série de paquets. Ce mécanisme de commutation de processus est très lent (rarement mis en œuvre dans les réseaux modernes).

Dans une route statique de tronçon suivant, seule l'adresse IP de tronçon suivant est spécifiée. L'interface de sortie est dérivée du tronçon suivant. Avant qu'un routeur ne transfère un paquet, le processus de la table de routage doit déterminer l'interface de sortie à utiliser pour transférer le paquet. C'est ce que l'on appelle la *résolvabilité d'une route*.

Pour chaque route qui ne fait référence qu'à une seule adresse IPv4 de tronçon suivant et qui ne fait référence à aucune interface de sortie, l'adresse IPv4 de tronçon suivant doit être résolue à l'aide d'une autre route figurant dans la table de routage et disposant d'une interface de sortie. Il faut donc deux processus de recherche dans la table de routage pour transférer un paquet.

Lorsque le routeur effectue plusieurs recherches dans la table de routage avant de transférer un paquet, il exécute un processus appelé recherche récursive. Étant donné que les recherches récurrentes consomment des ressources du routeur, elles doivent être évitées si possible.

• **CEF (Cisco Express Forwarding)** : le protocole CEF est le mécanisme de transfert de paquets Cisco IOS le plus récent et le plus utilisé. Le protocole CEF fournit une recherche optimisée pour la transmission efficace des paquets en utilisant deux structures de données principales *stockées dans le plan de données* (cache à commutation rapide) : une FIB, qui est une copie de la table de routage, et une table adjacente qui comprend les informations d'adressage de couche 2. Les informations combinées de ces deux tables fonctionnent ensemble, de sorte qu'aucune recherche récursive n'est requise pour les recherches d'adresse IP de tronçon suivant, c'est-à-dire qu'une route statique utilisant une adresse IP de tronçon suivant ne nécessite qu'une seule recherche lorsque le protocole CEF est activé sur le routeur.

Le protocole CEF est le mécanisme de transfert le plus rapide (et le choix privilégié pour les routeurs Cisco).

V.3 Algorithmes de routage

Le fonctionnement d'un routeur est déterminé par la façon selon laquelle la table de routage est créée et mise à jour.

1- Si la table de routage est entrée manuellement par l'administrateur, on parle de **routage statique (ou routage non adaptatif)**. Dans ce cas c'est l'administrateur qui met à jour cette table. Le choix de la route à emprunter est calculée à l'avance, à partir des caractéristiques générales du réseau telles que la topologie, le trafic moyen attendu...

2- Si le routeur construit lui-même la table de routage en fonction des informations qu'il reçoit, on parle de **routage dynamique (ou routage adaptatif)**. Dans ce cas un protocole de routage permet de mettre à jour automatiquement la table de routage pour qu'elle contienne à tout moment la route optimale.

V.4 Le routage statique

Le routage statique consiste à indiquer l'adresse IP des réseaux que l'on cherche à atteindre. On associe à chaque adresse, le nom de l'interface du routeur ou l'adresse IP du routeur voisin se situant sur la route vers ces réseaux de destination.

Une route statique inclut l'adresse réseau et le masque de sous-réseau du réseau distant, ainsi que l'adresse IP du routeur suivant et/ou de l'interface de sortie.

Les routes statiques sont communément utilisées lors du routage d'un réseau vers un réseau d'extrémité. *Un réseau d'extrémité est un réseau accessible par une seule route.*

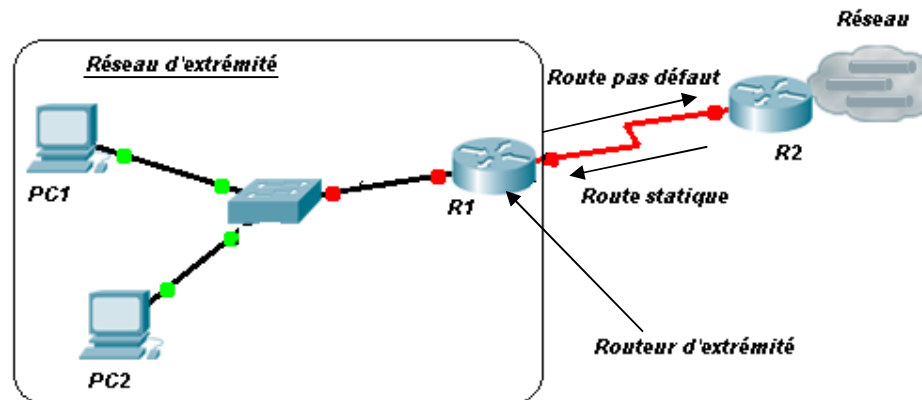


Figure V.4. Réseau d'extrémité - Route Statique

Les routes statiques sont configurées pour la connectivité avec les réseaux distants.

Pour les grands réseaux, cette opération manuelle (la configuration) peut être fastidieuse et source d'erreurs. De plus, lorsqu'un nouveau réseau est ajouté, il faut reconfigurer l'ensemble du réseau. Enfin, pour prévenir tout dysfonctionnement (panne d'un routeur, ligne coupée, etc.), il faut effectuer une surveillance permanente et reconfigurer chaque routeur. Si la route est rétablie, il faut recommencer la manipulation.

Le routage statique est principalement utilisé pour les raisons suivantes :

- faciliter la maintenance des tables de routage dans les réseaux de petite taille qui ne sont pas amenés à se développer de manière significative ;
- effectuer le routage depuis et vers des réseaux d'extrémité;
- utiliser une seule route par défaut, servant à représenter un chemin vers tout réseau ne présentant aucune correspondance plus spécifique avec une autre route figurant dans la table de routage.

Avantages du routage statique :

- le traitement réalisé par le processeur est minimal ;
- facile à comprendre par l'administrateur ;
- facile à configurer.

Inconvénients du routage statique :

- la configuration et la maintenance prennent du temps ;
- la configuration présente des risques d'erreurs ;
- l'intervention de l'administrateur est requise pour assurer la mise à jour des informations relatives aux routes ;
- n'évolue pas bien avec les réseaux en expansion et la maintenance devient fastidieuse ;
- exige une connaissance complète de l'ensemble du réseau pour une implémentation correcte.

V.4.1 Les types de routes statiques :

- Route statique standard
- Route statique par défaut
- Route statique récapitulative (ou résumé de route)
- Route statique flottante

a. Route statique standard

Les routes statiques sont utiles pour la connexion d'un réseau distant spécifique.

b. Route statique par défaut

Les routes par défaut sont très courantes sur les routeurs. Plutôt que de devoir stocker des routes pour tous les réseaux sur Internet, les routeurs peuvent stocker une seule route par défaut pour représenter n'importe quel réseau absent de la table de routage (voir figure V.4).

Une route statique par défaut est une route qui correspond à tous les paquets. Les routes statiques par défaut sont utilisées (représentée par **0.0.0.0** dans la table de routage) :

- Quand aucune route de la table de routage ne correspond à l'adresse IP de destination du paquet, en d'autres termes, en l'absence d'une correspondance plus spécifique. Elles sont couramment utilisées lors de la connexion d'un routeur de périphérie d'une société au réseau FAI (Fournisseur d'Accès Internet).
- Lorsqu'un routeur (routeur d'extrémité) n'est connecté qu'à un seul autre routeur.

c. Route statique récapitulative (ou résumé de route)

La création de tables de routage moins volumineuses permet d'optimiser le processus de recherche dans la table de routage (parce qu'il y a moins de routes à rechercher). Si une seule route statique peut être utilisée au lieu de plusieurs routes statiques, la taille de la table de routage est réduite. Nous pouvons utiliser une seule adresse réseau pour représenter plusieurs sous-réseaux. Par exemple, les réseaux 10.0.0.0/16, 10.1.0.0/16, 10.2.0.0/16, 10.3.0.0/16, 10.4.0.0/16, 10.5.0.0/16, et ainsi de suite jusqu'à 10.255.0.0/16, peuvent être représentés par une seule adresse réseau : 10.0.0.0/8.

Plusieurs routes statiques peuvent être résumées en une seule route statique **si** :

- les réseaux de destination sont contigus et peuvent être *résumés (récapitulés) dans une adresse réseau unique* ;
- les multiples routes statiques utilisent toutes *la même interface de sortie* ou adresse IP de tronçon suivant.

Il s'agit d'un *résumé de routage*.

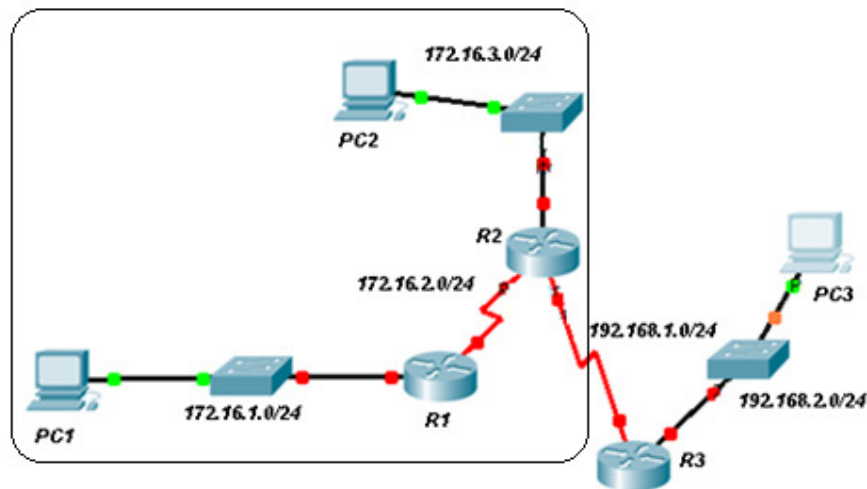


Figure V.5. Réseau permettant un résumé de routage

Dans cet exemple (Figure V.5), le routeur R3 possède trois routes statiques (vers les réseaux 172.16.1.0, 172.16.2.0 et 172.16.3.0). Les trois routes transfèrent du trafic vers la même interface du routeur R2.

Nous allons résumer l'ensemble de ces routes dans une **route statique unique**. Les trois routes utilisant la même interface de sortie peuvent être résumées vers le réseau unique 172.16.0.0/22 et nous pouvons créer un seul résumé de routage.

Calcul d'un résumé de routage :

1. Répertoriez les réseaux à résumer en format binaire.

172.16.1.0	10101100.00010000.00000000.00000000
172.16.2.0	10101100.00010000.00000010.00000000
172.16.3.0	10101100.00010000.00000011.00000000

2. Pour trouver le masque de sous-réseau pour le résumé, commencez par le bit le plus à gauche. Progressez vers la droite, en recherchant tous les bits qui correspondent consécutivement. Lorsque vous rencontrez une colonne dont les bits ne correspondent plus, arrêtez-vous. Vous êtes à la limite du résumé.
3. À présent, comptez le nombre de bits correspondants les plus à gauche, 22 dans notre exemple. Ce nombre devient votre masque de sous-réseau pour la route résumée : /22 ou 255.255.252.0
4. Pour rechercher l'adresse réseau pour le résumé, copiez les 22 bits correspondants et ajoutez tous les bits 0 à la fin pour obtenir 32 bits.

En suivant ces étapes, les trois routes statiques sur R3 peuvent être résumées en une seule route statique, en utilisant l'adresse réseau résumée, 172.16.0.0 avec le masque 255.255.252.0

d. Route statique flottante

Les routes statiques flottantes sont des routes statiques utilisées pour fournir un chemin de secours à une route statique ou une route dynamique principale, en cas d'échec de lien. La route statique flottante est utilisée uniquement lorsque la route principale n'est pas disponible.

Pour cela, la route statique flottante est configurée avec une distance administrative plus élevée que la route principale. Si plusieurs chemins vers la destination existent, le routeur choisira le chemin présentant la plus petite distance administrative.

V.5 Le routage dynamique

Chaque routeur connaît les adresses des réseaux auxquels il est directement relié puisque chacune de ses interfaces possède une adresse IP. De plus, étant directement au contact des supports de communication, il peut établir un diagnostic sur l'état des liaisons. Il n'a plus qu'à les partager avec ses voisins. De proche en proche, les nouvelles se répandront à chaque routeur du réseau. Les algorithmes dynamiques modifient leurs décisions de routage pour refléter aussi bien le changement de topologies que de trafic dans le réseau.

Il existe plusieurs algorithmes dynamiques et diffèrent selon :

- L'endroit où ils se procurent leurs informations de routage (localement sur les routeurs voisins ou sur tout le réseau).
- L'instant où ils changent de route (toutes les Δt secondes, lorsque la charge du réseau change, ou lorsque la topologie change).
- La métrique d'optimisation utilisée (distance parcourue, nombre de sauts, le temps de traversé du réseau).

Remarque : La table de routage **ne pointe que sur le routeur suivant** dans le même réseau physique et **ne contient pas** le chemin complet jusqu'à la destination.

Les protocoles de routage dynamique sont utilisés pour faciliter l'échange d'informations de routage entre des routeurs. Ils permettent aux routeurs de partager de manière dynamique des informations sur les réseaux distants et d'ajouter automatiquement ces informations à leurs propres tables de routage.

Les protocoles de routage déterminent le meilleur chemin vers chaque réseau, lequel est ensuite ajouté à la table de routage. **L'un des principaux avantages** de l'utilisation d'un protocole de routage dynamique est **l'échange d'informations** de routage entre les routeurs **dès qu'une topologie est modifiée**. Cet échange permet aux routeurs de découvrir automatiquement de nouveaux réseaux et également de trouver d'autres chemins en cas d'échec d'un lien vers un réseau actif.

Par rapport au routage statique, les protocoles de routage dynamique requièrent une charge administrative moindre. Toutefois, **l'utilisation de protocoles de routage dynamique** implique **qu'une partie des ressources d'un routeur est dédiée au fonctionnement du protocole** (le temps processeur et la bande passante du lien réseau). Malgré les avantages du routage dynamique, le routage statique existe toujours. Selon la situation, l'un conviendra mieux que l'autre. Dans un réseau de complexité moyenne, on fait souvent appel à une combinaison de ces deux types de routage.

V.5.1 Fonction des protocoles de routage dynamique

Un protocole de routage est un ensemble de processus, d'algorithmes et de messages qui sont utilisés pour échanger des informations de routage et construire la table de routage en y indiquant les meilleurs chemins choisis par le protocole. Un protocole de routage permet d'effectuer les opérations suivantes :

- Découverte des réseaux distants ;
- Actualisation des informations de routage ;
- Choix du meilleur chemin vers des réseaux de destination ;
- Capacité à trouver un nouveau meilleur chemin si le chemin actuel n'est plus disponible.

Les composants d'un protocole de routage sont :

Structures de données : pour fonctionner, certains protocoles de routage utilisent des tables et/ou des bases de données.

Algorithme : un algorithme est une liste précise d'étapes permettant d'accomplir une tâche. Les protocoles de routage utilisent des algorithmes pour faciliter l'échange d'informations de routage et déterminer le meilleur chemin d'accès.

Messages de protocoles de routage : les protocoles de routage utilisent différents types de messages pour découvrir les routeurs voisins, échanger des informations de routage et effectuer d'autres tâches afin d'obtenir et de gérer des informations précises sur le réseau.

V.5.2 Classification des protocoles de routage dynamique

Les protocoles de routage peuvent être classés dans différents groupes selon leurs caractéristiques. Les protocoles de routage les plus couramment utilisés sont les suivants :

- RIP : protocole de routage intérieur à vecteur de distance.
- IGRP : protocole de routage intérieur à vecteur de distance développé par Cisco
- OSPF : protocole de routage intérieur à état de liens.
- IS-IS : protocole de routage intérieur à état de liens.
- EIGRP : protocole de routage intérieur à vecteur de distance avancé développé par Cisco.
- BGP : protocole de routage extérieur à vecteur de chemin.

V.6 Protocoles de routage intra système IGP (RIP, OSPF)

On appelle système autonome (AS) un ensemble de routeurs et de réseaux reliés les uns aux autres, gérés par une administration unique et s'échangeant des paquets grâce à un même protocole de routage.

Chaque AS peut choisir son protocole de routage : on parle de protocole de routage intérieur : IGP (Interior Gateway Protocol) ou IRP (Interior Routing Protocol). Exemple: RIP: Routing Information Protocol, OSPF: Open Shortest Path first.

Internet est composé d'une collection de systèmes autonomes (réseaux privés ou publics).

Remarque : La communication inter AS (ou inter domaine) est à la charge d'une autre famille de protocoles: EGP (Exterior Gateway Protocol) ou ERP (Exterior Routing Protocol). Les protocoles EGP doivent avoir une connaissance des divers AS pour accomplir leur tâche. Ces protocoles sont conçus pour être utilisés entre différents systèmes autonomes qui sont contrôlés par des administrations distinctes. BGP est le seul protocole de routage EGP utilisé par Internet. Le protocole BGP est un protocole à vecteur de chemin qui peut utiliser de nombreux attributs différents pour mesurer les routes. Le protocole BGP est généralement utilisé par les FAI pour communiquer entre eux ou avec une société.

V.6.1 Classification des protocoles de routage IGP

- Les protocoles IGP (Interior Gateway Protocols) peuvent appartenir à deux types de routage:
 - Protocoles de routage à vecteur de distance
 - Protocoles de routage à état de liens

V.6.1.1 Fonctionnement des protocoles de routage à vecteur de distance

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), et la **direction** est simplement le **routeur suivant ou l'interface de sortie**. Certains protocoles à vecteur de distance envoient régulièrement des tables de routage entières à tous les voisins connectés. Dans le cas des grands réseaux, ces mises à jour de routage peuvent être gigantesques et générer un trafic important sur les liens.

Les protocoles de routage déterminent le meilleur chemin en fonction de la route qui présente la métrique la plus faible. Parmi les protocoles de routage à vecteur de distance, on compte :

- RIPv1
- RIPv2
- IGRP
- EIGRP

Les routeurs qui utilisent des protocoles de routage à vecteur de distance déterminent le meilleur chemin vers les réseaux de destination sur la base des informations qu'ils ont apprises de leurs voisins. Par exemple, si le routeur R1 découvre deux chemins vers le même réseau, un via le routeur R2 à 7 sauts et l'autre via le routeur R3 à 10 sauts, il choisira le chemin le plus court et utilisera le routeur R2 comme routeur suivant. Le routeur R1 ne sait pas du tout comment se présente le réseau au-delà des routeurs R2 et R3 et il ne peut choisir son meilleur chemin qu'en fonction des informations qui lui sont envoyées par ces deux routeurs.

Les protocoles à vecteur de distance utilisent les routeurs comme « poteaux indicateurs » le long du chemin et ceci jusqu'à la destination finale. La seule information dont dispose un routeur à propos d'un réseau distant est la distance ou métrique d'éloignement de ce réseau et l'interface à utiliser pour y accéder.

Les protocoles à vecteur de distance sont particulièrement adaptés aux situations suivantes :

- Le réseau est simple et linéaire et ne nécessite pas de conception hiérarchique particulière.
- Les administrateurs ne sont pas suffisamment expérimentés pour configurer et dépanner les protocoles à état de liens.
- Des délais de **convergence** longs sur un réseau ne posent pas problème.

On parle de convergence lorsque les tables de routage de tous les routeurs sont parfaitement cohérentes. Le réseau a convergé lorsque tous les routeurs disposent d'informations complètes et précises sur le réseau. **Le temps de convergence est le temps nécessaire aux routeurs pour partager des informations de routage, calculer les meilleurs chemins et mettre à jour leurs tables de routage.** Un réseau n'est pas complètement opérationnel tant qu'il n'a pas convergé. Par conséquent, le temps de convergence doit être bref pour la plupart des réseaux.

V.6.1.2 Fonctionnement des protocoles à état de liens

Les protocoles de routage à état de liens sont également connus sous le nom de protocoles du plus court chemin et sont élaborés à partir de l'algorithme du plus court chemin (SPF) d'Edsger Dijkstra. Il existe deux protocoles de routage à état de liens pour IP : OSPF (Open Shortest Path First) et IS-IS (Intermediate-System-to-Intermediate-System).

À la différence d'un protocole de routage à vecteur de distance, un routeur configuré avec un protocole de routage à état de liens peut créer une « vue complète » ou topologie du réseau en récupérant des informations provenant de tous les autres routeurs. Tous les routeurs à état de liens utilisent une « carte » identique du réseau. Un routeur à état de liens utilise les informations d'état de liens pour créer une topologie et sélectionner le meilleur chemin vers tous les réseaux de destination de la topologie.

Les protocoles de routage à état de liens n'utilisent pas de mises à jour régulières. Une fois que le réseau a convergé, une mise à jour d'état de liens est envoyée uniquement en cas de modification de la topologie.

Les protocoles à état de liens sont tout particulièrement adaptés dans les situations suivantes :

- réseau conçu de manière hiérarchique (il s'agit généralement de grands réseaux) ;
- administrateurs ayant une bonne connaissance du protocole de routage à état de liens implémenté ;
- réseau pour lequel une convergence rapide est primordiale.

➤ Les protocoles IGP peuvent aussi être classés en deux catégories:

- Protocoles de routage par classe
- Protocole de routage sans classe

V.6.1.3 Protocoles de routage par classe

Les protocoles de routage par classe n'envoient pas les informations de masque de sous-réseau dans les mises à jour de routage. Les premiers protocoles de routage, comme RIP, étaient des protocoles par classe. Les adresses réseau étaient alors allouées en fonction de classes (A, B ou C). Il n'était pas nécessaire que le protocole de routage inclue le masque de sous-réseau dans la mise à jour de routage, car le masque de réseau pouvait être déterminé en fonction du premier octet de l'adresse réseau.

Les protocoles de routage par classe peuvent encore être utilisés dans certains réseaux actuels, mais dans la mesure où ils n'incluent pas le masque de sous-réseau, ils ne peuvent pas être utilisés dans toutes les situations. Les protocoles de routage par classe ne peuvent pas être utilisés lorsqu'un réseau est divisé en sous-réseaux à l'aide de plusieurs masques de sous-réseau. **En d'autres termes, les protocoles de routage par classe ne prennent pas en charge les masques de sous-réseau de longueur variable (VLSM).**

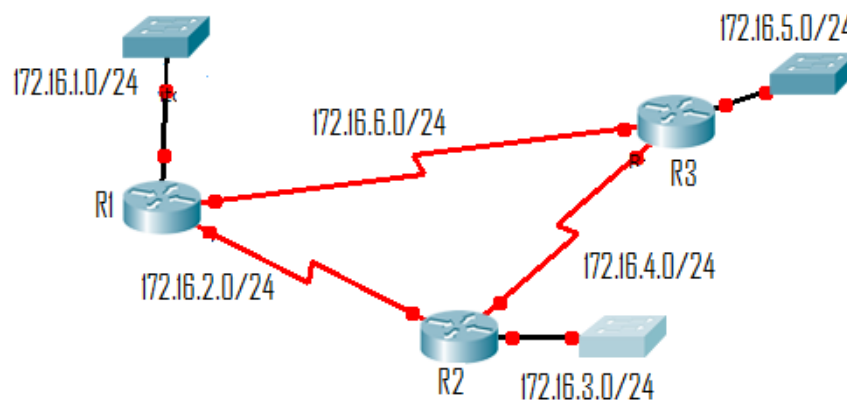


Figure V.6. Le masque de sous réseau est identique dans toute la topologie.

Les protocoles de routage par classe (RIPv1 et IGRP) présentent d'autres limites, comme leur incapacité à prendre en charge les réseaux discontinus (voir routage RIP).

V.6.1.4 Protocoles de routage sans classe

Les protocoles de routage sans classe envoient le masque de sous-réseau avec l'adresse réseau dans les mises à jour de routage. Les réseaux actuels ne sont plus alloués en fonction de classes et le masque de sous-réseau ne peut pas être déterminé par la valeur du premier octet. Les protocoles de routage sans classe sont utilisés dans la plupart des réseaux actuels, car ils prennent en charge les masques de sous-réseau de longueur variable (VLSM), les réseaux discontinus et d'autres fonctionnalités (voir Figure V.7).

Les protocoles RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS et BGP font partie des protocoles de routage sans classe.

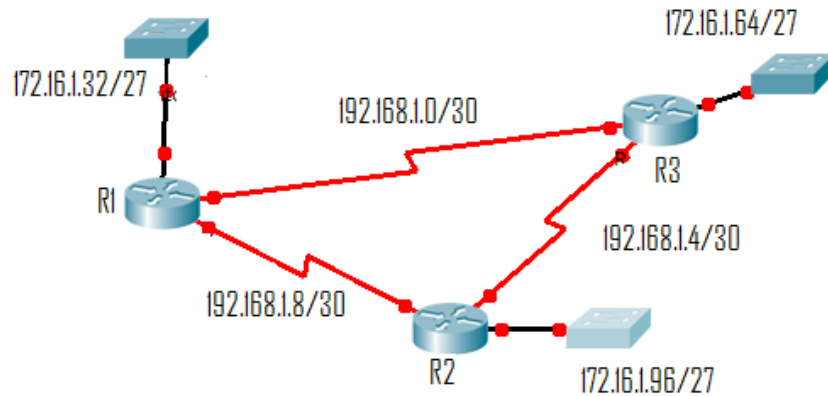


Figure V.7. Le masque de sous-réseau peut varier dans la topologie

V.7 Métriques et protocoles de routage

Les métriques utilisées par les protocoles de routage varient en fonction du protocole. La métrique utilisée par un protocole de routage n'est pas comparable à celle utilisée par un autre protocole. Deux protocoles de routage différents peuvent choisir des chemins différents vers une même destination en raison des métriques qu'ils utilisent.

Le protocole RIP choisit le chemin impliquant le moins de sauts, tandis que le protocole OSPF choisit celui qui présente la bande passante la plus élevée.

Les métriques suivantes sont utilisées dans les protocoles de routage IP :

- **Nombre de sauts** : métrique simple qui compte le nombre de routeurs qu'un paquet doit traverser.
- **Bande passante** : influence la sélection du chemin en préférant celui dont la bande passante est la plus élevée.
- **Charge** : prend en considération l'utilisation d'un lien spécifique en termes de trafic.
- **Délai** : prend en considération le temps nécessaire à un paquet pour parcourir un chemin.
- **Fiabilité** : évalue la probabilité d'échec d'un lien, calculée à partir du nombre d'erreurs de l'interface ou des précédentes défaillances du lien.
- **Coût** : valeur déterminée par l'administrateur réseau pour indiquer une préférence pour une route. Le coût peut représenter une métrique, une combinaison de métriques ou une stratégie.

Exemple de métrique utilisée par certains des protocoles de routage :

RIP : nombre de sauts. Le meilleur chemin est la route présentant le nombre de sauts le plus faible.

IGRP et EIGRP : bande passante, Délai, Fiabilité et Charge. Le meilleur chemin est la route présentant la plus petite valeur de métrique composite, calculée à partir de ces différents paramètres. Par défaut, seuls la bande passante et le délai sont utilisés.

IS-IS et OSPF : coût. Le meilleur chemin est la route associée au coût le plus faible. L'implémentation du protocole OSPF par Cisco utilise la bande passante.

Remarque : Dans le cas où il existe deux ou plusieurs chemins à coût égal, le routeur ne choisit pas une seule route, *il équilibre la charge entre ces chemins à coût égal.*

V.8 Distance administrative (DA)

Il est possible de déployer plusieurs protocoles de routage dynamique sur le même réseau (Il est rare que les routeurs exécutent plusieurs protocoles de routage dynamique). Dans certaines situations, il peut être nécessaire d'acheminer la même adresse réseau en utilisant plusieurs protocoles de routage comme RIP et OSPF. Puisque chaque protocole de routage fait appel à des métriques différentes, le protocole RIP utilisant le nombre de sauts et le protocole OSPF la bande passante, il n'est pas possible de comparer les métriques pour déterminer le meilleur chemin.

La distance administrative (DA) définit la préférence (ou la fiabilité) d'une source de routage. Chaque source de routage (y compris les protocoles de routage spécifiques, les routes statiques et même les réseaux connectés directement) est classée par ordre de priorité, du plus préférable au moins préférable, à l'aide d'une valeur de distance administrative.

La distance administrative est une valeur entière comprise entre 0 et 255. Plus la valeur est faible, plus la source de la route est privilégiée. Une distance administrative de 0 est idéale. **Seul un réseau directement connecté a une distance administrative égale à 0, laquelle ne peut pas être modifiée.**

Il est possible de modifier la distance administrative des routes statiques et des protocoles de routage dynamique.

Origine de la route	Distance Administrative
Connecté	0
Statique	1
EIGRP	90
OSPF	110
RIP	120

V.9 Protocole de routage EGP (BGP)

Internet relie des réseaux appartenant à des acteurs (entreprises, administrations, opérateurs de télécommunication, fournisseurs d'accès...) très différents. Il est peu probable qu'un consensus se dégage naturellement autour d'un même algorithme de routage dynamique et d'une même métrique. Ajoutons que des accords sont passés entre ces acteurs afin d'acheminer le trafic dans l'Internet et que celui-ci franchit des frontières, ce qui impose de respecter les réglementations locales. Le protocole BGP (Border Gateway Protocol) a été conçu pour répondre à ces problèmes.

Un système autonome, également appelé domaine de routage, est un ensemble de routeurs dont l'administration est commune (par exemple : le réseau interne d'une société et le réseau d'un fournisseur de services Internet).

La figure V.8 présente une vue simplifiée de la différence entre les protocoles IGP et EGP.

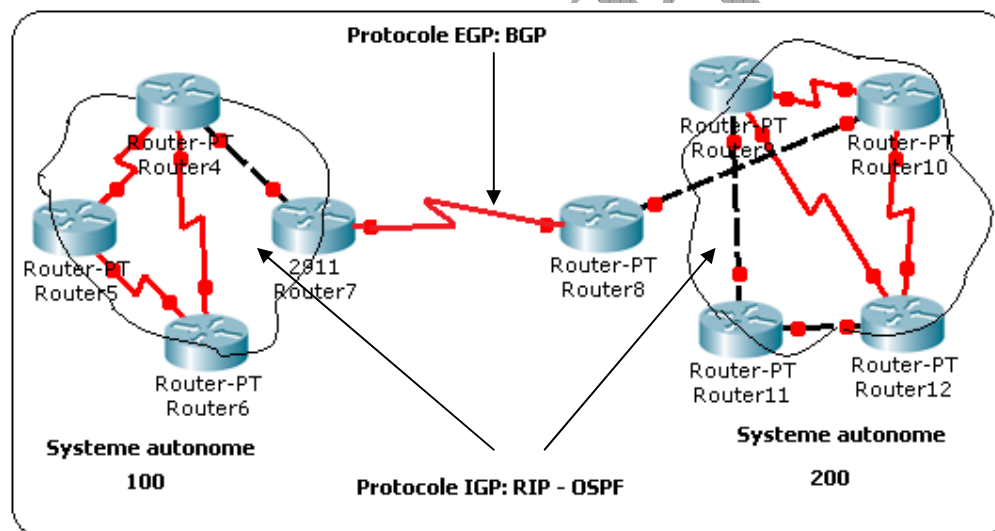


Figure V.8 Protocoles IGP et EGP.

V.9.1 Le concept de système autonome

Au sein d'une même organisation, les décisions concernant la topologie ou la politique de routage sont, en général, prises par une autorité unique. Par conséquent, le routage à l'intérieur de l'organisation est basé sur la confiance et un protocole de type IGP est mis en œuvre. Un réseau fonctionnant sous une autorité unique est appelé un *système autonome* (AS). En pratique, un AS regroupe un ou plusieurs réseaux et un ou plusieurs routeurs ainsi que le montre l'exemple de la figure V.9:

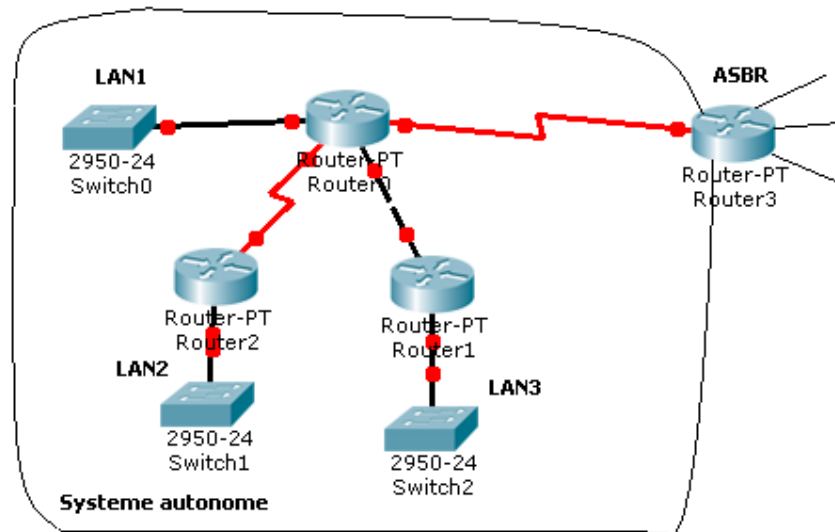


Figure V.9 Un système autonome constitué de plusieurs réseaux

Les AS sont identifiés par un numéro sur 16 bits unique attribué par les mêmes organismes qui affectent les adresses IP. Il existe une plage de numéros d'AS privés de 64 512 à 65 535 pour ceux qui ne possèdent pas de numéro d'AS public.

A l'intérieur d'un AS, l'administrateur de l'AS, choisi son protocole de routage et la métrique qu'il juge pertinente. La seule contrainte, c'est qu'il doit désigner un ou plusieurs routeurs, à la frontière de son AS (ASBR), pour propager les informations d'accessibilité des réseaux de l'AS et collecter les informations d'accessibilité des autres ASBR (Figure V.10).

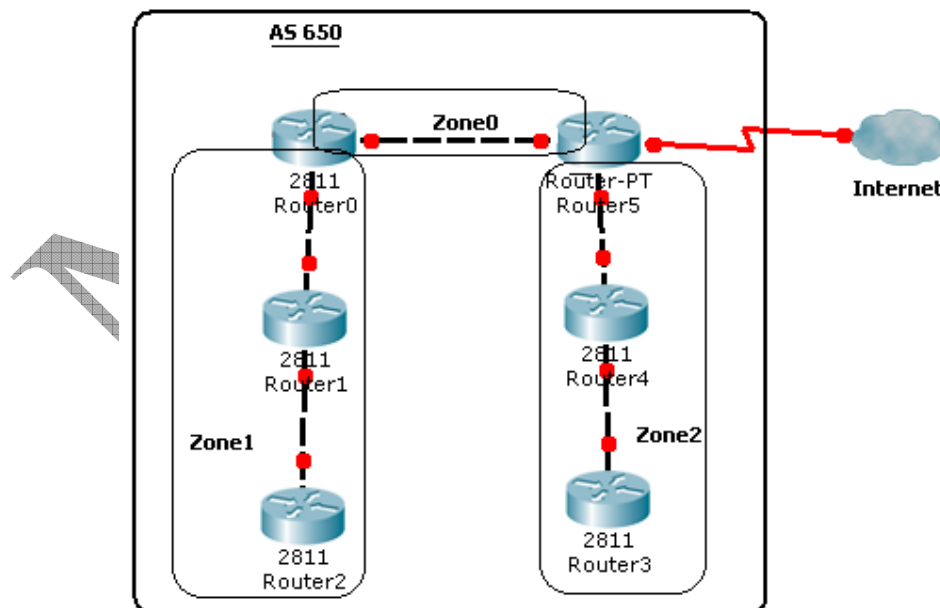


Figure V.10 Un AS découpé en zones OSPF

Ce système autonome utilise OSPF en tant qu'IGP. Il est découpé en trois zones. Le Router 5 est le routeur de bordure de zone. Celui-ci doit fonctionner sous BGP.

V.9.2 Les politiques de routage

Internet est un maillage de réseaux. Cela signifie que plusieurs chemins existent entre deux réseaux d'extrémité (figure V.11). Mais ceux-ci ne sont pas tous équivalents.

L'utilisation d'un protocole particulier est nécessaire entre système autonomes car les objectifs d'un protocole de type IGP sont différents de ceux d'un protocole de type EGP. Le protocole EGP oblige les routeurs à se préoccuper de stratégie de routage.

Les stratégies de routage s'appuient sur des considérations politiques, de sécurité ou économique. Par exemple :

1. Aucun trafic ne doit transiter à travers certains AS (Le trafic sortant ou entrant d'IBM ne doit pas transiter par chez Microsoft)
2. Dans le réseau (figure V.11), l'administrateur de l'AS 600 définit une politique de routage. Il veut joindre l'AS 300 en passant par les AS 100 et 200.

D'où la définition de protocoles EGP (ou BGP) pour le routage entre AS.

Remarque : Ce protocole est généralement utilisé par les fournisseurs d'accès à Internet, les administrateurs des points d'échange (IXP) et les administrateurs de systèmes autonomes qui souhaitent mettre en œuvre leur propre politique de routage.

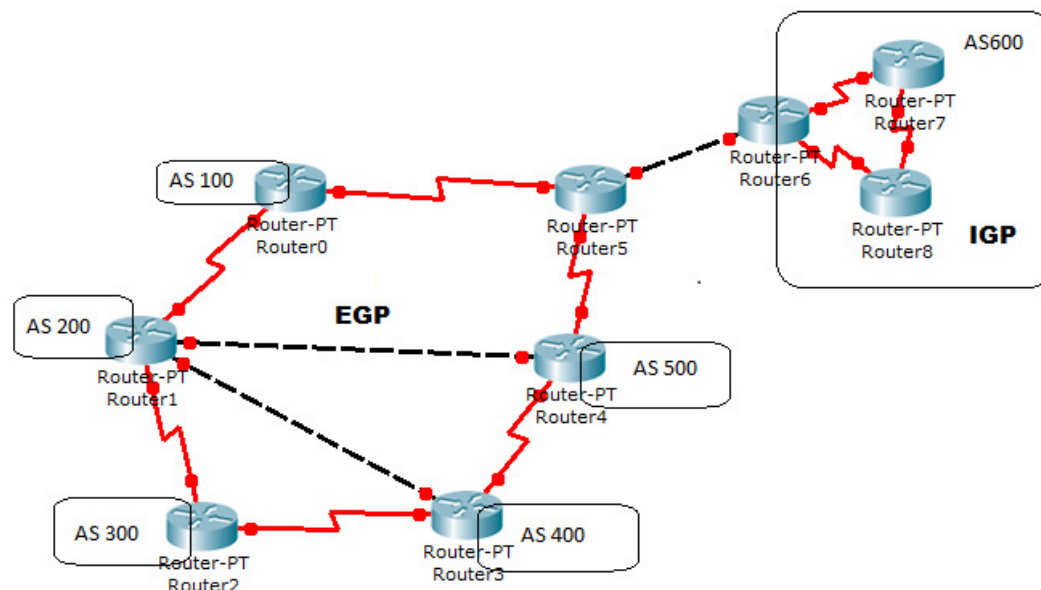


Figure V.11 Réseaux d'AS

V.9.3 Les informations de routage échangées par BGP

Deux routeurs BGP s'échangent des messages pour ouvrir et maintenir la connexion. Le premier flot de données est la table entière de routage. Ensuite, des mises à jour sont envoyées lorsque la table de routage change : BGP ne nécessite pas de mises à jour périodiques des tables de routage. Par contre, un routeur BGP doit retenir la totalité des tables de routage courantes de tous ses pairs durant le temps de la connexion.

BGP est un protocole de type vecteur de distance mais quelque peu différent. Au lieu de maintenir le coût vers chaque destination un routeur BGP garde la trace du chemin exact utilisé. De plus tout routeur indique à ses voisins le chemin exact qu'il utilise.

Chaque routeur BGP contient un module qui examine les routes menant à une destination donnée et calcule pour chaque route, la distance vers cette destination. Toute route violant une des contraintes de la stratégie de routage est automatiquement éliminée. Le routeur choisit ensuite le chemin le plus court (la fonction d'évaluation ne fait pas partie du protocole BGP, ce peut être n'importe quelle fonction choisie par l'administrateur du système).

Les routeurs s'échangent des informations du type :

@ IP-réseau-destination	@-IP-prochain-routeur	Liste des AS traversés pour atteindre le réseau
-------------------------	-----------------------	---

On constate qu'avec BGP, la granularité du routage est l'AS. Par défaut, lorsque plusieurs route existent entre deux AS, BGP choisit la route qui traverse le moins d'AS.

V.10 Le routage CIDR

La croissance exponentielle d'Internet (taille croissante des tables de routage) et la pénurie en matière d'espace d'adressage IPv4 32 bits a conduit, en 1993, à l'introduction du Routage Inter-Domaine sans Classe (CIDR). Le CIDR permet :

- une utilisation plus efficace de l'espace d'adressage ;
- une agrégation du préfixe réduisant la taille des tables de routage.

Pour les routeurs compatibles CIDR, les classes d'adresses n'ont aucune signification. En effet, la partie réseau de l'adresse est déterminée par le masque de sous-réseau du réseau, également connu sous le nom de « **préfixe de réseau** » ou de « longueur de préfixe » (noté /8, /19, etc.). Depuis le CIDR, la partie réseau de l'adresse n'est plus déterminée par la classe de l'adresse.

Les fournisseurs de services Internet peuvent ainsi allouer plus rationnellement l'espace d'adressage à l'aide de la longueur de préfixe, en commençant par la longueur de préfixe /8, puis de plus en plus grand (/9, /10, etc.). De cette manière, les fournisseurs de services

Internet ne sont plus limités au masque de sous-réseau /8, /16 ou /24. Les blocs d'adresses IP peuvent ainsi correspondre aux exigences (de quelques hôtes à plusieurs centaines, ou plusieurs milliers) des clients des fournisseurs de services Internet.

CIDR utilise les masques de sous-réseau de longueur variable (VLSM) pour allouer les adresses IP aux réseaux en fonction d'un besoin particulier, et non en fonction de la classe. Ce type d'allocation permet de positionner la coupure entre la partie réseau et la partie hôte à n'importe quel endroit (bit) dans l'adresse. Par la suite, les réseaux peuvent être à nouveau divisés ou redécoupés en sous-réseaux de plus en plus petits.

Comme Internet se développe fortement au début des années 90, il en est de même pour la taille des tables de routage dont la maintenance est assurée dans les routeurs Internet avec l'adressage IP par classe. Le routage inter-domaine sans classe (CIDR) permet **l'agrégation de préfixes (ou résumé de routage)**, également connu sous le nom **d'agrégation de routes**. Les tables de routage Internet peuvent désormais bénéficier du même type d'agrégation de routes. La faculté des routes à être résumées en une seule route permet de réduire la taille des tables de routage Internet.

Sur la figure V.12, le FAI1 contient quatre clients possédant chacun une quantité variable d'espace d'adressage IP. Cependant, la totalité de l'espace d'adressage des clients peut être résumée en une seule annonce dans FAI2. La route résumée ou agrégée 192.168.0.0/20 comprend tous les réseaux appartenant aux clients A, B, C et D. Ce type de route est connu sous le nom de **route de super-réseau**.

Un super-réseau résume plusieurs adresses réseau ou sous-réseau, à l'aide d'un masque plus petit que celui correspondant à la classe.

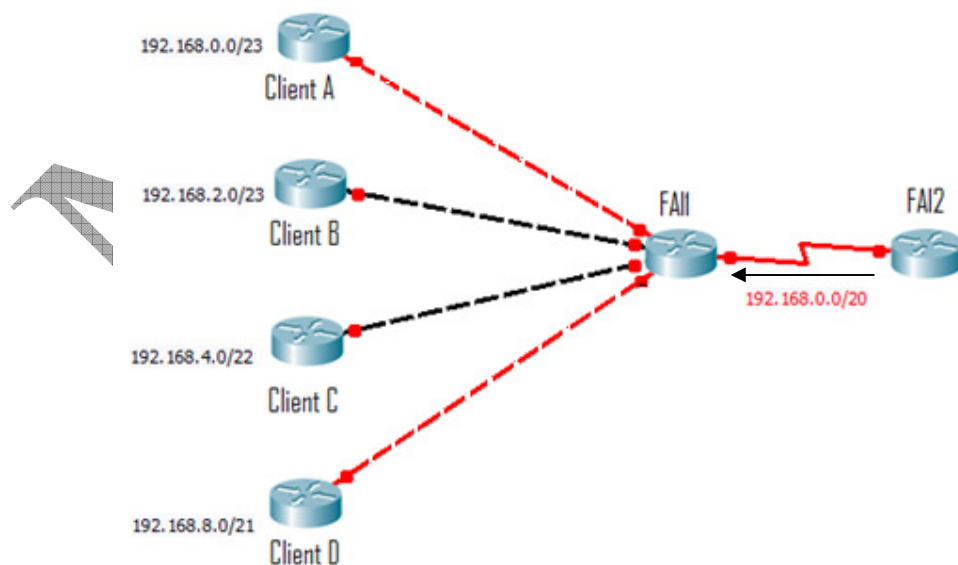


Figure V.12 Route de super-réseau

La propagation de VLSM et des routes de super-réseau nécessite un protocole de routage sans classe car le masque de sous-réseau ne peut plus être déterminé par la valeur du premier octet de l'adresse IP. Le masque de sous-réseau doit maintenant accompagner l'adresse réseau. Ces protocoles de routage incluent le masque de sous-réseau et l'adresse réseau dans leur mise à jour de routage.

La figure V.13 illustre une route statique unique possédant l'adresse 172.16.0.0 et le masque 255.248.0.0 résumant tous les réseaux par classe compris entre 172.16.0.0/16 et 172.23.0.0/16. Bien que les réseaux 172.22.0.0/16 et 172.23.0.0/16 ne figurent pas sur le graphique, ils sont également inclus dans le résumé du routage. Notez que le masque /13 (255.248.0.0) est inférieur au masque de classe par défaut /16 (255.255.0.0).

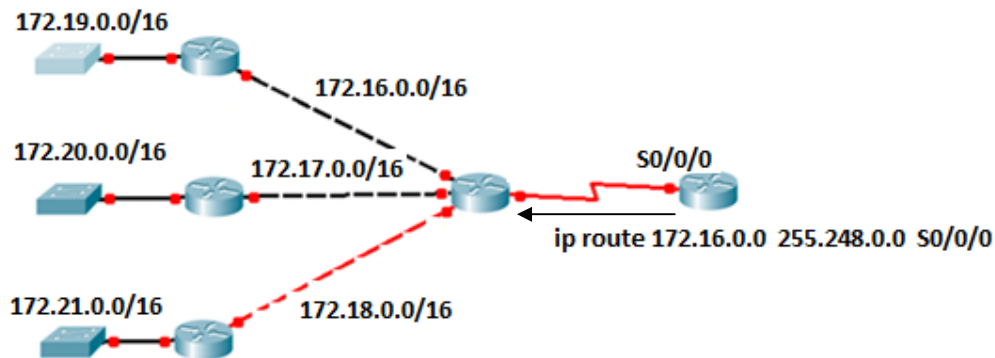


Figure V.13 Route statique – Résumé de routage

Un routeur peut posséder une entrée de route spécifique et une entrée de résumé du routage couvrant le même réseau (voir figure V.14). Supposons qu'un routeur R possède une route spécifique pour 172.22.0.0/16 utilisant l'interface série S0/0/1 et un résumé du routage 172.16.0.0/13 utilisant l'interface série S0/0/0. Les paquets dotés de l'adresse IP **172.22.y.z** correspondent aux deux entrées de route. Ces paquets destinés à 172.22.0.0 sont envoyés à l'interface série S0/0/1 car il existe une correspondance plus grande (16 bits) qu'avec les 13 bits du résumé du routage 172.16.0.0/13 de l'interface série S0/0/0.

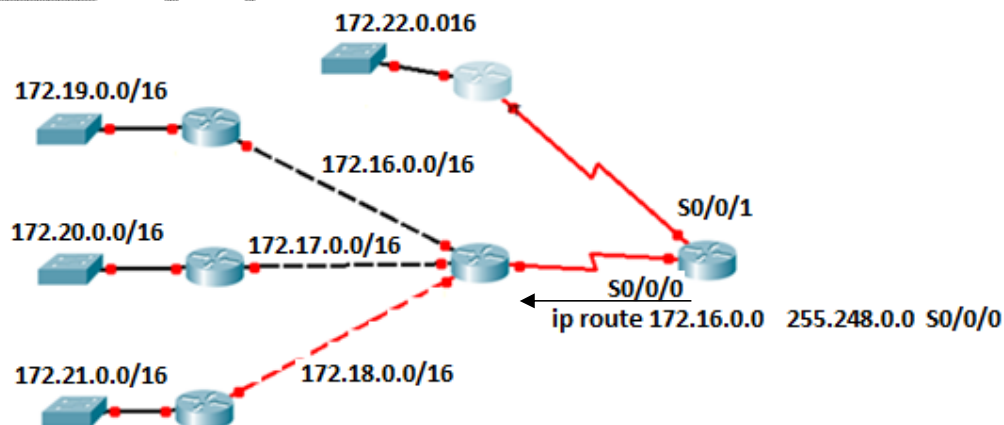


Figure V.14 Route spécifique – Résumé de routage

Medjahed