

Le routage

Jean-Patrick Gelas
Université de Lyon

Sources

- Le routage, *Robert Jean-Sébastien, Somerlinck Pierre*,
<http://www.tele.ucl.ac.be/EDU/ELEC2920/2000/Routing/routage.htm>
- Analyse structurée des réseaux, *J.Kurose, K.Ross*, Pearson.
- Réseaux (3ème éd.), *A.Tanenbaum*, Dunod.

Rappels : Qu'est ce qu'un réseau longue distance ?

- Grande couverture géographique
- Hétérogénéité des modes de transmission
- Mélange des réseaux publics et privés
- Agrégation du trafic
- Tarification par des opérateurs

Rappels : Comment se présente un routeur ?

- Un routeur est une machine possédant **plusieurs interfaces**. Elle est connectée à plusieurs réseaux en même temps et peut faire passer un paquet d'un réseau à un autre.

*Foundry, Cisco, Nortel, 3Com,
Lucent, Alcatel, Bay Networks, ...*

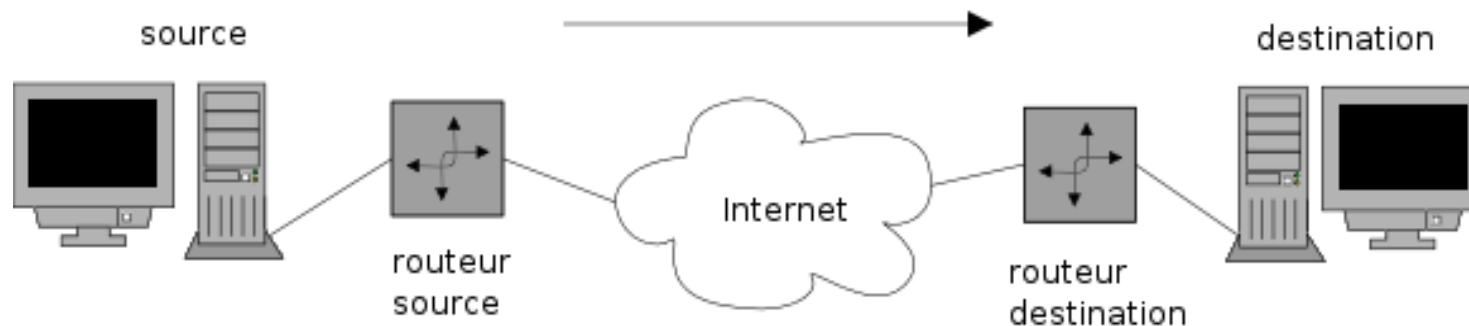


Principe du routage

- Pour transférer des paquets, la couche **réseau** doit déterminer le parcours (ou la route) à emprunter, que ce soit
 - un service à datagramme (parcours différents) ou
 - un service à circuit virtuel (même parcours).
- Cette fonction incombe au **protocole de routage** de la couche **réseau**.

Principe du routage

- Un serveur est généralement connecté à un routeur spécifique = le routeur par défaut (ou routeur de premier bond).
- Acheminer un paquet d'une *source* à une *destination* revient à l'acheminer entre un routeur source et un routeur destination.



Introduction au routage

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

Introduction au routage (suite)

- La décision du routeur est locale -> pourtant elle dépend de la topologie globale du réseau !
- Chaque protocole de routage doit donc communiquer une information de topologie à chaque routeur pour prendre des décisions optimales.
- Cette information est difficile à collecter.
 - volumineuse
 - variable dans le temps

Spécification des protocoles de routages

Un protocole de routage doit répondre à plusieurs critères (-> besoin de compromis) :

- Minimiser la table de routage
- Minimiser les messages de contrôle
- Etre robuste
- Permettre l'utilisation de chemins optimaux

Spécification des protocoles de routages :
Minimiser la table de routage

- L'objectif est de construire des routeurs le moins coûteux possible => minimiser la taille de la mémoire.
- Plus la table de routage est grande, plus les échanges de messages entre routeurs sont volumineux.

Spécification des protocoles de routages :
Minimiser les messages de contrôle

- Les messages échangés entre routeurs constituent une surcharge sur le réseau et doivent donc être minimisés.

Spécification des protocoles de routages :

Robustesse : Trous noirs, boucles et oscillations

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

Spécification des protocoles de routages : Robustesse : Trous noirs, boucles et oscillation

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

Spécification des protocoles de routages : Utilisation de chemins optimaux

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

Différent mécanismes de routage

Routage centralisé

- Dans le routage centralisé, un processeur central :
 - collecte l'information sur l'état de chaque liaison,
 - établit une table de routage pour chaque noeud et l'envoie à ceux-ci.
- Le routage centralisé n'est pas envisageable sur des réseaux de grande taille :
 - Et si les liaisons au voisinage du processeur central tombe en panne ou que celui-ci tombe en panne ?
 - Quels seraient les temps de calcul ?
 - Les routeurs situés près du processeur central reçoivent les tables de routage bien avant ceux qui sont plus éloignés (inconsistance dans le réseau pendant un certain temps).
 - Les liaisons aboutissant au processeurs central peuvent être surchargées si trop de routeurs envoient des informations.

Différents mécanismes de routage

Routage distribué

- Dans le routage distribué, les routeurs s'envoient périodiquement des informations pour créer des tables de routage dynamique.
- **Le routage sur Internet est résolument distribué.**

Différent mécanismes de routage

Routage « à partir de la source »

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

Différents mécanismes de routage

Routage « noeud après noeud »

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

Différents mécanismes de routage

Routage stochastique ou routage déterministe

- Dans le **routage déterministe**, un routeur envoie un paquet vers sa destination selon une et une seule direction.
- Dans le **routage stochastique**, une table de routage contient plusieurs noeuds pour chaque destination possible.
 - les paquets peuvent arriver dans le désordre, avec des délais variables.
- Les réseaux modernes utilisent le routage **déterministe**.

Différent mécanismes de routage

Routage « à chemin unique » ou routage « multi-chemins »

- Un routeur à **chemin unique** maintient un seul chemin pour chaque destination.
- Un routeur **multi-chemin** maintient un chemin primaire pour chaque destination, et des chemins alternatifs au cas où le chemin primaire serait indisponible (Remarque: dans le routage stochastique, un routeur peut envoyer des paquets sur un chemin alternatif alors que le chemin primaire est disponible).
- Sur Internet on utilise le routage à **chemin unique**. (car maintenir des chemins alternatifs requiert de trop grandes tables de routage).

Différents mécanismes de routage

Routage adaptatif ou routage statique

- Routage adaptatif :
 - Le choix du chemin dépend de l'état du réseau (trafic, files d'attente, ...).
 - Meilleur choix des chemins, mais peut mener à des oscillations.
 - Requiert une charge supplémentaire sur le réseau pour l'établissement de l'état des liaisons.
- Routage statique : on ignore l'état du réseau.
- Internet utilise les deux types de routage.

Algorithmes de routage fondamentaux

- L'algorithme du **vecteur de distance** (*DV ou Distance-Vector routing*) : un noeud transmet à ses voisins le coût pour atteindre chaque noeud du réseau.
- L'algorithme à **état des liens** (*state-link routing*) : un noeud transmet à chaque noeud du réseau le coût pour atteindre ses voisins.

Ces deux algorithmes supposent que chaque routeur connaît l'adresse de ses voisins et le coût pour atteindre ceux-ci.

Ce sont des **algorithmes distribués** qui conviennent particulièrement bien à Internet.

Algorithmes de routage fondamentaux

Vecteur de distance

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

Algorithmes de routage fondamentaux

Problème de l'algorithme du vecteur de distance

- Des problèmes apparaissent lorsque des liaisons sont régulièrement indisponibles.
- Lorsqu'un routeur distribue son DV, il cache la façon dont il a calculé ce vecteur.
- Illustration du problème du comptage jusqu'à l'infini ou **problème de la valeur infinie**.

(Fig 5.11 p.375 Réseaux, 3e ed.)

Algorithmes de routage fondamentaux

Solutions au problème de la valeur infinie

- **Maximum hop count** : On fixe comme valeur infinie celle du plus long chemin dans le sous-réseau augmenté d'une unité. Cette solution triviale converge trop lentement et est donc rarement utilisée.
Exemple : On considère qu'à partir de 15 sauts le routeur est inaccessible.

De nombreuses autres solutions ont été proposées pour traiter le problème de la valeur infinie. Toutes sont plus complexes.

- **Split horizon** (horizon éclaté) : une autre solution qui n'est pas non plus sans faille. (Fig 5.12 p.376 Réseaux, 3ème éd.)
- **Path vector** : indique dans le DV le chemin utilisé. Cette solution élimine le comptage à l'infini mais agrandit les tables de routage.

Autre solutions au problème de l'algorithme du vecteur de distance

- **Poison reverse** : Les mises à jour de routage *Poison Reverse* appliquent une métrique « infinie » aux routes transmises par l'interface d'émission. Ce type de mise à jour aide à prévenir les boucles de routage.
- **Trigger updates** : généralement les routeurs ne s'échangent pas leur DV à chaque fois que ceux-ci changent, mais toutes les 30 s, ce qui peut augmenter le temps de convergence jusqu'à l'infini de façon dramatique. Pour éviter cela, un routeur transmet son DV dès qu'une liaison ou un routeur devient indisponible. La détection de liens ou de routeurs indisponibles peut se faire à l'aide de messages HELLO.
- **Source tracing** : L'idée de base est que le vecteur comprenne non seulement le coût vers une destination, mais aussi le routeur précédent immédiatement la destination.

Routage par information d'état des liens

Link State Routing

- Le problème principal du routage par *vecteur de distance* est qu'il converge trop lentement.
- Remplacé par un algorithme de routage entièrement nouveau.
- Diverses variantes de cet algorithme sont très en vogue aujourd'hui.
- L'idée sous-jacente du routage par informations d'état des liens peut s'énoncer en 5 points. Tout routeur doit :
 1. Découvrir ses voisins et apprendre leur adresse réseau respective.
 2. Mesurer le temps d'acheminement vers chacun de ses voisins.
 3. Construire un paquet spécial disant tout ce qu'il vient d'apprendre.
 4. Envoyer ce paquet à tous les autres routeurs du sous-

Routage par information d'état des liens

1) Découvrir ses voisins

- La première tâche d'un routeur en cours d'initialisation est de savoir qui sont ses voisins.
- Il envoie sur chacune de ses lignes un paquet spécial HELLO et attend la réponse.
- Les routeurs aux extrémités de ces lignes répondent en donnant des informations de routage (nom (unique), adresse IP,...)

Routage par information d'état des liens

2) Mesurer le temps d'acheminement

- Cet algorithme exige que chaque routeur connaisse le temps d'acheminement avec chacun de ses voisins.
- Utilisation d'un paquet spécial ECHO.
- Prendre en compte ou non la charge de la liaison (déclencher la mesure de temps dès la mise en file d'attente ou dès que le paquet atteint la tête de la file et qu'il est transmis).
 - Pour : utile lorsqu'un routeur dispose de deux lignes identiques pour atteindre une destination donnée.
 - Contre : Engendre des oscillations incessante au rythme de mise à jour des tables.

Routage par information d'état des liens

3) Construire un paquet d'informations d'état de lien

- Une fois les informations nécessaires au routage obtenues, chaque routeur construit un paquet spécial contenant les données qu'il a collectées.
- Ce paquet contient : id. du routeur src., seq#, âge du paquet et la liste des routeurs voisins (+ le temps d'acheminement associé).
- Ces paquets peuvent être construits :
 - périodiquement
 - lorsqu'un événement significatif apparaît (ex: coupure de ligne)

Routage par information d'état des liens

4) Envoyer les paquets d'informations d'état de lien

- La faiblesse de cet algorithme est la diffusion fiable des paquets. Il n'y a pas de concertation entre les routeurs ce qui peut conduire à :
 - différente topologie du réseau ;
 - donner lieu à des boucles ;
 - rendre certaines machines inaccessibles.
- Distribution des paquets par inondation (contrôlé par l'id. et le numéro de séquence).
- Trois problèmes avec le *seq#* résolus grâce au champ âge.

Routage par information d'état des liens

5) Calculer les nouvelles routes

- Dès que le routeur a accumulé un jeu de paquets d'informations d'état, il peut construire le graphe complet du sous-réseau.
- Une ligne peut avoir deux représentations (une dans chaque direction). Le routeur peut prendre la valeur moyenne des deux valeurs ou les utiliser séparément.
- L'algorithme de *Dijkstra* peut-être utilisé localement sur chaque routeur. Les résultats sont inscrits dans les tables de routage et le fonctionnement du sous-réseau peut reprendre.

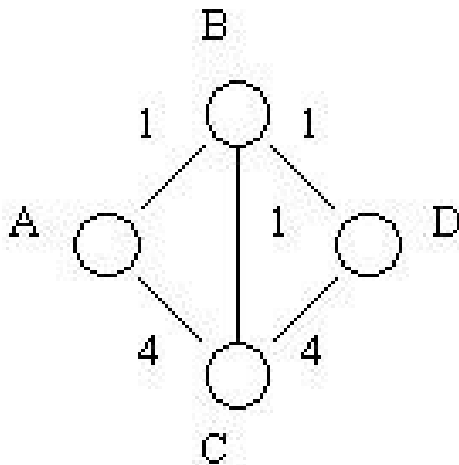
Algorithmes de routage fondamentaux

État des liens

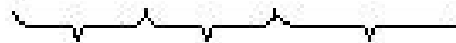
- La philosophie du routage par état des liens est de distribuer la topologie du réseau et le coût de chaque liaison à travers tout le réseau.
- Ensuite chaque routeur calcule indépendamment les chemins optimaux vers chaque destination.
- Les routeurs communiquent entre eux par des LSP (link-state packets) qui décrivent leurs liens.
 - Un LSP contient l'adresse du routeur, l'adresse de ses voisins et le coût de chaque liaison avec ses voisins.
 - Un LSP reçu est stocké dans une « LSP database », et l'envoie à chaque interface autre que celle par laquelle il est arrivé

Algorithme de routage fondamentaux

État des liens



A	B	1
---	---	---



Adr Adr Coût
A B

LSP créés par A

A	C	4
---	---	---

- Les LSP sont numérotés car ils peuvent arriver dans le désordre.
- Les LSP sont protégés par un *checksum* et un mot de passe connu uniquement des administrateurs réseaux.

Algorithme de routage fondamentaux

État des liens : Algorithme de Dijkstra

- L'algorithme de Dijkstra calcule le chemin le plus court entre deux noeuds d'un réseau.
- L'idée de base est de maintenir pour chaque ensemble de noeuds P le chemin le plus court ayant été trouvé.
- Chaque noeud extérieur à P doit être atteint à partir d'un noeud déjà dans P .

Algorithme de routage fondamentaux

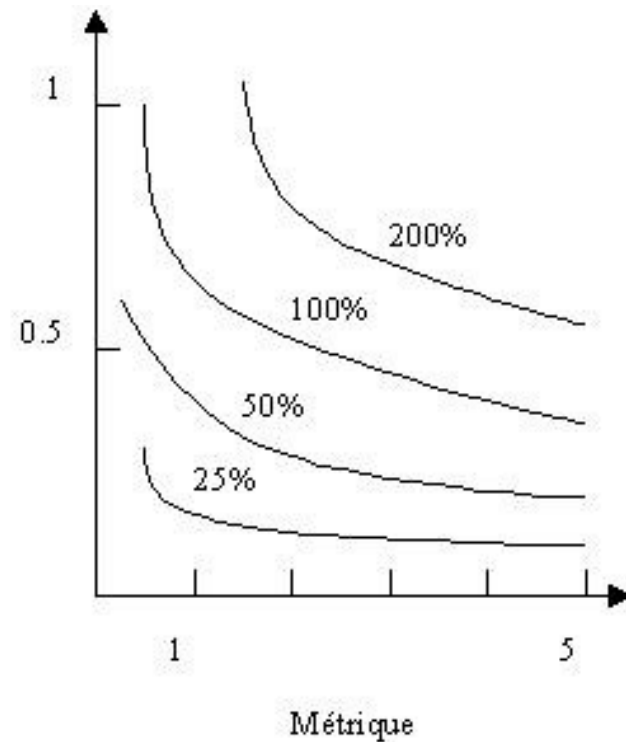
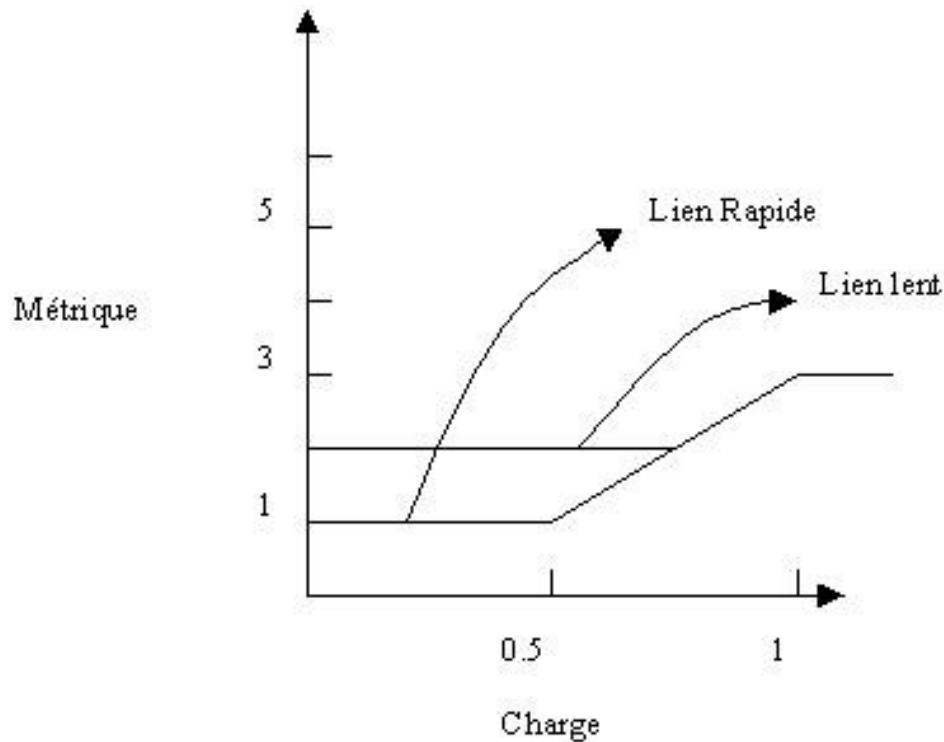
Vecteur de distance vs. État des liens

- Les algorithmes avec état des liens sont :
 - **Plus stables** car chaque routeur connaît la topologie de l'entièreté du réseau.
 - Ils supportent une métrique multiple (i.e plusieurs fonctions de coût des liaisons).
 - Ils **convergent généralement plus rapidement** que les algorithme à vecteur de distance.
 - Les *LSP database* requièrent généralement moins d'espace mémoire et semblent mieux adaptés aux réseaux gérés par plusieurs entités administratives différentes.
- Les algorithmes avec vecteur de distance :
 - Moins stable. On y ajoute différente technique (path vector, trigger updates, ...).

Choix du coût des liaisons

- On peut faire dépendre le coût d'une liaison de plusieurs paramètres :
 - bande passante, coût financier, valeur fixé par l'admin., délai, nombre de sauts, charge, MTU, fiabilité, ...
- Dans le cas du routage dynamique, le coût d'une liaison peut-être fonction de son encombrement (du point de vue du trafic).
- On parle de **métrique dynamique** par opposition à la **métrique statique**.

Choix du coût des liaisons



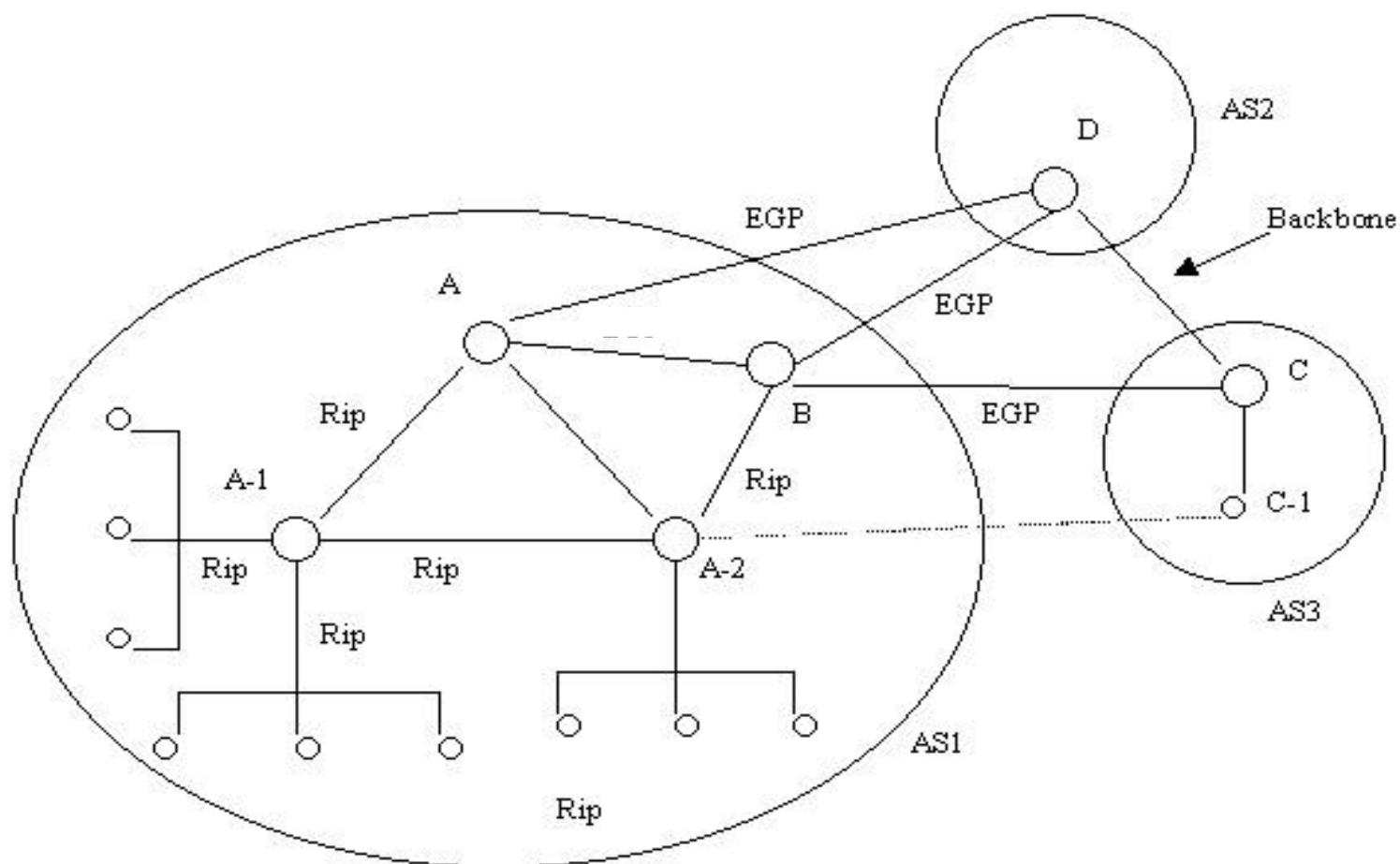
- Coût d'un lien en fonction de sa charge.
- Charge d'un lien en fonction de son coût (réponse du réseau).
- Dans le cas d'une **métrique dynamique**, un coût élevé va diminuer le trafic dans une liaison, ce qui va diminuer le coût, ce qui va augmenter à nouveau le trafic, etc... (besoin de trouver une fonction de coût appropriée afin que trafic et coût convergent au point désiré, tout en évitant les oscillations).

Routage hiérarchique

- Dans un réseau de la taille d'Internet, le routage hiérarchique est une nécessité (taille des tables). On distingue deux niveaux d'adressage : réseau et machine.
- Au plus haut niveau se trouve la colonne vertébrale (*backbone*) d'Internet qui interconnecte les AS (*Autonomous System*).
- Le routage entre AS utilise des protocoles dits **extérieurs** (EGP Exterior Gateway Protocol)
 - Des routeurs interconnectant deux AS ne se font pas nécessairement confiance donc les protocoles extérieurs doivent être sécurisés.
- Au sein d'un AS on utilise des protocoles dits **intérieurs** (IGP Interior Gateway Protocol)
 - Ils sont libres de problèmes administratifs et divisent le système en zone (*areas*).
- Au niveau le plus bas, on retrouve des LANs utilisant Ethernet.

Routage hiérarchique

- Il faut ensuite interconnecter les protocoles intérieurs et extérieurs qui n'utilisent pas les même techniques de routage ...



Protocoles de routage usuels

Protocoles intérieurs

- RIP (*Routing Information Protocol*) : protocole à **vecteur de distance** utilisant une métrique statique.
 - les routeurs s'échangent leur vecteurs de distance toutes les 30 secondes (déclaré HS au bout de 180 s)
 - Utilise une variante du *split horizon* pour éviter le problème du comptage jusqu'à l'infini.
 - Utilisé pour les petits réseaux où sa simplicité compense ses lacunes (en cas de rupture d'une liaison).

Protocoles de routage usuels

Protocoles intérieurs

- OSPF (*Open Shortest Path Protocol*) : protocole à état des liens. Il utilise :
 - le routage hiérarchique
 - la notion de zone pour diriger un paquet dans un AS.
- Il est plus complexe à mettre en oeuvre que RIP.

Conclusions

- Le routage est l'un des aspect le plus complexe des réseaux à commutation de paquets.
- Internet n'a recours qu'à deux types d'algorithmes de routage :
 - Algorithme à état des liens (dynamique et globale) : fonctionne sur des grands réseaux.
 - Algorithme à vecteur de distance (dynamique et décentralisé) : fonctionne bien sur des systèmes de petites taille...

OSPF : Protocole de routage intra-système

- Protocole de routeur interne : IGP (*Interior Gateway Protocol*)
- Devenu un standard en 1990 (RFC 1247)
- Protocole supporter par de nombreux routeurs
- Devient le protocole de routeurs internes principal.

OSPF : Caractéristiques

Lors de sa conception les exigences suivantes ont été incluses :

1. Utilisation d'un algorithme ouvert (***Open** Shortest ...*)
2. Support de divers métriques (distance géo., délai, ...)
3. Algorithme dynamique capable de s'adapter automatiquement et rapidement aux changements de topologies.
4. Nouveauté : Supporter le routage par type de service (ex: trafic temps réel) en utilisant le champ ToS de IP.
5. Faire de l'équilibrage de charge (répartition sur plusieurs liens).
6. Support de systèmes hiérarchiques.
7. Un minimum de sécurité.

OSPF : Connexions et réseaux

- OSPF supporte 3 types de connexions et de réseaux :
 - les liaisons point-à-point entre deux routeurs,
 - les réseaux multi-accès à diffusion (la plupart des réseaux LAN),
 - les réseaux multi-accès sans diffusion (la plupart des réseaux WAN).

Un réseau *multi-accès* est un réseau qui contient plusieurs routeurs, chacun d'eux pouvant directement communiquer avec tous les autres.

OSPF : Division d'un AS en zone

- Un système autonome (AS) est souvent vaste et complexe.
- Le protocole OSPF permet de les diviser en zones numérotées
- Une zone est un ensemble qui comprend un ou plusieurs réseaux contigus et des routeurs.
- Les zones ne se chevauchent pas (extension du concept de sous-réseau).
- Tous les AS ont une zone épine dorsale (*backbone area*) appelée « Zone 0 » (0.0.0.0).
- Toutes les zones d'un AS sont connectées à la zone épine dorsale (éventuellement par des tunnels) => de n'importe quel zone on peut accéder à une autre zone via l'épine dorsale.

OSPF : Zones

- A l'intérieur d'une zone, chaque routeur possède une base de données topologiques (état des liens) et exécute le même algorithme du plus court chemin (entre tous les routeurs de la zone + le routeur connecté à la zone épine dorsale).
- Un routeur connecté à deux zones a besoin des bases de données de ces deux zones et doit exécuter l'algorithme du plus court chemin pour chacune des zones séparément.

OSPF : Type de service

- Le protocole OSPF gère le routage par type de service au moyen de trois graphes (métrique différente) :
 - le délai d'acheminement ;
 - le débit ;
 - la fiabilité.

Bien que cela triple les calculs nécessaires, OSPF dispose de différentes routes possibles pour optimiser le *délai*, le *débit* et la *fiabilité*.

OSPF : Type de chemin

- En fonctionnement normal, trois types de chemins peuvent-être demandés :
 - **intra-zone** : les plus simple, puisque le routeur source connaît déjà le chemin le plus court vers le routeur destinataire.
 - **inter-zone** : Le routage inter-zone s'effectue en trois étapes.
 - 1) Aller de la source vers l'épine dorsale,
 - 2) transiter au travers de l'épine dorsale jusqu'à la zone de destination,
 - 3) aller jusqu'au destinataire.

(Configuration en étoile, la zone épine dorsale étant le foyer, les zones étant les rayons)
Les datagrammes sont routés de la source vers la destination tels quels (ni encapsulés, ni transmis par un tunnel sauf s'ils vont vers une zone dont la seule connexion avec la zone épine dorsale est un tunnel.
 - **inter-système autonome**

OSPF : Classe de routeur

- Le protocole distingue quatre classes de routeurs :
 - les routeurs intra-zones (internes) entièrement à l'intérieur d'une zone,
 - les routeurs inter-zones (*border routers*) connectés à deux zones (ou plus),
 - les routeurs fédérateurs (*backbone routers*) connectés à l'épine dorsale,
 - les routeurs inter-systèmes autonomes (*boundary routers*) connectés aux routeurs d'autres systèmes autonomes.
- Ces classes de routeurs peuvent se recouvrir (ex: tous les routeurs inter-zones font partis du *backbone*).

OSPF : Démarrage

- Quand un routeur démarre, il envoie un message *Hello* sur toutes ses lignes de sorties.
 - sur LAN les autres routeurs sont accessibles en diffusion multi-destinataire,
 - sur WAN le routeur a besoin d'informations complémentaires (de configuration) pour savoir comment les contacter.
- Les réponses qu'il reçoit lui permettent de savoir qui sont ses voisins.

OSPF : Fonctionnement

- Fonctionnement par échange de messages d'information entre **routeurs adjacents**.
- En fonctionnement normal, chaque routeur transmet périodiquement un message de *Mise à jour d'état de lien* à chacun de ses routeurs adjacents.
 - Ce message indique l'état des liens et leurs poids à la base de données topologique.
 - Demande un accusé de réception pour améliorer la fiabilité.
 - Chaque message a un numéro de séquence.
- Le même type de message est émis lorsqu'une liaison se crée, se coupe ou change de poids.

OSPF : Messages

- Les cinq types de messages OSPF sont envoyés sous forme de datagrammes IP :
 - **Hello** Permet de découvrir qui sont les routeurs voisins.
 - **Mise à jour d'état de lien** Information d'état fournie à la base de données topologique.
 - **Accusé de réception de mise à jour** Acquiescement d'une mise à jour d'état de lien.
 - **Demande d'état de lien** Demande d'information à la base de données topologique sur un partenaire.
 - **Description de lien** La base de données topologique donne les informations d'état de lien à qui en a besoin.

Routeur désigné et routeur de secours

- DR (*Designated Router*) et BDR (*Backup Designated Router*).
- Le DR sert de référent pour la base de données topologique. Objectifs :
 - réduire le trafic lié à l'échange d'informations sur l'état des liens ,
 - améliorer l'intégrité de la base de données topologique,
 - accélérer la convergence (talon d'Achille de RIP).

Élection du DR

- Le routeur élu est celui qui a la plus grande priorité (Router ID ou RID).
- La priorité est un nombre fixé à 1 par défaut sur tous les routeurs.
- Pour départager les routeurs qui ont la même priorité, celui qui est élu a la plus grande adresse IP.
- Le BDR sera celui avec la seconde plus grande adresse IP.
- Une fois élu le DR n'est jamais remis en cause même si un routeur avec une priorité plus grande apparaît.

OSPF : Bilan

- Par inondation, chaque routeur informe tous les autres routeurs de sa zone à propos de ses voisins et de ses poids.
- Ces informations permettent à chaque routeur de construire le graphe pour sa (ses) zone(s) et de calculer le plus court chemin.
- De même pour la zone épine dorsale.
- Les routeurs fédérateurs acceptent des informations venant des routeurs inter-zones afin de calculer le meilleur chemin, de chaque routeur fédérateur vers chaque autre routeur.
- Cette information est ensuite propagée à tous les routeurs inter-zones, qui les communiquent à l'intérieur de leur zones.
- Un routeur est alors capable d'envoyer un datagramme inter-zone par la meilleur route de sortie vers la zone épine dorsale.

BGP : Border Gateway Protocol

- Entre plusieurs AS on utilise un protocole de routage BGP (protocole de type EGP), RFC 1654, RFC 1628.
- Les objectifs d'un protocole IGP sont différents d'un protocole de type EGP :
 - IGP transfère de la source vers la destination le plus efficacement possible.
 - EGP se préoccupe de stratégie.

Exemples :

- Le trafic sortant et entrant de Xinc. ne doit pas transiter par chez Ycorp.
- Aucun trafic ne doit transiter à travers certain AS ou pays.
- Transiter par un pays que s'il n'y a pas d'alternatives.

BGP

- La stratégie de routage est paramétré manuellement dans chaque routeur BGP – Elle ne fait pas partie du protocole lui même.
- Du point de vue d'un routeur BGP : Le « monde » est constitué de routeurs BGP interconnectés.
 - Deux routeurs BGP sont « connectés » s'ils partagent un réseau commun.

BGP pour le trafic de transit

Trois catégories de réseaux :

- **réseaux souches** : une seule connexion au graphe BGP.
- **réseaux multiconnectés** : peuvent être utilisés pour le trafic de transit (à l'exception de celui qu'il refuse)
- **réseaux de transit** : épines dorsales disposés à acheminer les datagrammes d'un tiers avec d'éventuelles restrictions

BGP : Communications

- Deux routeurs BGP communiquent via des connexions TCP.
- BGP : Protocole à DV (un peu différent de RIP) -> **Path Vector**
 - poids des liaisons vers chaque destination
 - garde la trace du chemin exact utilisé
 - envoie à ses voisins le chemin exact qu'il utilise

BGP : Principe de fonctionnement

- Le routeur ignore tous les chemins passant par lui même.
- Les routes restantes sont évalués en fonction de
 - la distance ;
 - la stratégie de routage (si violé -> distance infinie).
- La fonction d'évaluation ne fait pas partie du protocole BGP (fonction choisie par l'admin. du système).

BGP : Bilan

- Les algorithmes à DV font souvent un mauvais choix car ils sont incapables de déterminer lesquels de leur voisins ont des **routes indépendantes**.
- BGP (*Border Gateway Protocol*) utilise un protocole à vecteur de chemin (*path vector*).
 - Pas de boucles mais des tables de routage beaucoup plus grande.
 - Les routeurs utilisent TCP (contrairement à tous les autres protocoles).
 - BGPv4 est complexe et difficile à maintenir.