

RT 12
Routage IP

Chapitre V
Le routage dynamique

Dr. H. Zerrouki
<zerrouki.hadj@gmail.com>

UDL-SBA, Faculté de Génie Electrique

DÉPARTEMENT
Télécommunications

Plan de cours

- **Généralités**
- **Vecteur de distances vs état de liens**
- **Routage avec RIP**
 - ❖ Généralités
 - ❖ Fonctionnement
 - ❖ Le protocole RIPv1 vs RIPv2
- **Routage avec OSPF**
 - ❖ Fonctionnement
 - ❖ Propagation des états
 - ❖ Hiérarchie de routeurs OSPF
 - ❖ Fonctionnement à l'intérieur d'une zone



GÉNÉRALITÉS

Définition

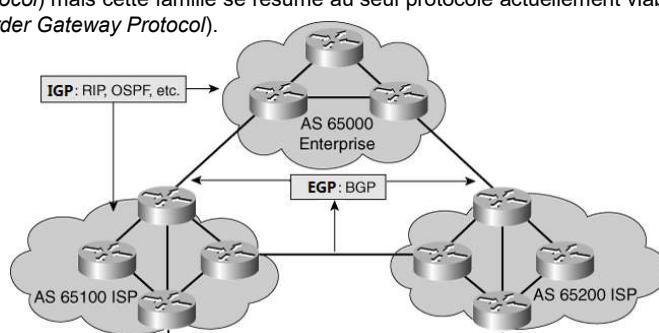
- Afin d'assurer la bonne transmission des datagrammes, tout comme pour optimiser le trafic, il est nécessaire de maintenir régulièrement à jour les tables de routage de l'ensemble des routeurs d'un réseau.
- Sur les gros réseaux, cette tâche devient rapidement irréalisable. Il faut alors mettre en place une solution de **routage dynamique**.
- **Le routage dynamique** est un mécanisme par lequel les routeurs communiquent entre eux et peuvent alors se configurer les uns les autres de manière totalement automatique.
- Les avantages sont multiples :
 - Optimisation du trafic,
 - Baisse des erreurs de transmission,
 - Gestion des surcharges.



GÉNÉRALITÉS

Définition

- Un système autonome (**AS** : *Autonomous System*) est un ensemble de réseaux et de routeurs partageant le même protocole de routage et géré par une même autorité administrative.
- Les protocoles mis en œuvre dans un système autonome appartiennent à la famille des **IGP** (*Interior Gateway Protocol*).
- Entre systèmes autonomes interviennent les protocoles **ECP** (*Exterior Gateway Protocol*) mais cette famille se résume au seul protocole actuellement viable **BGP** (*Border Gateway Protocol*).

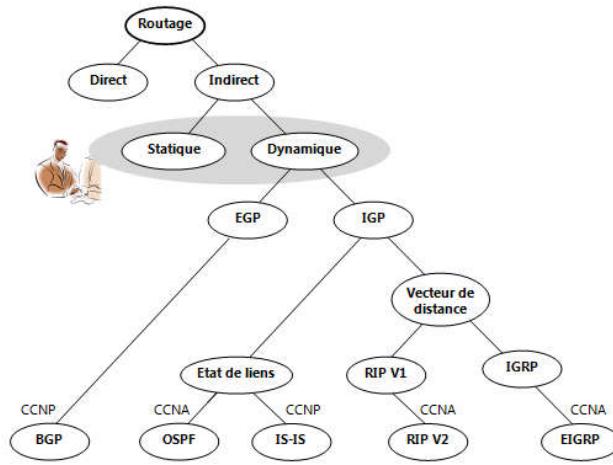




GÉNÉRALITÉS

Définition

- La famille des protocoles **IGP** est nombreuse mais essentiellement fondée sur deux technologies : le routage à vecteur de distance et le routage à état de liens.



VECTEUR DE DISTANCES vs ETAT DE LIENS

Vecteur de distances

- Les algorithmes de routage à **vecteur de distances** (basés sur l'algorithme de Bellman-Ford) conduisent les routeurs à transmettre à leurs voisins réseaux immédiats une copie de leur table de routage.
- Les tables se modifient au fur et à mesure de leur propagation, car chaque route est associée à une métrique qui croît par défaut d'une unité au passage de chaque routeur (le routeur voisin accessible sur le même LAN est associé à une métrique de 1, etc...).
- Le choix de la meilleure route est établi par chaque routeur en considérant la valeur minimale de cette métrique pour toutes les routes qui aboutissent à la même destination. Seule la meilleure route est propagée, les autres sont oubliées.
- Pour ces considérations on dit que le calcul de la route est distribué et par conséquence chaque routeur n'a pas la connaissance de la topologie globale du réseau : il n'en connaît qu'une version interprétée par ses voisins.

VECTEUR DE DISTANCES vs ETAT DE LIENS

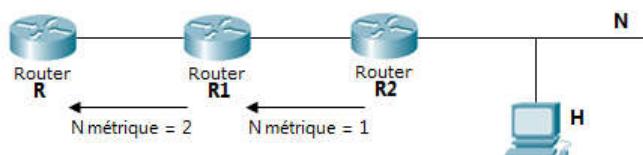
Etats de liens

- Les algorithmes à **états de liens** construisent les tables de routages différemment.
- Chaque routeur est responsable de la reconnaissance de tous ses voisins, plus ou moins lointains, à qui il envoie une liste complète des noms et des coûts (en terme de bande passante, par défaut) contenu dans une base de données à sa charge et qui représente l'intégralité de tous les routeurs du nuage avec lesquels il doit travailler.
- Chaque routeur a donc une connaissance exhaustive de la topologie du "nuage" dans lequel il se situe.
- c'est à partir de cette représentation qu'il calcule ses routes à l'aide d'un algorithme connu de recherche du plus court chemin dans un graphe : celui de Dijkstra.

ROUTAGE AVEC RIP

Généralités

- **RIP** est l'acronyme de *Routing Information Protocol*. Le principe de fonctionnement de RIP est basé sur le calcul distribué du chemin le plus court dans un graphe, selon l'algorithme Bellman-Ford.
- Le terme **chemin le plus court** désigne implicitement l'usage d'une métrique pour comparer les longueurs. Ici, la métrique est basiquement le nombre de sauts (*hops*) entre deux routeurs.
- Les routes qui sont propagées d'un routeur à un autre voient leur métrique augmenter de 1 (ou plus) à chaque franchissement d'un routeur. On ne dépasse guère une profondeur de quelques unités (Maximum 15 sauts). Une route assortie de la métrique 16 est considérée comme **infinie**,



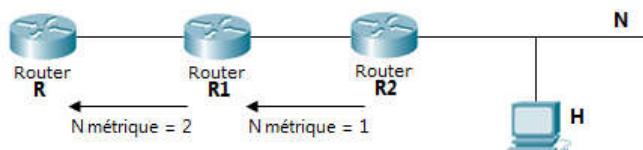
ROUTAGE AVEC RIP

Généralités

- Le terme **vecteurs de distances** est employé parce que la propagation des routes s'effectue sous la forme de vecteurs :

*"Pour atteindre telle **destination**, il faut **passer par ce routeur** et la **métrique associée** vaut cette valeur".* Donc une direction et une métrique, d'où l'analogie avec un vecteur.

- Le moyen de propagation des tables de routes est :
 - un *broadcast IP* (adresse **255.255.255.255** *Limited broadcast* pour **RIPv1**)
 - ou des annonces *multicast* (adresse **224.0.0.9** si on utilise **RIPv2**).



ROUTAGE AVEC RIP

Fonctionnement

1) Au démarrage :

- Chaque routeur a connaissance des réseaux auxquels il est directement rattaché, ainsi que du coût associé à chacune de ses liaisons (**1** par défaut).
- Le coût de la liaison locale, c'est à dire celle du routeur vers lui-même, est "**0**" alors que celle pour atteindre n'importe quel autre point est "**infini**" ("**16**" par défaut).
- Le routeur envoie un paquet de questionnement (**Request Packet**) à ses voisins pour constituer sa table de routage initiale.
- Ce paquet contient 5 informations pour chaque entrée :
 - L'adresse IPv4 de la **destination**,
 - La **métrique** pour atteindre cette destination,
 - L'adresse IPv4 de première **passerelle** (*next router*) à utiliser,
 - Un **drapeau** qui indique si la route a changé récemment (*route change flag*),
 - Deux **chronomètres** associés à la route, l'un pour signifier que la route n'est plus utilisable (*timeout*), l'autre pour compter le temps durant lequel une route non utilisable doit être maintenue dans la table avant d'être supprimée et l'espace mémoire utilisé recyclé (*garbage-collection*).

ROUTAGE AVEC RIP

Fonctionnement

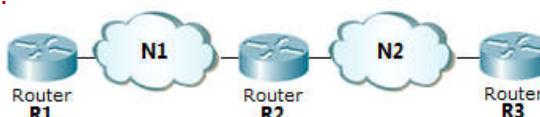
2) En fonctionnement :

- Chaque routeur transmet son vecteur de distance à ses voisins directs (LAN) soit par un **broadcast**, soit par un **multicast**. Le port de destination est toujours **520** ;
- Cet évènement a lieu périodiquement (**30 secondes**) où dès que quelque chose change dans la table de routage (*Triggered updates*), ou encore à réception d'un paquet de demande de route, par exemple par un hôte d'un réseau directement raccordé ;
- Chaque routeur calcule son propre vecteur de distance, le coût minimum est le critère de sélection. Ce calcul intervient dès que :
 - Le routeur reçoit un vecteur de distance qui diffère avec ce qu'il a déjà en mémoire,
 - Le constat de la perte de contact (*link* ou absence de réception des annonces) avec un voisin.
- Quand une route n'a pas été rafraîchie depuis **180** secondes (**6** paquets de *broadcast* non reçus) sa métrique prend la valeur **infinie** (**16**) puis elle est détruite (deuxième chronomètre défini précédemment).

ROUTAGE AVEC RIP

Fonctionnement

Exemple :



- On peut le formaliser par un triplet (**Destination, Gateway, Métrique**) :
 - R1 annonce (R1, local, 0) sur N1
 - R2 annonce (R2, local, 0) sur N1 et N2
 - R3 annonce (R3, local, 0) sur N2
- Chacun annonce ses routes de manière asynchrone, met à jour sa table de routage et annonce celle-ci.
Exp : R2 reçoit les annonces de route de R1 et R3. Il ajoute le coût de la liaison et obtient en final une table qui ressemble à :
 - R2 → (R2, local, 0), (R1, R1, 1), (R3, R3, 1).
 - R1 → (R1, local, 0), (R2, R2, 1), (R3, R2, 2).
 - R3 → (R3, local, 0), (R2, R2, 1), (R1, R2, 2).

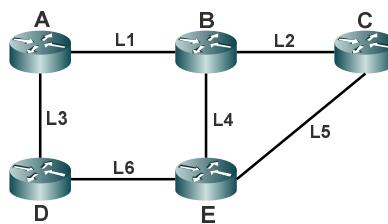
ROUTAGE AVEC RIP

Fonctionnement

Exemple :

Soit la configuration suivante (Figure) où l'on considère que les coûts des liaisons L1, L2, L3, L4, L5 et L6 sont respectivement : 2, 4, 3, 4, 5 et 2 et que les routeurs ont été configurés avec comme protocole de routage RIP.

En suppose que la table de routage contient les champs suivants :



Destination	Passerelle	Coût

- Au démarrage, Quelle est la table de routage du routeur A ?
- On considérera que les vecteurs de distances arrivent par ordre alphabétique. Donner les vecteurs reçus par le routeur A.
- Déterminer la table de routage du routeur A après convergence (stabilisation).

ROUTAGE AVEC RIP

Solution

- Au démarrage, la table de routage du routeur A :

Dest.	Pass.	Coût
A	Direct	0
B	Direct	2
C	?	$\infty (=16)$
D	Direct	3
E	?	$\infty (=16)$

- Les vecteurs reçus par le routeur A :
 - de B : (2, 0, 4, 16, 4)
 - de D : (3, 16, 16, 0, 2)

- La table de routage du routeur A :

$$\mathbf{B} : (2, 0, 4, 16, 4) + \mathbf{2}$$

$$\mathbf{D} : (3, 16, 16, 0, 2) + \mathbf{3}$$

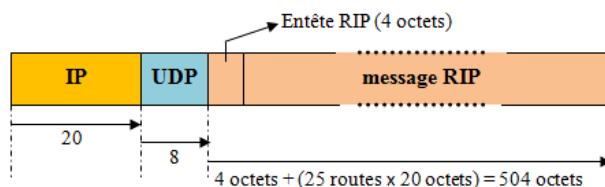
Dest.	Pass.	Coût
A	Direct	0
B	Direct	2
C	B	6
D	Direct	3
E	B	6

Dest.	Pass.	Coût
A	Direct	0
B	Direct	2
C	B	6
D	Direct	3
E	D	5

ROUTAGE AVEC RIP

Le protocole RIPv1 vs RIPv2

- RIP est encapsulé dans paquet **UDP** avec **520** comme port de destination :

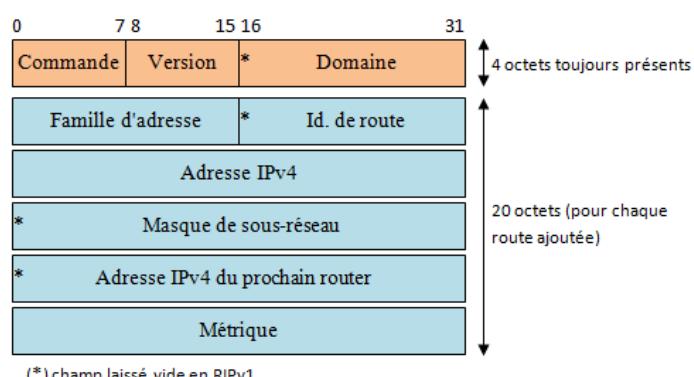


- Le nombre maximum de routes est limité à **25**, comme il faut **20 octets** pour décrire une route,
- La partie utile du datagramme fait au plus $4 + (25 \times 20) = 504$ octets et le paquet complet **532 octets** au maximum,
- Le risque de fragmentation est nul sur des LANs et via les liaisons point à point.
- Par contre, s'il faut propager plus de 25 routes, il faut envisager l'émission d'autant de datagramme que nécessaire !

ROUTAGE AVEC RIP

Le protocole RIPv1 vs RIPv2

- A l'intérieur du **message RIP**, les octets s'organisent de la manière suivante :



ROUTAGE AVEC OSPF

Généralités

- **OSPF** est l'acronyme de *Open Shortest Path First*. L'origine du protocole OSPF, et de la technologie de routage par “**états des liaisons**”, datent du tout début des années 1980, pour faire face aux insuffisances du protocole à vecteurs de distances.

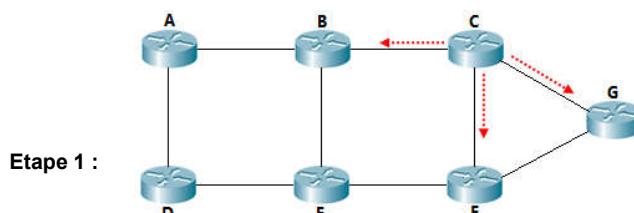
Fonctionnement

1. Chaque routeur est responsable de la reconnaissance de ses voisins (et donc de leur nom) directs, c-à-d accessibles sur un des LANs directement raccordés;
2. Chaque routeur établit un paquet nommé **Link State Packet (LSP)** qui contient la liste des noms et des coûts (métrique) pour atteindre chacun de ses voisins ;
3. Le LSP est propagé à tous les routeurs et chacun conserve le plus récent LSP reçu des autres routeurs dans une base de données (**Link-State Database**).
4. Chaque routeur à la responsabilité par ses propres moyens (puissance CPU) du calcul du chemin à coût minimum (*shortest path*) à partir de lui-même et pour atteindre tous les nœuds du réseau ;
5. Les changements de topologie du nuage de routeurs sont rapidement détectés, annoncés au voisinage, et pris en compte pour recalculer les routes.

ROUTAGE AVEC OSPF

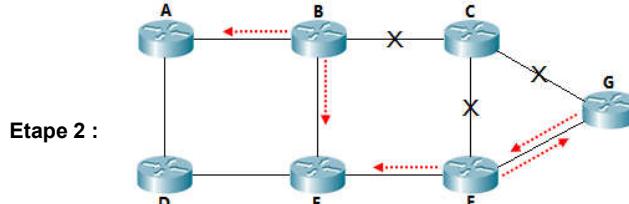
Principe de propagation des états

- Le protocole OSPF a deux grandes activités:
1. La première est de propager ses états et d'écouter ceux de ses voisins au sein de l'AS (Système Autonome), c'est ce qu'on appelle le **flooding**, en français procédé par **inondation**,
 2. La deuxième est de calculer des routes à partir de tous les états de liens reçus. Ce calcul est effectué à l'aide de l'algorithme de **Dijkstra** de recherche du plus court chemin dans un graphe.

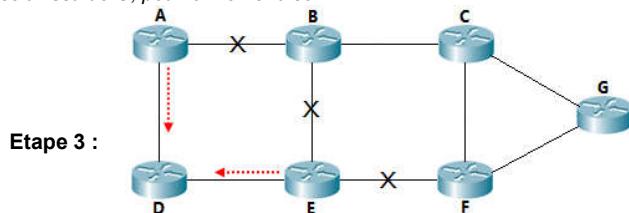


Propagation d'un changement d'état initié par le nœud C. En trois étapes tous les routeurs sont mis au courant.

ROUTAGE AVEC OSPF



On peut remarquer que les routeurs B, F et G s'interdisent de renvoyer le LSP à C, son émetteur. On remarque également que F et G s'envoient le même paquet, mais celui issu de F à un âge plus ancien, il sera donc oublié immédiatement, comme celui issu de G, pour la même raison.



Le Nœud E reçoit le même LSP depuis B et F, le premier arrivé sera pris en compte, le deuxième oublié. Même remarque pour D à la fin de la troisième étape.

ROUTAGE AVEC OSPF

Valeur des états de liens

- Le coût des liens, nommé également la métrique, agit directement sur le choix d'une route plutôt qu'une autre.
- Le constructeur Cisco préconise une formule qui est reprise partout :

$$\text{Cost (coût)} = \frac{10^8}{\text{Bande passante en (bps)}}$$

- Le petit tableau ci-dessous indique quelques valeurs pour des débits connus :

Média	Coût
Liaison série 56 kbps	1785
T1 (série 1544 kbps)	64
E1 (série 2048 kbps)	48
Token ring 4 Mbps	25
Ethernet 10 Mbps	10
Token ring 16 Mbps	6
Ethernet 100 Mbps	1
.....

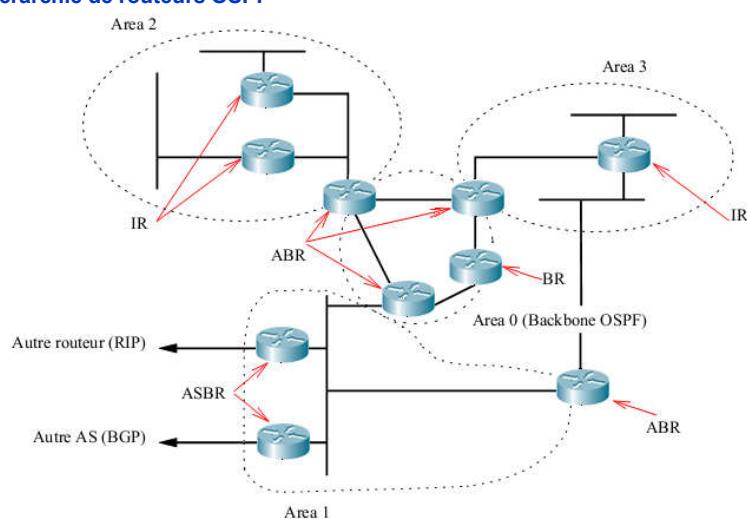
ROUTAGE AVEC OSPF

Hiérarchie de routeurs OSPF

- Les réseaux à administrer peuvent être vastes et complexes, dans ces conditions il est souvent pertinent de les regrouper en sous-ensembles. La conception d'OSPF permet de le faire, il s'agit d'un concept nommé **zone** ou (**area**) et qui se traduit par une hiérarchisation du routage.
- L'avantage de cette approche est de diminuer le nombre de routes sur lequel porte le calcul de plus court chemin, et aussi de diminuer le trafic des mises à jour, non négligeable sur un réseau vaste et complexe.
- On précise qu'une zone doit faire le lien avec toutes les autres, il s'agit forcément de la **zone 0**, qui joue donc le rôle de l'arête centrale (**OSPF Backbone**).
- De cette structuration découle le fait que tous les routeurs n'ont pas le même rôle, certain sont au milieu d'une zone et d'autres à la frontière entre deux zones, voire même à la frontière entre le nuage OSPF et d'autres mécanismes de routage, vers d'autres AS.

ROUTAGE AVEC OSPF

Hiérarchie de routeurs OSPF



ROUTAGE AVEC OSPF

Hiérarchie de routeurs OSPF

- **Internal Routers (IR)** : C'est le cas le plus simple d'un routeur au milieu d'un nuage à l'intérieur d'une zone. Il n'a qu'une seule base d'états de liens qu'il met à jour avec les autres routeurs de son voisinage;
- **Area Border Routers (ABR)** : Ces routeurs se trouvent attachés à au moins deux zones. Ils possèdent autant de bases de données d'états de liens qu'ils ont d'interfaces connectées à des zones différentes. Ces bases diffèrent car elles concernent des nuages différents. Elles doivent être propagées vers la zone 0 sous forme d'une route résumée (*summarized*) qui utilise au mieux les possibilités du CIDR.
- **Backbone Routers (BR)** : Il s'agit de routeurs qui sont raccordés au moins à la zone 0 (à l'aire *backbone*) par au moins une interface. Tous les ABR doivent être BR, par contre un BR n'est pas forcément ABR, il peut être IR à l'aire *backbone*.
- **Autonomous System Boundary Routers (ASBR)** : C'est le (les) routeur(s) qui marque(nt) la frontière d'influence de l'IGP. Il peut être en relation avec n'importe quel autre protocole de routage, par exemple RIP, EIGRP ou BGP.

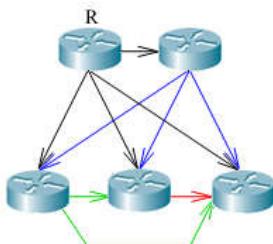
ROUTAGE AVEC OSPF

Fonctionnement à l'intérieur d'une zone

- **Mécanisme d'inondation** : Lors de la diffusion d'un LSP chaque routeur propage le changement d'état reçu à son voisinage réseau. Donc, un trafic en N^2 , si **N** est le nombre de routeurs sur le LAN.
- OSPF essaie de réduire ce nombre à seulement **N** en faisant jouer un rôle particulier à l'un des routeurs, le routeur désigné, ou **Designated Router (DR)**.
- Le routeur désigné (DR) reçoit les mises à jour car il écoute sur une autre adresse multicast, **224.0.0.6** (tous les routeurs OSPF désignés),
- Et propage à nouveau cette information vers les autres routeurs du LAN, avec l'adresse **224.0.0.5** (tous les routeurs OSPF).
- Se pose immédiatement la question de la panne éventuelle du routeur DR, celle-ci bloquerait la mise à jour des bases d'états de liens. A cet effet un routeur désigné de sauvegarde est également élu, c'est le **Backup Designated Router (BDR)**, mis à jour en même temps que le DR mais qui reste muet sur le réseau.

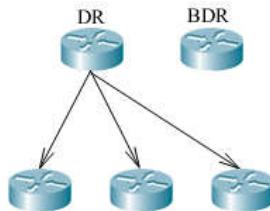
ROUTAGE AVEC OSPF

Fonctionnement à l'intérieur d'une zone



Le routeur **R** propage un nouvel LSP à tous ses voisins, puis chacun propage ce qu'il a reçu vers les voisins pour lesquels il n'a rien reçu.
Le nombre de paquets est alors :

$$N \times (N-1)/2 = 10$$



Le routeur **DR** a reçu un LSP et le diffuse aux trois routeurs concernés.
Notons que le **BDR** ne fait rien, il a également reçu la mise à jour mais s'abstient de toute action tant que le **DR** est opérationnel.