

Numérique et science informatique
Classe de Terminale

Lycée hoche

année scolaire 2025-2026

Contents

1	Le principe du routage	2
2	Les protocoles à vecteur de distance et le routage RIP	3
	2.1 Les protocoles à vecteur de distance	3
3	Le protocole RIP	5
	3.1 Pour aller plus loin	6
4	Les algorithmes à état de lien et le protocole OSPF	6
	4.1 Les algorithmes à état de lien	6
	4.2 Le protocole OSPF	7

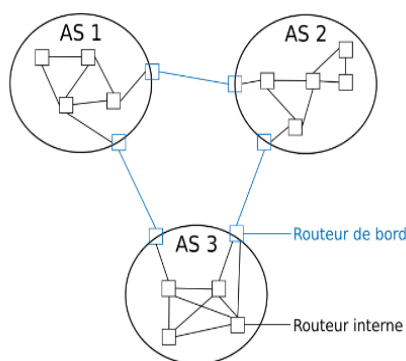
1 Le principe du routage

Un réseau, et plus particulièrement le réseau Internet, est composé de routeurs, un matériel d'interconnexion qui permet de déterminer la route à utiliser pour faire transiter les données entre source et destinataire.

Par route, il faut comprendre le lien à utiliser en sortie pour « rapprocher » la donnée de sa destination à chaque traversée d'un routeur. Sur Internet, un paquet de données peut franchir plusieurs dizaines de routeurs avant d'atteindre sa destination.

Le routage est effectué à l'aide d'un ensemble de règles présent dans les routeurs, appelé généralement la **table de routage**. C'est en consultant cette table que le routeur peut déterminer où il doit envoyer un paquet. Cette table de routage peut être remplie manuellement, mais dans le cas de réseaux étendus, cette approche devient vite impraticable (Internet est composé de centaines de milliers de routeurs). On utilise alors un ensemble de règles pour réaliser cette configuration. Ce sont les **protocoles de routage**.

L'Internet est constitué par l'interconnexion d'un grand nombre de réseaux. Cette organisation est hiérarchique et scindée en AS (pour systèmes autonomes de l'anglais Autonomous System) afin d'en faciliter la gestion. Un AS, identifié par un numéro unique attribué par l'ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) est un ensemble de routeurs interconnectés et administrés par une même organisation.



À l'intérieur d'un AS, le protocole de routage commun appelé IGP (Interior Gateway Protocol) permet aux routeurs d'échanger des paquets. Le choix du protocole de routage interne à un AS ne dépend pas de l'extérieur de l'AS. Entre les AS, le routage d'interconnexion est assuré par un EGP (Exterior Gateway Protocol), l'actuel étant le protocole BGP. C'est le protocole utilisé entre routeurs de bord (voir figure ci-dessus).

Dans ce cours on s'intéresse aux protocoles de routage internes IGP. Deux types de routage interne existent

- le routage **statique** : la table de routage est établie manuellement une fois pour toute et modifiable en fonction des besoins. Ce type de routage est privilégié pour des réseaux locaux de petite taille ;
- le routage **dynamique** : la table de routage est mise à jour automatiquement et périodiquement par des protocoles spécifiques. Chaque routeur envoie régulièrement la liste des réseaux et des sous-réseaux auxquels il est connecté.

Avec les informations reçues des autres routeurs « voisins », chaque routeur peut mettre à jour sa table de routage.

Dans le cas où il y a plusieurs routes possibles pour accéder à un réseau ou un sous réseau, le protocole utilisé permet de choisir la meilleure route afin de garder uniquement celle-ci.

Pour le routage dynamique, deux types d'algorithmes existent :

les algorithmes à vecteur de distance et ceux à état de lien :

- les algorithmes à **vecteur de distance** (distance-vector routing) permettent, avec les informations échangées, à chaque routeur de garder la meilleure route en s'intéressant à la plus courte route en nombre de sauts (hops en anglais) pour atteindre une destination ;
- les algorithmes à **état de lien** (link state routing) se fondent sur la transmission de la carte complète des liens entre les routeurs. Chaque routeur doit ensuite calculer la meilleure route pour chaque destination.

Les algorithmes peuvent fournir :

- un chemin unique ;
- des chemins multiples qui permettent de répartir la charge.

2 Les protocoles à vecteur de distance et le routage RIP

2.1 Les protocoles à vecteur de distance

Les algorithmes à vecteur de distance sont basés sur celui de Bellman-Ford :

- Une route d'une table de routage est composée d'une **adresse destination**, de l'adresse du routeur (**passerelle**) qui permet de l'atteindre depuis le routeur de la table de routage et de la **métrique** (nombre de sauts nécessaires) pour atteindre la destination via le routeur en question ;
- chaque routeur envoie périodiquement à tous ses voisins les routes qu'il connaît ;
- chaque routeur qui reçoit ces informations compare les routes reçues avec les routes déjà présentes dans sa table de routage. Il met à jour sa table de routage dans les deux cas suivants :
 - si la route reçue n'est pas présente dans la table ;
 - si la route reçue est plus intéressante pour joindre une destination que la route précédemment enregistrée : le nombre de sauts reçu auquel il faut ajouter 1 est inférieure au nombre de sauts déjà renseigné dans la table de routage. L'adresse du routeur et la métrique sont mises à jour.

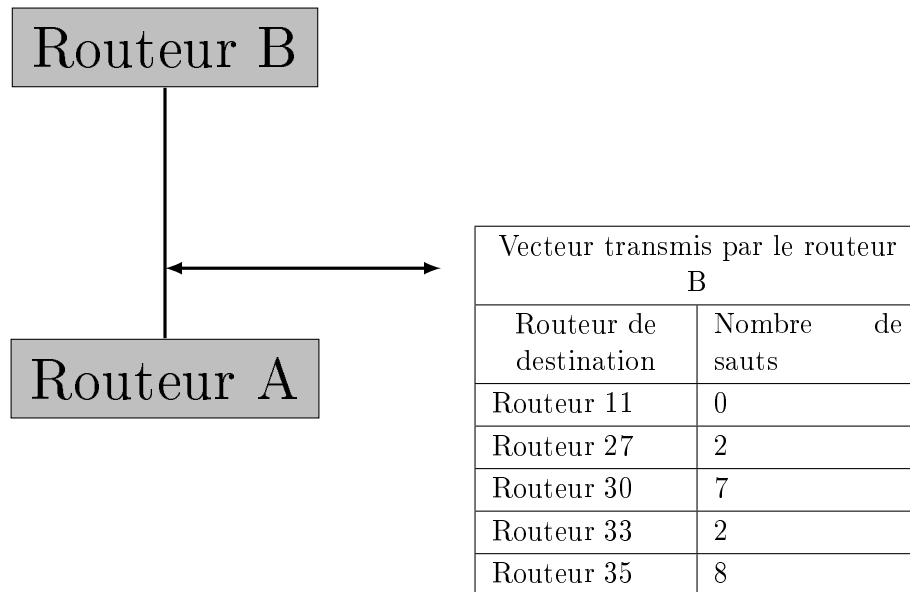


Table de routage du routeur A avant le vecteur transmis par le routeur B		
Routeur de destination	Prochain routeur	Nombre de sauts
Routeur 11	x	0
Routeur 17	Routeur E	5
Routeur 27	Routeur D	6
Routeur 33	Routeur F	4
Routeur 35	Routeur G	3

Table de routage du routeur A après le vecteur transmis par le routeur B		
Routeur de destination	Prochain routeur	Nombre de sauts
Routeur 11	x	0
Routeur 17	Routeur E	5
Routeur 27	Routeur B	3
Routeur 30	Routeur B	8
Routeur 33	Routeur F	4
Routeur 35	Routeur G	3

- Dans l'exemple ci-dessus, le routeur A reçoit le vecteur transmis par le routeur B.
- Pour le routeur 11, la table de routage du routeur A contient déjà une métrique à 0 donc cette entrée de la table de routage reste inchangée.
- Pour le routeur 27, la table de routage du routeur A contient une route avec une métrique de 6. La métrique de 2 incrémentée de 1, pour compter le routeur B qui sera en plus à traverser, est plus intéressante. L'entrée de la table de routage du réseau 27 est mise à jour avec une métrique à 3 et le prochain routeur traversé qui devient le routeur B.
- Pour le réseau 30, la table de routage du routeur A ne contenait pas de route donc l'entrée est ajoutée avec l'incrément de la métrique de 1 et le prochain routeur qui est alors B.

- Pour le réseau 33, la table de routage du routeur A contient une route avec une métrique de 4 donc la métrique incrémentée de 1 n'étant pas inférieure à 4, la table de routage du routeur A n'est pas mise à jour.
- Pour le réseau 35, la table de routage du routeur A contient une route avec une métrique de 3 donc la métrique incrémentée de 1 n'étant pas inférieure à 3, la table de routage du routeur A n'est pas mise à jour.

Avantages d'un algorithme à vecteur de distance:

Simplicité pour les réseaux de taille limitée.

Inconvénients d'un algorithme à vecteur de distance:

- La taille des informations de routage peut être très importante sur un réseau de grande taille puisque la taille des informations de routage est proportionnelle au nombre de routeurs interconnectés.
- Pour un réseau étendu, de très nombreux échanges entre routeurs sont nécessaires avant d'obtenir des tables de routage optimisées, qui ne peuvent être améliorées.
La durée nécessaire à ces échanges, appelée durée de convergence, est très longue.
- Une fois que l'algorithme a convergé, il n'y a qu'une seule route vers chaque destination, ce qui ne permet pas de répartir la charge sur le réseau.

3 Le protocole RIP

Définition

Le protocole RIP (de l'anglais Routing Information Protocol pour protocole d'information de routage) est un protocole de routage interne à vecteur de distance.

Même s'il n'est plus utilisé aujourd'hui, il est relativement simple. Il utilise une technique de diffusion (en anglais broadcast) qui est périodique, toutes les 30 secondes par défaut.

Chaque routeur envoie le contenu de sa table de routage aux routeurs voisins. Les informations sont transférées via des datagrammes UDP (de l'anglais User Datagram Protocol pour protocole de datagramme utilisateur).

Le protocole UDP est un des principaux protocoles d'Internet et il a pour intérêt de transférer des informations rapidement puisqu'il n'y a pas de création de connexion. Ce protocole ne garantit pas l'intégrité et la sécurité des données transférées. La métrique utilisée est le nombre de sauts, nombre entier variant de 1 à 15 et par convention, la valeur 16 correspondant à l'infini. Cette valeur est utilisée si une route n'est pas annoncée par les autres routeurs au moins une fois en 3 minutes.

Le protocole RIP est supporté par tous les routeurs.

- Son implémentation est simple.
- Les erreurs sont limitées.
- Les tables de routage sont globalement satisfaisantes si la topologie du réseau est simple et si les liaisons sont fiables.

Limitations du protocole RIP

- Le métrique (nombre de sauts) est limité à 15 pour éviter les boucles de routage.
- Pour les réseaux complexes, les changements de topologie ne sont corrigés que lentement, on dit que la convergence est lente. Entre temps, le réseau peut comporter provisoirement des boucles, qui peuvent congestionner le réseau.
- À chaque envoi, toute la table est transférée.

- Le protocole RIP ne prend en compte que le nombre de sauts et ne considère pas le débit des liaisons afin de choisir la meilleure route possible. Par exemple, le protocole RIP peut choisir une route avec une ou des liaisons de bande passante à 56 kbit/s alors qu'une autre route avec un saut supplémentaire pourrait avoir uniquement des liaisons avec une bande passante à 10 Gbit/s et serait plus intéressante en termes de débit.

3.1 Pour aller plus loin

Le protocole RIP est pris en charge par IP. Il existe trois versions du protocole RIP :

- RIPv1 défini dans la RFC 1058 ;
- RIPv2 (pour les adresses IPv4) défini dans la RFC 2453 ;
- RIPv6 (pour adresses IPv6).

Les messages RIP peuvent être de deux types :

- une requête qui permet de demander au routeur récepteur d'envoyer une partie ou toute sa table de routage ;
- une réponse qui contient une partie ou toute la table de routage du routeur émetteur.

Les messages RIP :

- commencent par un en-tête de 32 bits contenant :
 - la commande (requête ou réponse) ;
 - la version du protocole ;
- contiennent les couples adresses/métriques.

4 Les algorithmes à état de lien et le protocole OSPF

4.1 Les algorithmes à état de lien

Définition

Les algorithmes à état de lien sont basés sur la technique du plus court chemin nommée SPF (Shortest Path First). Les routeurs connaissent la carte complète du réseau, ce qui leur permet de calculer les meilleurs chemins.

Contrairement aux algorithmes à vecteur de distance, les routeurs ne communiquent pas toutes les destinations connues. Un routeur SPF teste l'état des liens qui le connectent aux routeurs voisins puis diffuse périodiquement l'état de ses liens (actif ou inactif) à tous les routeurs de l'AS. Les informations échangées sont uniquement l'état des liens entre deux routeurs. Dès qu'un routeur reçoit une information, si elle est différente de celle stockée dans sa table de lien, il la met à jour.

Exemple de table des liens commune à tous les routeurs à un instant donné:

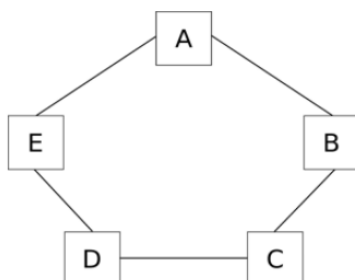


Table des liens		
Routeurs	Lien	Distance
A vers B	A – B	1
A vers E	A – E	1
B vers A	B – A	1
B vers C	B – C	1
C vers B	C – B	1
C vers D	C – D	1
D vers C	D – C	1
D vers E	D – E	1
E vers A	E – A	1
E vers D	E – D	1

Lorsque la table des liens est modifiée, chaque routeur recalcule le plus court chemin pour chaque route affectée par la modification. Le réseau est alors modélisé comme un graphe étiqueté non orienté.

Pour calculer le plus court chemin du routeur en question à toutes les destinations possibles, l'algorithme utilisé est celui de Dijkstra.

Ainsi, chaque routeur a la vue des plus courts chemins en termes de coûts partant de lui-même. La vue logique donne une arborescence dont la racine est le routeur en question.

Dans l'exemple ci-dessus, l'algorithme de Dijkstra appliqué par le routeur A sélectionne le routeur E pour aller à la destination D. Le même algorithme donnera le routeur D au routeur E comme plus court chemin. En effet, avec la métrique considérée ici qui est le nombre de lien, le chemin A-E-D est plus court que le chemin A-B-C-D. Avantages de l'algorithme à état de lien

1. Chaque routeur calcule ses propres routes indépendamment des autres routeurs.
2. La convergence est rapide et sans boucle.
3. Les chemins multiples qui permettent de répartir la charge sont possibles.
4. Les métriques utilisées ne sont pas limitées au nombre de liens. Pour le protocole OSPF, nous allons voir dans la suite du document que la métrique utilisée est le débit, donc le plus court chemin sera calculé vis-à-vis de la bande passante.
5. Les messages diffusés ne sont pas modifiés par les routeurs intermédiaires, ce qui permet de mieux contrôler en cas de dysfonctionnement.
6. Les algorithmes à état de lien sont plus complexes mais plus permanents et plus adaptés aux réseaux étendus que les algorithmes à vecteur de distance

4.2 Le protocole OSPF

Le protocole OSPF (Open Shortest Path First) est un protocole à état de lien, normalisé en 1990, décrit dans la RFC 2328. Il est pris en charge par le protocole IP. C'est le protocole de routage interne dominant et il est supporté par la plupart des routeurs. Il fonctionne en tant que protocole interne, dans un système autonome. Ce protocole attribue un coût à chaque lien entre les routeurs de l'AS. Le O du sigle OSPF signifie que sa spécification doit appartenir au domaine public et que toute solution propriétaire est exclue. L'algorithme pour trouver la meilleure route est celui de Dijkstra qui fournit dans ce cas le coût cumulé le plus faible des liens de la route vers une destination d'une zone donnée. Le coût utilisé pour chaque lien doit être inversement proportionnel à la bande passante du lien en question. Ce coût peut être défini manuellement ou calculé avec la formule suivante :

L'algorithme de Dijkstra évalue le coût de chaque route entre A et D. La route A-B-C-D a un coût de $1 + 1 + 2 = 4$.

La route A-E-D qui serait choisie par le protocole RIP a un coût de $50 + 1 = 51$ donc l'algorithme de Dijkstra choisira la route A-B-C-D.

Sur un réseau de petite taille, la route choisie par l'algorithme Dijkstra peut être trouvée à la main comme dans l'exemple ci-dessus.

Les avantages d'OSPF

- La convergence rapide.
- L'algorithme est très performant pour neutraliser les boucles.
- Les échanges sur l'état des liens des routeurs voisins permettent à chaque routeur de déterminer le plus court chemin vers chaque destination.

Les limitations du protocole OSPF.

- L'algorithme pour élire les rôles spécifiques des différents routeurs est complexe.
- L'algorithme est gourmand donc occupe les processeurs des routeurs.

