

**Objectifs de l'activité :**

- ^ Comprendre les algorithmes de routage
- ^ Appliquer les connaissances sur les graphes

**Pré-requis :**

- ^ Cours sur les graphes.

**Matériel ou Logiciel nécessaire :**

- ^ Activité débranchée

**Temps estimé : 3h**



Source : [Routage et routage dans internet de David Mercier](#)

L'idée de relier des ordinateurs en réseau date de la fin des années 60 avec le projet ARPANet qui développe la commutation de paquets par opposition à la commutation de circuits utilisée à cette époque pour la téléphonie.

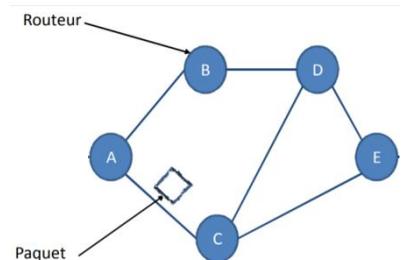
En 1974, le TCP/IP (Transmission Control Protocol et Internet Protocol) est créé pour uniformiser le réseau ; le système est toujours utilisé de nos jours.

Le 1<sup>er</sup> janvier 1983 le nom « Internet », déjà en usage pour désigner l'ensemble d'ARPANET et de plusieurs réseaux informatiques, est devenu officiel.

Au fur et à mesure que les réseaux grandissent, des algorithmes de routage de paquets sont développés.

**A- Mise en situation**

Pour étudier les algorithmes de routage, on représente les réseaux comme des graphes. Dans le cas réel, on se sert des adresses IP pour identifier chacun des ports des routeurs et donc des routes. Dans la représentation sous forme de graphe on utilise le nom du routeur pour simplifier la représentation.

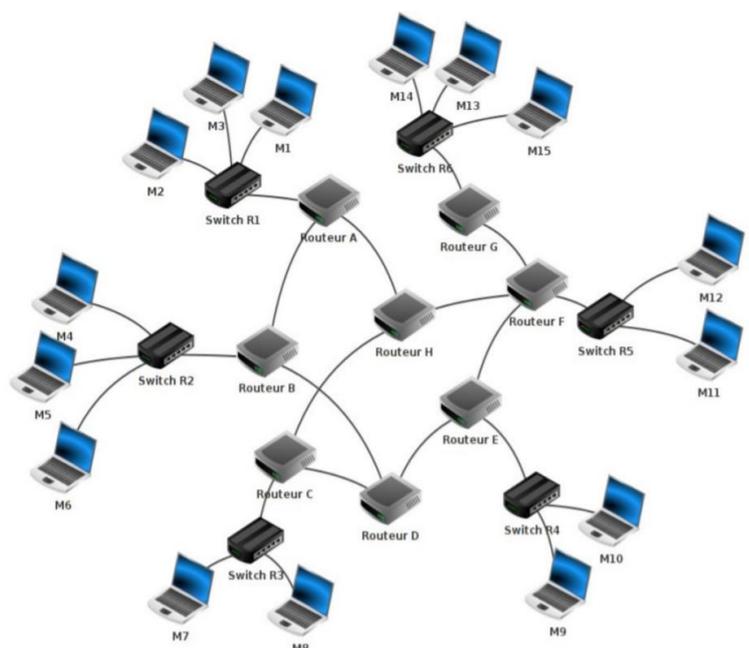


**Remarque :**

On parle ici de réseaux de réseaux. Chaque routeur permet l'accès à un réseau local (LAN) ou à un ensemble de réseaux.

Dans l'exemple ci-contre :

- Entourer les LAN
- Donner les routeurs permettant d'accéder à un LAN,
- Donner les routeurs permettant d'accéder uniquement à des réseaux.
- Tracer le graphe représentant ce réseau.



## B- Routages statiques.

Ce sont les premiers systèmes de routage, ils sont encore utilisés dans certains cas.

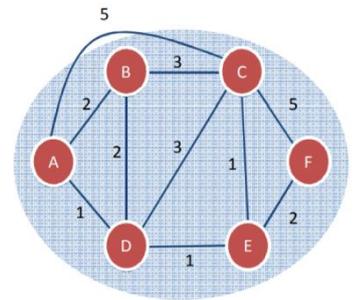
Un routage statique signifie que le routage est configuré pour un réseau donné : pas d'adaptation automatique à une modification du réseau.

Les routes statiques sont configurées en dur sur chacun des routeurs dans une table de routage par l'administrateur du réseau.

### 1. Routage optimisé.

Un routage statique peut être mis en place à la main suite aux résultats de l'algorithme de Dijkstra. Dans chaque routeur l'administrateur réseau implémente une table de routage pour chaque destination.

On ne sait pas à priori par où va passer le paquet, mais à chaque étape, on lui donne la direction à prendre.



- Compléter la table de routage du routeur A et du routeur D :

Table de routage de A		
Dest.	Lien	Coût
B	B	2
C	D	4
D		
E		
F		

Table de routage de D		
Dest.	Lien	Coût
A		
B		
C		
E		
F		

- Citer un avantage :  
➤ Citer un inconvénient :

### 2. Routage par inondation.

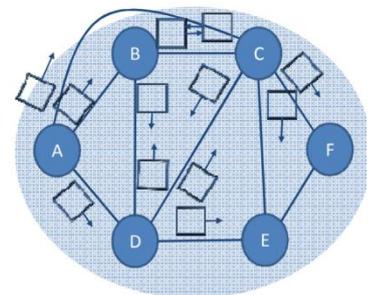
L'idée la plus simple pour atteindre un destinataire dans le réseau consiste à envoyer le paquet sur tout le réseau :

Chaque routeur renvoie le paquet sur tous ses ports (sauf celui par lequel il est arrivé)

Forcément, à un moment ou à un autre il va arriver à destination.

#### **Contrainte :**

Chaque routeur doit connaître l'adresse IP de ces voisins en lien direct.



- Citer un avantage :  
➤ Citer un inconvénient :

## C- Routages dynamiques

Le routage dynamique est conçu pour s'adapter à un réseau qui évolue au cours du temps (ajout ou suppression de routes, panne d'un routeur, etc..).

Pour cela les routeurs se transmettent des informations pour qu'ils puissent mettre à jour leur table de routage. Ils s'appuient sur des protocoles spécifiques : protocoles de routage.

#### **Principe :**

- Diffusion périodique sur le réseau des informations de routage
- Les routeurs :
  - échangent leurs informations de routage
  - mettent à jour leur table de routage

#### **Algorithmes dynamiques les plus connus :**

- algorithmes à vecteur de distance (RIP par exemple)
- algorithmes à état de lien (OSPF par exemple)

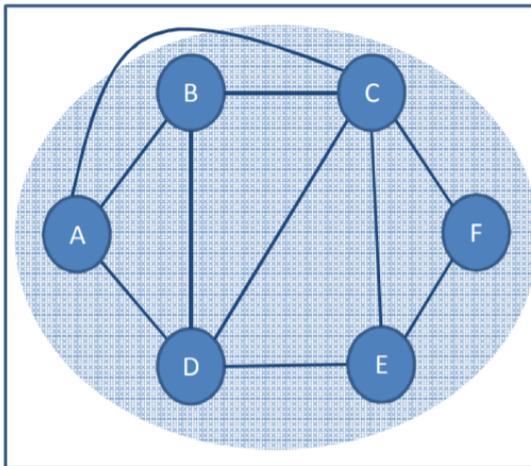
## C.1- Routage à vecteur de distance.

L'algorithme de routage à **vecteur de distance** envoie les informations périodiquement sur les routeurs voisins.

Exemple : le protocole **RIP** envoie des mises à jour sur le réseau toutes les **30 secondes**.

### Principe :

- Chaque routeur maintient sa propre table de routage.
- Chaque routeur estime une distance (délai, coût, longueur, occupation, paquets en attente ...) avec ses voisins.
- Chaque routeur met à jour sa table de routage à partir de cette information de distance avec ses voisins et des informations de distance reçues par ses voisins (vecteurs de distance).



Par exemple B estime un délai de 10ms vers A

Vecteur de distance issu de B		Vecteur de distance issu de C		Vecteur de distance issu de D	
A	10	A	4	A	1
B	0	B	11	B	5
C	12	C	0	C	6
D	5	D	7	D	0
E	8	E	12	E	3
F	20	F	4	F	16

Informations reçues par A de la part de ses voisins

D'un autre côté, A a estimé les délais vers B,C et D à 8, 3 et 2.

#### Nouvelle table de routage de A :

Calcul de route vers E :

BE=8 CE=12 DE=3

or AB=8 AC=3 AD=2

donc on passe par D

A	B	C	D	E	F
-	B	C	D	D	C
0	8	3	2	5	7

Calcul de route vers F :

BF=20 CF=4 DF=16

or AB=8 AC=3 AD=2

donc on passe par C

20

### Remarque :

On voit sur cet exemple qu'il y a des incohérences entre les tables de routage des différents routeurs. Par exemple :

- Donner le temps de route (CE) :
- Idem en passant par D :

C'est un problème de convergence des tables de routage : Au bout d'un certain temps, à force d'échanges d'informations les tables vont converger (les temps des différentes tables seront cohérents).

C'est l'inconvénient de cet algorithme : le **temps de convergence est long**.

### Problème posé par ces incohérences avant la convergence :

Un paquet doit être envoyé de C à E. La table est mise à jour : Le paquet passe par D.

- Donner la route et le chemin associé :

Une coupure intervient sur le lien (DE). D et E le savent mais les autres routeurs de le savent pas encore.

- Indiquer le chemin emprunté par le paquet :

**Conclusion : le paquet tourne en boucle** entre les routeurs C D B jusqu'à la prise en compte de l'information de coupure par l'ensemble des routeurs.

C'est le problème majeur de cet algorithme à vecteur de distance : un routeur qui envoie un paquet ne sait pas si la route empruntée ne va pas passer par lui-même. Ce qui crée une boucle.

## Application au protocole RIP (Routing Information Protocol)

Issu des travaux de Bellman-Ford (publiés en 1956 et 1958), il a été développé par l'université de Californie (UCB, *University of California at Berkeley*) pour UNIX BSD 4.2 en 1983 (*Berkeley Software Diffusion*). RIP (Routing Information Protocol) est un protocole libre de droit, facile à « installer », simple, solide et a été l'un des premiers protocoles de routage à être développé (utilisé initialement pour ARPAnet), ce qui en fait son grand succès.

- C'est un protocole à vecteur de distance.
- RIP utilise une métrique à nombre de sauts (hop en anglais, correspond au nombre de routeurs à traverser pour arriver à destination). Le nombre de sauts est limité à 15.
- Chaque routeur envoie sa table de routage à ses voisins toutes les 30 secondes.
- Si une route n'est pas actualisée pendant 180s, elle est supprimée de la table.

### C.2- Routage à état de lien.

Le **routage à état de lien**, a été créé pour juguler les inconvénients du **protocole à vecteur de distance**. Ce protocole de routage met à jour le réseau régulièrement (toutes les 30 minutes pour le protocole OSPF si le réseau est stable) ou quand un changement dans le réseau se produit.

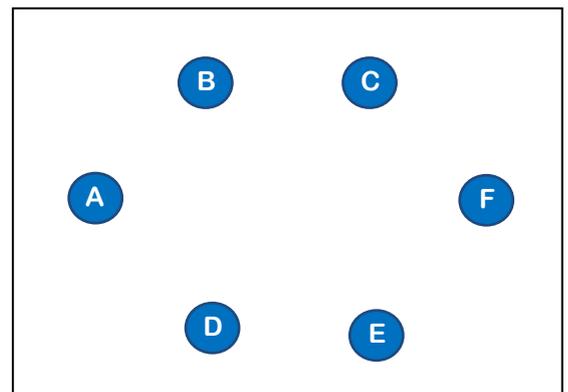
#### Principe :

1. Découvrir ses voisins et leur adresse réseau.
2. Mesurer la distance vers chacun des voisins : les délais sont mesurés expérimentalement.
3. Construire un paquet spécial contenant les informations qu'il vient de découvrir.
4. Diffuser (inonder) ce paquet à tous les autres routeurs.
5. Calculer le plus court chemin vers chaque routeur en utilisant l'algorithme de Dijkstra.

Exemple de messages envoyés par chaque routeur : chaque message contient la table de routage des voisins du routeur concerné.

Il est possible de construire le graphe du réseau à partir des tables de routage des voisins de chaque routeur.

A		B		C		D		E		F	
Séq.											
Âge		Âge		Âge		Âge		Âge		Âge	
B	2	A	2	A	5	A	1	C	1	C	5
C	5	C	3	B	3	B	2	D	1	E	2
D	1	D	2	D	3	C	3	F	2		
				E	1	E	1				
				F	5						



- Retrouver le graphe de ce réseau à partir des tables de routage.
- Citer deux avantages :
  - Plus de problème de boucle puisque la mise à jour des routeurs se fait simultanément.
  - En théorie, pas de limitation de la taille du réseau.

#### Inconvénient :

Les tables de routage croissent avec le nombre de routeurs dans un réseau. Ce qui nécessite plus de mémoire au sein des routeurs et plus de temps pour explorer les tables.

## Application au protocole OSPF (Open Shortest Path First)

OSPF est un protocole très répandu sur internet, de routage dynamique, à état de lien, développé par l'IETF à la fin des années 80.

Ce protocole a deux caractéristiques essentielles :

- Il est ouvert : c'est le sens du terme Open de OSPF. Son fonctionnement est connu de tous.
- Il utilise l'algorithme SPF pour Shortest Path First, plus connu sous le nom d'algorithme de Dijkstra, afin d'élire la meilleure route vers une destination donnée.

Le coût d'un lien est défini en général en fonction de son débit :

En standard : coût = 100Mbits/débit =  $10^8$  / débit

Soit 10 pour une liaison de 10Mbits

Pour prendre en compte l'évolution des débits, le coût de référence utilisé est souvent de 10Gbits.

- Calculer le nouveau coût pour la même liaison de 10Mbits :

Au sein d'un réseau, un routeur est élu Designed Router (**DR**). Il va centraliser les informations pour éviter de surcharger le réseau.

Chaque routeur transmet au **DR** ses routeurs voisins ainsi que le coût des liens.

Toutes les 30minutes ou bien en cas de changement, le DR diffuse la configuration du réseau à tous les routeurs.

L'ensemble de ces messages s'appelle des **LSA** (Link State Advertisements).

Chaque routeur OSPF stocke les informations de routage et de topologie dans trois tables :

**Table de voisins** (Neighbor table) - stocke des informations sur les voisins OSPF

**Table de topologie** (Topology table) - stocke la topologie d'un réseau

**Table de routage** (Routing table) - stocke les meilleurs itinéraires

## Comparaison des routages RIP et OSPF

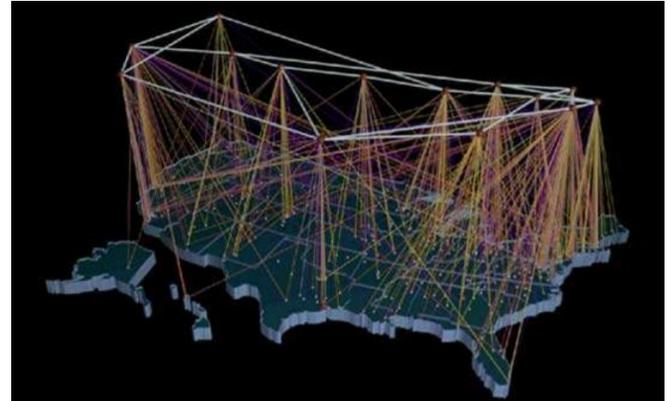
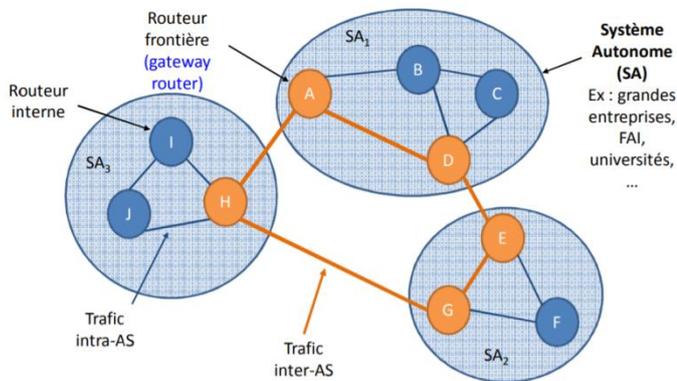
Routing Information Protocol	Open Shortest Path First
Calcule le coût en fonction du nombre de sauts	Calcule le coût en fonction du débit en règle générale
Diffuse des messages toutes les 30s Surcharge importante de trafic sur grands réseaux	Diffusion limitée Moins de surcharge
En cas de panne de route, il faut échanger toute la table de routage (long sur de grands réseaux). Temps de convergence long. Problème de boucle.	Plus rapide à trouver de nouvelles routes. Temps de convergences courts
Algorithme simple, ne nécessitant pas de routeur performant.	Le calcul du meilleur chemin (Dijkstra) et la mémorisation de la configuration de tout le réseau nécessite des routeurs performants.

## D- Organisation des grands réseaux.

On a vu que le protocole à vecteur de distance était limité en taille (RIP limité à 15 sauts). Il en est de même pour le protocole à état de lien (OSPF) : Le temps de calculs du plus court chemin (Dijkstra) et la taille mémoire nécessaires pour mémoriser un tel réseau seraient trop importants.

Les plus grands réseaux sont organisés comme une association de réseaux plus petits, qui eux peuvent être routé à l'aide du protocole à lien de distance. Ces petits réseaux sont appelés **Système Autonome (SA)** ou **Autonomous System (AS)**.

Le protocole OSPF est capable de gérer une telle organisation.



- **Routing Intra-AS** : un seul administrateur, pas besoin de décision politique. Il peut se concentrer sur la performance.
- **Routing Inter-AS** : les administrateurs veulent contrôler comment le trafic est routé. La politique a une valeur importante. La politique peut dominer la performance.