

## *Réseaux et Interconnexion*

# Routage

Mr. KHEBBACHE Mohib Eddine

1<sup>ère</sup> année Master SDIA

2016/2017

[kmohibeddine@yahoo.fr](mailto:kmohibeddine@yahoo.fr)

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

# Plan

## 1 Introduction

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

## Plan

1 Introduction

2 Routage

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

## Plan

- 1 Introduction
- 2 Routage
- 3 Algorithmes de Routage

## Plan

- 1 Introduction
- 2 Routage
- 3 Algorithmes de Routage
- 4 Protocoles de Routage



L'échange entre deux entités communicantes quelconques nécessite :

- **Commutation** : pour mettre en relation de façon temporaire les deux correspondants, une liaison temporaire entre 2 terminaux connectés est créée. le commutateur, comme organe de commutation, réalise une fonction d'aiguillage d'où les blocs d'informations suivent toujours le même chemin durant la connexion. les réseaux X.25 OU ATM sont des réseaux commutés.
- **routage(forwarding)** : en fonction de l'adresse et le nom, le réseau assure l'acheminement des blocs d'informations vers le destinataire, à travers un ou plusieurs réseaux. Dans un réseau routé, chaque paquet suit sa propre route, qui est à chaque instant organisée grâce à la dynamique des tables de routage. Internet est un réseau routé.



Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

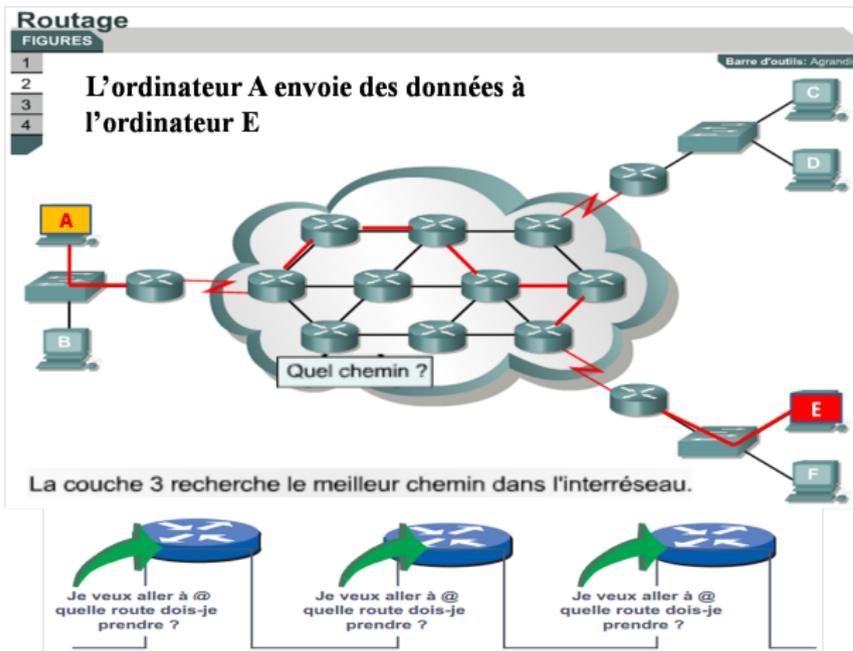
## commutation

Lorsque l'adresse destination n'intervient pas dans le processus de décision d'acheminement, on parle alors de commutation. La décision est prise à partir d'une table, dite table de commutation

## Routage

Lorsque la décision d'acheminement est prise en fonction d'une adresse destination, on parle de routage,

- le service de routage est fourni dans la couche 3 de modèle OSI
  - **couche réseau**
- l'organe de routage  $\implies$  **routeur**, fonctionne avec les adresses logiques (@IP)
- le routeur est connecté directement à deux ou plusieurs réseaux
- pour chaque datagramme, une décision d'acheminement est prise par chacun des routeurs traversés pour assurer le transit des blocs d'un point d'entrée à un point de sortie.
  - en fonction de l'@destination
  - et à partir de table de routage



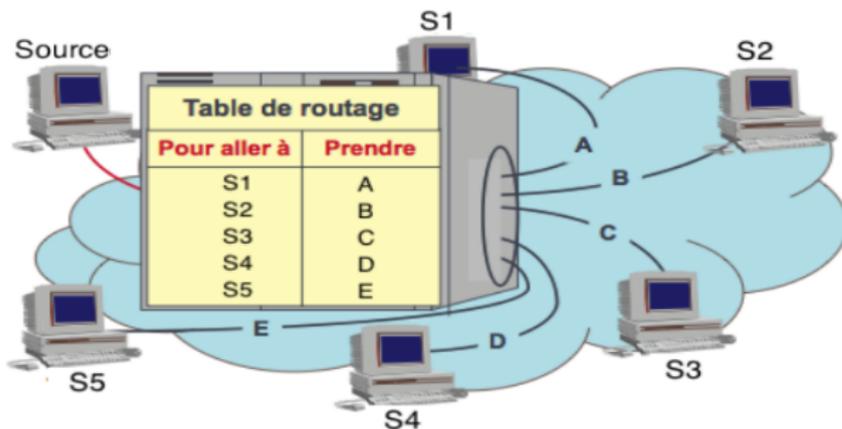
## But

détermination d'un chemin à travers le réseau entre une machine émettrice et une machine réceptrice,

- Le protocole de routage décrit comment sont construites les tables d'acheminement
  - établissent des règles d'échange des informations de contrôle entre routeurs
  - Mettent à jour leurs tables d'informations selon des critères de coût (distance, état de la liaison, débit).
  - Améliorent l'efficacité du routage.
- l'algorithme de routage décrit la politique d'acheminement : comment choisir le chemin efficace dans un réseau, menant d'une source à une destination désignée par son adresse.

- **il commence par la construction des tables de routage au niveau de chaque nœud**
  - Chaque nœud du réseau comporte des tables, dites tables d'acheminement ou tables de routage.
  - qui indiquent la route à suivre pour atteindre le destinataire.
  - En principe, une table de routage est un triplet

<Adresse destination>/<Route à prendre>/<Coût>

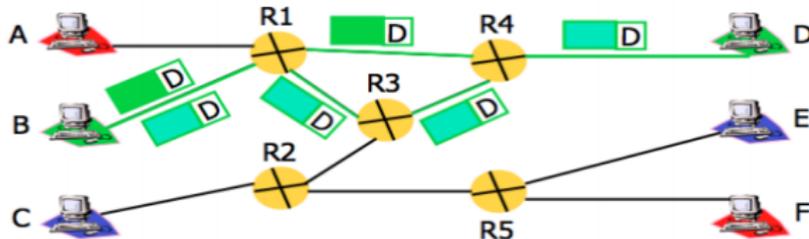


- **utilise ces tables pour l'acheminement des paquets entre les stations**
  - A priori, aucun routeur n'a une vision globale de la route que prendront les paquets
  - Chaque paquet contient @destination (pour identifier le destinataire).
    - les paquets sont relayés de proche en proche jusqu'au destinataire
  - Le "coût" permet de choisir la route appropriée si plusieurs routes sont possibles.
    - L'émetteur du paquet doit connaître le premier routeur relais
    - chaque routeur est chargé d'acheminer le paquet vers le routeur suivant jusqu'à la destination finale

Exemple : coût = nombre de sauts (de routeurs) pour atteindre la destination.

dest	next	coût
D	R3	3
D	R4	2
E	R3	4
F	R4	5
C	R3	3
...	...	...

dest	next	coût
D	D	1
...	...	...



Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

- Boucles de routage (le message peut "tourner en rond" dans le réseau et ne jamais atteindre son destinataire).
- En cas de panne dans le réseau (certains liens ou certains routeurs peuvent être défaillants) et qu'il faut optimiser le calcul des nouvelles routes rapidement

- un algorithme de routage consiste au choix du chemin efficace dans un réseau
- ce sont des algorithmes classiques de recherche du meilleur chemin dans un graphe
- plusieurs types (modes) de routage
  - **Statique** : le choix de la route est définie par l'administrateur une fois pour toute
    - simple
    - Adapté aux petits réseaux mais non à la défaillance d'un lien
    - Ne recherche pas la route optimale(les paquets prennent la même route)
  - **Dynamique** : les tables de routage construites automatiquement sans l'intervention de l'administrateur.
    - Plus complexe
    - Les routeurs échangent régulièrement leurs états et mettent à jour leurs tables de routage.
    - surcharge le réseau par l'échange d'informations de routage
    - Permet de choisir la route optimale.



## délivrance de paquet IP

- Le routage statique consiste à construire, dans chaque nœud, une table indiquant, pour chaque destination, l'adresse du nœud suivant.
- Cette table est construite manuellement par l'administrateur du réseau lors de configuration du réseau et à chaque changement de topologie.
- l'algorithme de routage statique basé sur le calcul de l'@ réseau destination ceci en effectuant un et logique (AND) entre l'@ IP destination extraite du paquet IP et le masque de sous réseau (N) donné

$$V = @IP \text{ dest} \wedge N$$



## délivrance de paquet IP

- Si  $V = IP$  res alors la machine se trouve dans le même sous réseau (même segment) et les messages lui sont envoyés directement (mettant son @ MAC)
- sinon
  - si l'adresse désigne un autre réseau (sous-reseau) présenté sur la table de routage alors Le datagramme est envoyé au routeur(passerelle)(@ MAC) qui l'aiguille à ce dernier.
  - sinon, Le datagramme est envoyés à la passerelle (routeur) qui se charge de les acheminer vers leur destination (route par défaut "0.0.0.0")

### délivrance de paquet IP





Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

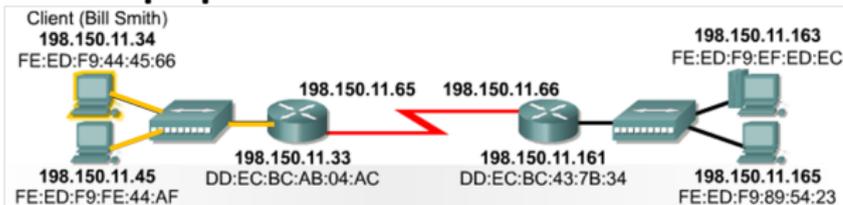
Protocoles  
de Routage

## délivrance de paquet IP

### Note

avant qu'un routeur envoie le paquet à la prochaine passerelle, il examine le champ TTL du paquet et le décrémente de 1. S'il passe à 0, il détruit le paquet. Autrement, il envoie le paquet à la prochaine passerelle pour le réseau.

## délivrance de paquet IP



### Source

Application

Présentation

Session

Transport

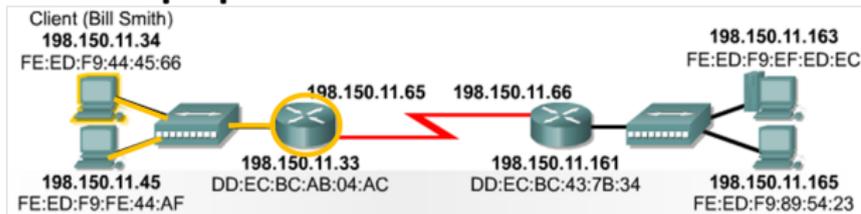
Réseau

Liaison de données

Physique

Trame En-tête		Réseau En-tête		Données
Destination	Source	Source	Destination	
DD:EC:BC:AB:04:AC	FE:ED:F9:44:45:66	198.150.11.34	198.150.11.163	Courrier électronique Données

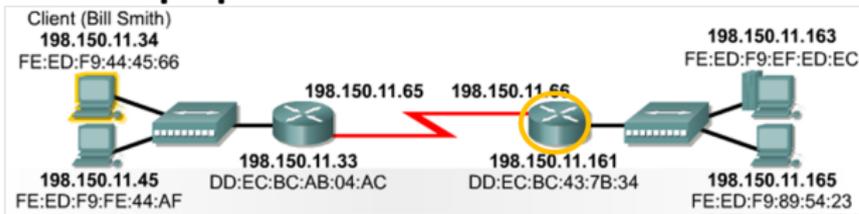
## délivrance de paquet IP



198.150. 11.163	<b>Adresse IP</b>
255.255.255.224	<b>Masque de sous-réseau</b>
198.150. 11.160	<b>Résultat</b>

Le routeur applique le masque de sous-réseau à l'adresse de destination. Il compare ensuite le résultat avec sa table de routage. La table indique que pour accéder au réseau 198.150.11.160, le paquet doit être transmis au port série,

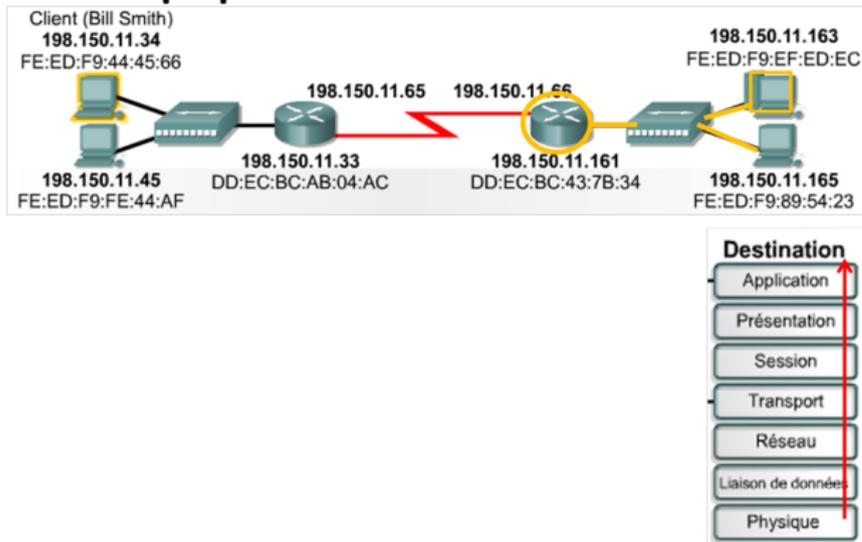
## délivrance de paquet IP



198.150. 11.163	<b>Adresse IP</b>
255.255.255.224	<b>Masque de sous-réseau</b>
198.150. 11.160	<b>Résultat</b>

Le routeur applique le masque de sous-réseau à l'adresse de destination. Il compare ensuite le résultat avec sa table de routage. La table indique que pour accéder au réseau 198.150.11.160, le paquet doit être transmis au port Ethernet, 198.150.11.161, sur le routeur.

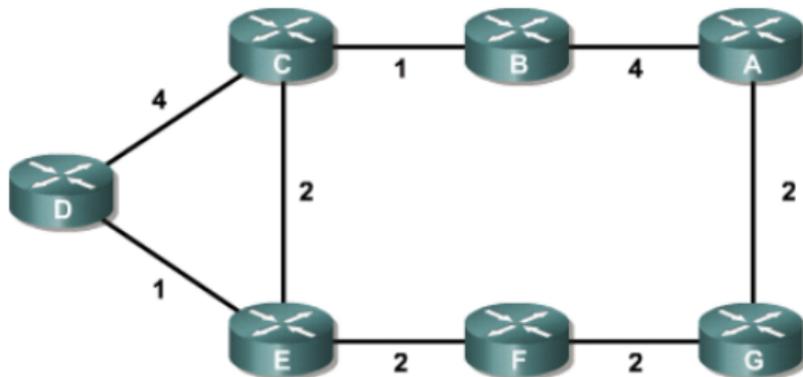
### délivrance de paquet IP



# Algorithmes de Routage

## Routage statique (Plus court chemin)

- L'administrateur calcule les chemins minimums entre chaque deux stations (réseaux)
  - Le réseau représenté par un graphe pondéré.
  - Calcul des chemins effectué part des algorithmes Plus Court Chemin (Dijkstra)
- puis introduit les tables correspondant à ces chemins dans chaque routeur.





# Algorithmes de Routage

## Routage statique (Plus court chemin)

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

Le coût (métrique) de chaque arrêté peut être calculé selon :

- le nombre de saut
- la distance réelle (en km)
- le délai de transmission
- le nombre de paquets moyen dans les files d'attente
- le taux d'erreurs moyen
- le trafic moyen observé, ...



Chaque nœud envoie le message sur toutes ses lignes de sortie, sauf celle d'où provient le message.

- **Problème** : surcharge du réseau

- Solution :

- chaque message comporte un compteur de sauts.
- Le compteur est initialisé à l'émission (max sauts autorisés)
- et décrémenté par chaque nœud
- Le message est détruit quand le compteur de sauts est à zéro.

- **Problème** : de bouclages

- Solution :

- les messages sont numérotés
- chaque nœud mémorise cet identifiant
- et détruit les messages déjà vus.



# Algorithmes de Routage

## Routage statique (Inondation)

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

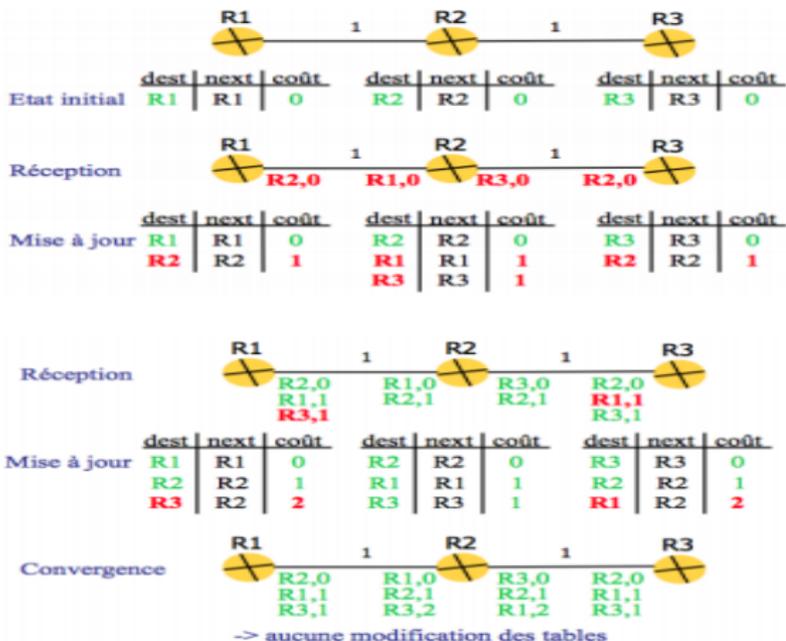
- système est très robuste, il résiste à la destruction de plusieurs lignes
- garantit le plus court chemin
- communications militaires
- utilisé par certains protocoles de routage pour
  - diffuser les informations d'états du réseau.
  - découvrir le chemin optimal et en déduire une route statique.



- Distance Vector Routing ou routage de Bellman-Ford,
- Chaque nœud du réseau maintient une table de routage
  - qui comporte une entrée par nœud du réseau et le coût pour joindre ce nœud.
- **Périodiquement**, chaque nœud diffuse sa table de routage à ses voisins.
  - Le nœud destinataire apprend ainsi ce que son voisin est capable de joindre.



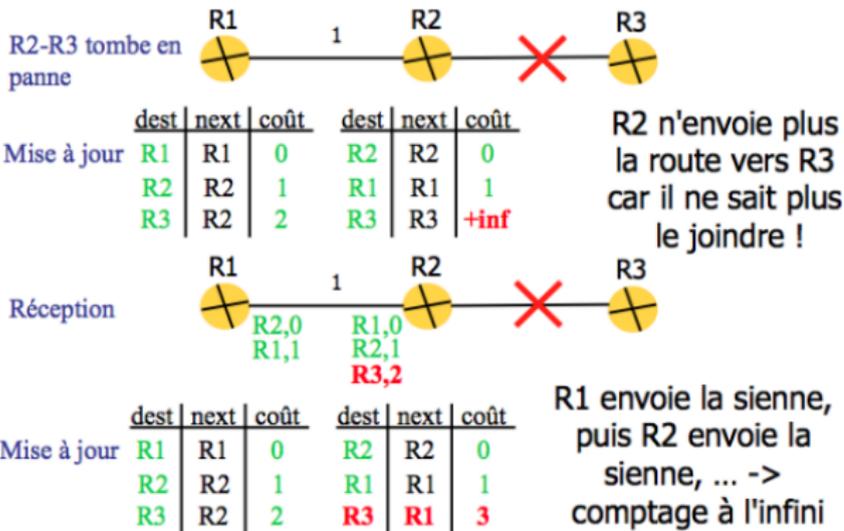
- **A réception**, le nœud compare les informations reçues à sa propre table de routage :
  - Si la table reçue contient une entrée existe déjà dans sa propre table.
    - Si le coût calculé (coût reçu incrémenté du coût du lien) est supérieur à l'information qu'il possède, alors il l'ignore
    - sinon il met sa table à jour de cette nouvelle entrée.
  - Si la table reçue contient une entrée qui n'est pas existe déjà
    - il incrémente le coût de cette entrée du coût affecté au lien par lequel il vient de recevoir cette table
    - et met cette entrée dans sa table.
    - Il a ainsi appris une nouvelle destination.
- De proche en proche chaque nœud apprend la configuration du réseau et le coût des différents chemins.
- La convergence des différentes tables peut être assez longue.





Deux problèmes en cas de panne d'un lien :

- 1 **Les boucles de routage** : la panne d'un lien peut conduire à un bouclage infini des paquets dans le réseau. Ex : tous les paquets à destination de R3 oscillent entre R1 et R2
- 2 **l'algorithme ne converge plus** : à l'échange suivant, R1 apprend de R2 que désormais le coût pour rejoindre R3 en passant par R2 est de 3 ! il met sa table à jour (R3, R2,4) ; de même, R2 va apprendre de R1 que désormais le coût pour rejoindre R3 est de 4...





Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

Les solutions utilisées consistent à :

- 1 interdire à un nœud de signaler une destination qu'il connaît au routeur par lequel il l'a apprise (split horizon)
- 2 limiter la valeur infinie du coût à une petite valeur (16 dans RIP)! convergence dès que l'infini est atteint

problème de Routage à vecteur de distance :

- un routeur doit attendre son voisin, un long temps, pour avoir l'information de changement d'état du réseau

Le routage à état des liens (link state routing) procède différemment :

- Chaque routeur apprend ses propres réseaux directement connectés
  - Les routeurs découvrent les routeurs directement connectés  
⇒ échangent des paquets Hello
    - envoi d'un paquet spécial "HELLO"
    - auquel les voisins répondent par leur identité
  - Mesurer le temps d'acheminement avec ses voisins
    - envoi d'un paquet spécial "ECHO", qui est aussitôt renvoyé par les voisins
    - un timer mesure le temps Aller/Retour en tenant compte ou non de la charge du lien (temps dans les files d'attente)

Le routage à état des liens (link state routing) procède différemment :

- Chaque routeur construit son propre LSP (Link State Packet) sous la forme  $(A, B, c)$ , le lien du nœud A vers le nœud B a un coût de  $c$  ;
  - les paquets d'état de lien sont élaborés à intervalles réguliers ou quand un événement important se produit
- Dès que le LSP est créé, le routeur le diffuse vers tous ses voisins, qui stockent l'information et ensuite l'achemine jusqu'à ce que tous les routeurs aient la même information.
  - Diffusion se fait par inondation
- Une fois que tous les routeurs ont reçu tous les LSP, chaque nœud construit une table où figure pour chaque lien son coût (matrice de coûts).
  - base de données topologique pour reconstituer la cartographie complète du réseau ;
- A partir de cette table, il calcule la table de routage.
  - par l'algorithme de Dijkstra (en se plaçant à la racine)

Le paquet diffusé contient :

- Routeur source
- Numéro de séquence (incrémenté à chaque envoi)
- Age ou date : décrémenté par les routeurs avec le temps
- distance entre voisins et source

Ce qui permet :

- détection des nouvelles infos (numéro de séquence)
- détection des infos déjà connues (numéro de séquence)

Problèmes :

- Numéro de séquence au max ? (codé sur 32 bits : 137 ans)
- Routeur reboote : numéro de seq = 0. . . (utiliser l'âge)

Routage

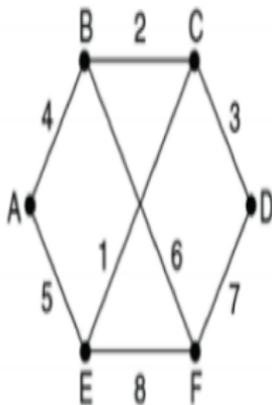
Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage



A	B	C	D	E	F
Séq.	Séq.	Séq.	Séq.	Séq.	Séq.
Âge	Âge	Âge	Âge	Âge	Âge
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

### Calcul des routes :

- On reconstruit ainsi le graphe correspondant au réseau
- Calcul de PCC

### En cas de panne :

- le premier routeur informé transmet l'information aux autres (ou à un routeur désigné)
- les informations de routage sont envoyées à tous les routeurs
- Chaque routeur modifie sa base topologique et recalcule sa table de routage.
- garantir la cohérence des informations des routeurs  $\implies$  défi

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

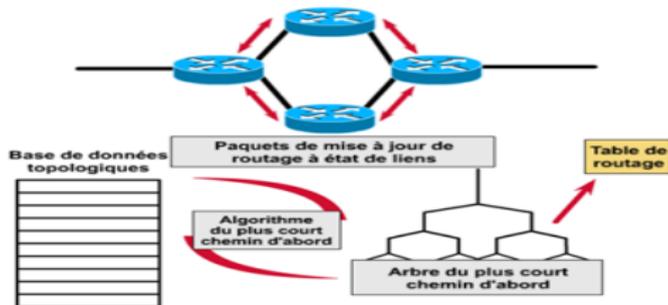
Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

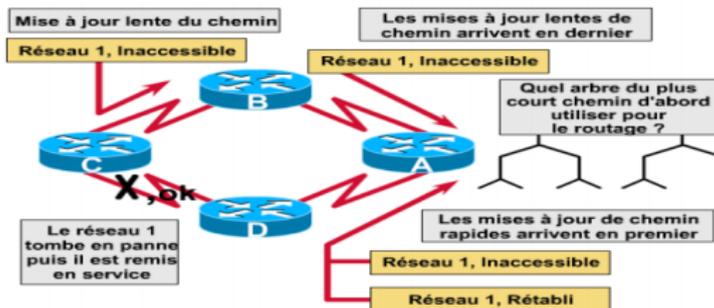
Protocoles  
de Routage

	A	B	C	D	E	F
A	0	4	$\infty$	$\infty$	5	$\infty$
B	4	0	2	$\infty$	$\infty$	6
C	$\infty$	2	0	3	1	$\infty$
D	$\infty$	$\infty$	3	0	$\infty$	7
E	5	$\infty$	1	$\infty$	0	8
F	$\infty$	6	$\infty$	7	8	0



### Limites :

- Pour des milliers de routeurs : panne non négligeable
- Si la distribution des paquets de mise à jour ne s'effectue pas correctement, on peut avoir
  - des routes non valides.
  - Erreur de transmission
  - Déclaration de liens incorrect





Vecteur de distance	État des liens
Vue de la topologie du réseau dans la perspective du voisin	Vue commune de toute la topologie du réseau
Additionne les vecteurs de distance d'un routeur à l'autre	Calcule le chemin le plus court au autres routeurs
Mises à jour périodiques fréquentes : convergence lente	Mise à jour déclenchée par évènement : convergence plus rapide
Copie des tables de routage passées aux routeurs voisins	Les mises à jour de routage à état de liaison sont passées aux autres routeurs

- Le routage au moindre coût nécessite la diffusion
  - les tables de routage (vector distance), soit l'état des liens (link status).
  - Ce trafic consomme de la bande passante.
- Plus le réseau est grand,
  - plus le trafic de mise à jour est conséquent,
  - Les tables de routage s'accroissent en augmentant l'espace mémoire et les ressources processeur (temps CPU consommé).
  - diminuer les performances du réseau

### routage hiérarchique

- On découpe alors le réseau en sous ensembles régionaux appelés systèmes autonomes (AS, Autonomus System).
- À l'intérieur d'une région, les tables de routage contiennent une entrée par routeur

- si le trafic augmente, les files d'attente des routeurs se remplissent et le temps d'attente avant traitement augmente
  - le débit global du réseau diminue
  - la retransmission des paquets non acquittés augmente le trafic d'autant plus.
  - les files d'attente débordent et le réseaux finit par s'effondre.

### phénomène de congestion

injection de paquets dans le réseaux, à la différence des capacités de traitement des routeurs, ou à l'émission des paquets en rafales.



Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

- RIP(Routing Information Protocol),du type vecteur distance, premier protocole interne. Utilisé dans Internet.
- OSPF (Open Short Path First) protocole interne à état des liens utilisés dans Internet. Pour éviter l'inondation, les informations d'état sont diffusées sur une adresse de multicast réservée à OSPF.
- IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) : protocole de routage interne de l'ISO . C'est un protocole à état des liens.
- IGRP (Interior Gateway Routing Protocol, EGP (Exterior Gateway Protocol), BGP (Border Gateway Protocol)

- de type vecteurs de distance basé sur l'algorithme Bellman-Ford.
- fonctionner en tant que protocole interne dans des systèmes autonomes
- PCC selon métrique (critère de coût) : le nombre de sauts "hops" (routeurs traversés).
- le nombre de sauts compris entre 1 et 15.
  - La valeur 16 indique une inaccessibilité (interface tombe en panne "à jour immédiate", valeur infinie).
- Chaque routeur diffuse sa table de routage à ses voisins toutes les 30 secondes.
- En recevant une table de routage d'un voisin, un routeur met à jour la sienne.
- Un routeur supprime une information de sa table si elle n'est pas confirmée pour 180 secondes (trois minutes).
  - supprime toutes les entrées correspondant au routeur qui ne répond pas.



# Protocoles de routage

## RIP v1 (Routing Information Protocol)

Routage

Mr.  
KHEB-  
BACHE  
Mohib  
Eddine

Introduction

Routage

Algorithmes  
de Routage

Protocoles  
de Routage

- Il existe deux versions de RIP, la deuxième étant une amélioration de la première : RIPv1 et RIPv2

Comme le nombre de sauts est la seule mesure utilisée par le protocole, RIP ne garantit pas que le chemin sélectionné soit le plus rapide : un chemin court mais embouteillé peut être un mauvais choix par rapport à un chemin plus long mais totalement dégagé.