

Chapitre 1: Routage dynamique

LFI3- 2015/2016

Plan du cours

1 Routage statique : rappel

2 Routage dynamique

- Politique de routage
- AS (Autonomous System)
- Protocoles de routage

3 RIP

- Principe général
- Routage a vecteur de distance : Algorithme de Bellman-Ford
- Protocole RIP

4 OSPF

- Aire de routage
- Algorithme Shortest Path First (SPF)
- messages OSPF
- Protocole OSPF

5 BGP

- BGP 4
- Interconnexion d'AS

6 Organisation et politique

Routage statique: rappel

Transmission sur un réseau physique

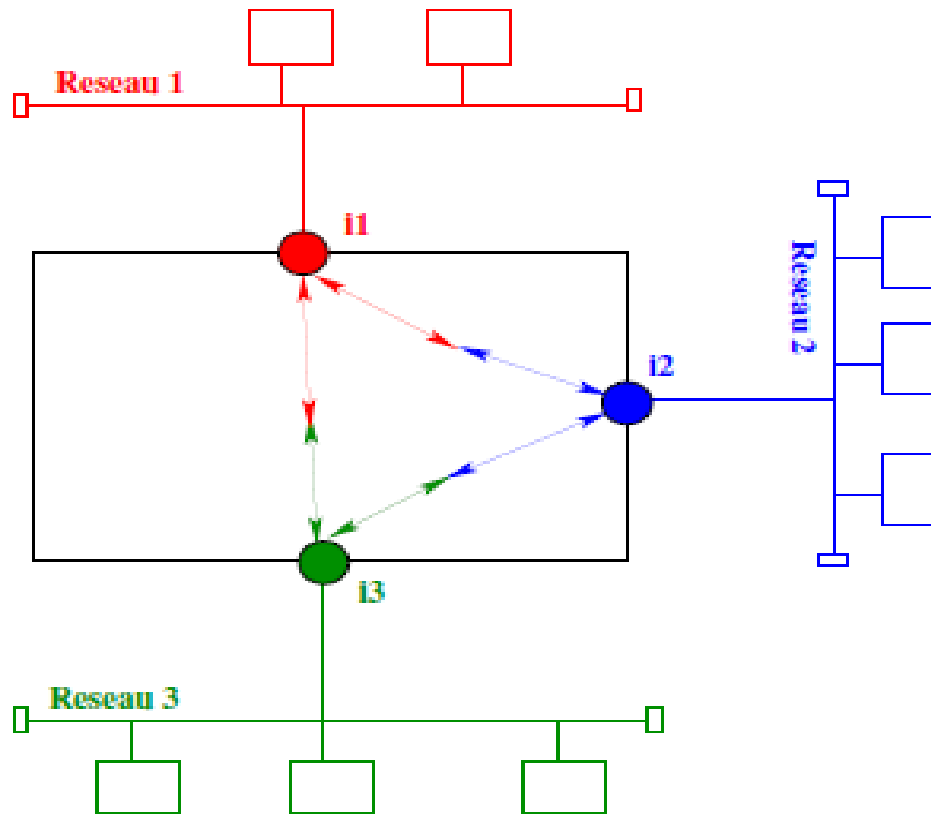
- ❑ une machine peut transmettre un datagramme à n'importe quel autre machine pourvu qu'elle soit sur le même réseau.

- ❑ nécessité pour les machines :
 - ❑ d'être sur le même support physique de transport (câble croisé, bus BNC, hub, Switch)
 - ❑ d'être sur la même plage d'adresse réseau (définie par l'adresse du **réseau** + masque)

Interconnexion de réseaux : le routeur

- ❑ certaines machines peuvent avoir **plusieurs interfaces réseaux**, chacune étant reliée et configurée sur un réseau différent
- ❑ ces machines peuvent ainsi accéder à l'un ou l'autre de ces réseaux en utilisant l'interface adéquate
- ❑ lorsque une machine à plusieurs interfaces est configurée de sorte à transmettre les paquets d'un réseau vers un autre réseau en le relayant via ses interfaces, on dit qu'elle **route** le paquet.
- ❑ la machine est alors un **routeur** entre les différents réseaux qu'elle relie.

Interconnexion de réseaux : le routeur



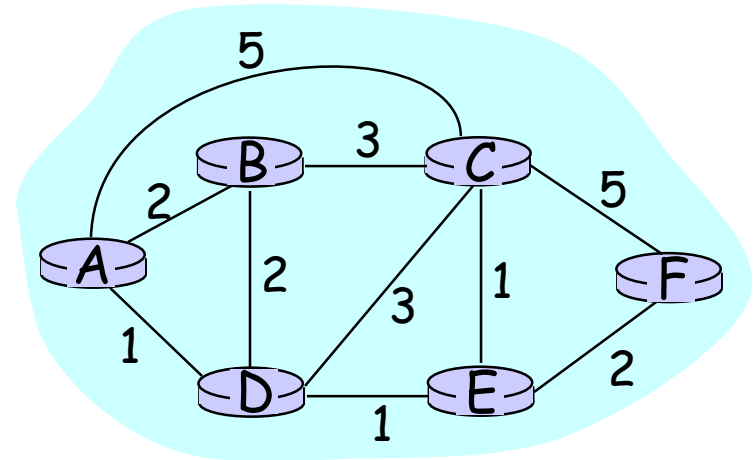
Routage

Protocole de routage

Objectif : choisir un « bon chemin » (suite de routeurs) dans le réseau de la source à la destination.

Abstraction du réseau en graphe

- ❑ Les nœuds sont des routeurs
- ❑ Les liens sont les liaisons physiques
 - Coût du lien : délai, prix du lien ou niveau de congestion



- ❑ «Bon chemin» :
 - Typiquement un chemin de coût minimal
 - Autres définitions possibles

Algorithme de routage

- ❑ Échange et mis à jour automatique des tables de routage
- ❑ Table de routage
 - Pour aller vers un réseau, un sous réseau ou une machine → adresse IP de destination
 - Passer par un attachement local ou bien un routeur → masque de réseau, sous-réseaux
 - Meilleur chemin → avec un coût de : nombre de sauts, débit ou délai, etc.

Table de routage

- ❑ Une table de routage permet à une machine de savoir vers quelle adresse locale (c'est à dire sur un réseau sur lequel est reliée une de ses interfaces) diriger son paquet suivant son adresse de destination.
- ❑ L'entrée par défaut default (parfois appelée 0.0.0.0 de masque 0.0.0.0) désigne le routeur vers lequel il faut aller dans le cas où le réseau destination n'est pas une des destination réseau listée explicitement, ni n'est sur le lien local.
 - Il ne peut y avoir qu'une seule entrée par défaut.

Table de routage: agrégation de routes

- Afin de réduire le nombre d'entrée dans la table de routage, agréger autant que possible les réseaux.

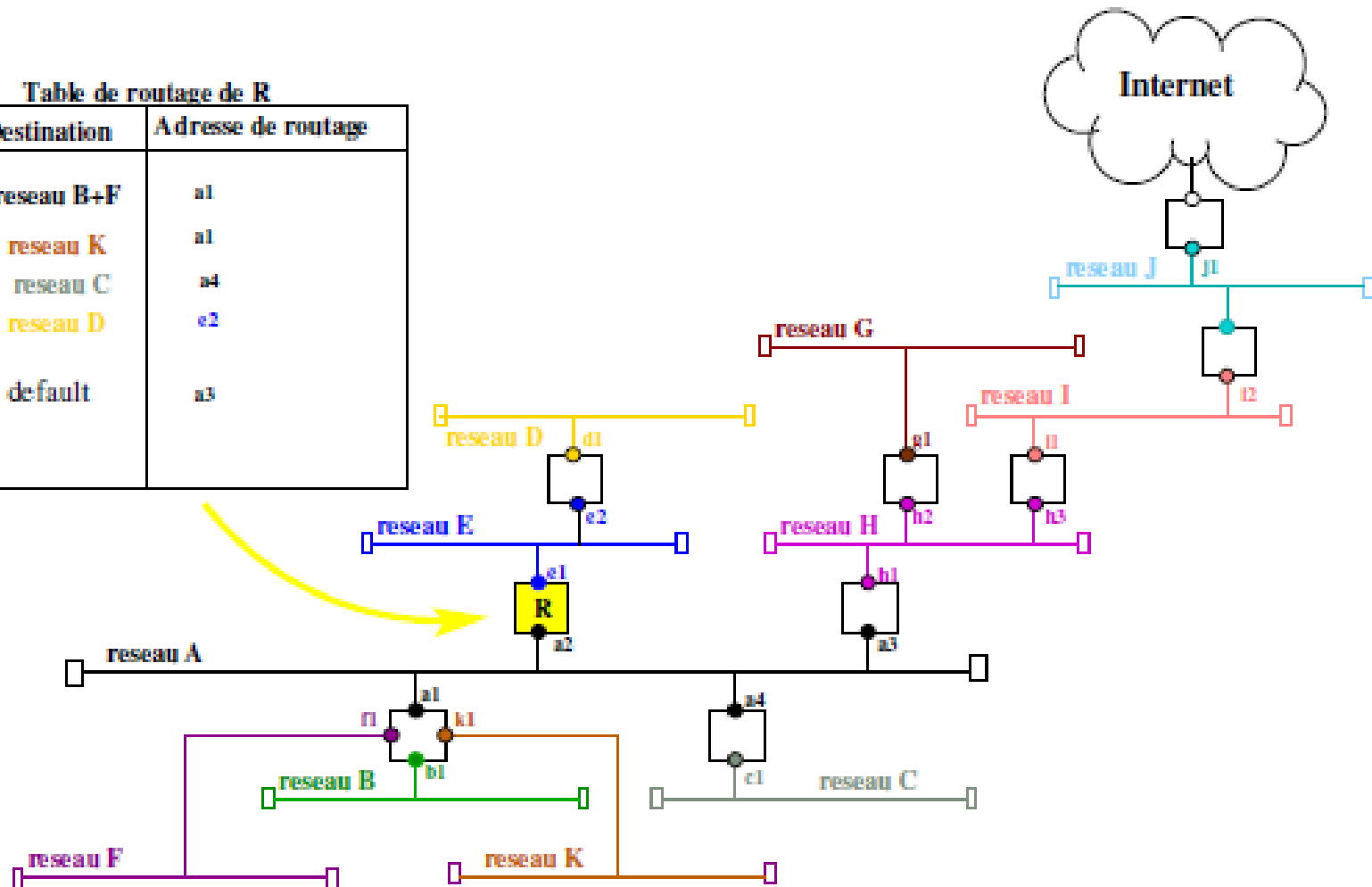
Ex :

réseau B : 193.54.115.0/25 réseau F : 193.54.115.128/25	réseau B+F = 193.54.115.0/24
réseau K : 193.54.117.0/25	

Table de routage: exemple

Table de routage de R

Destination	Adresse de routage
reseau B+F	a1
reseau K	a1
reseau C	a4
reseau D	e2
default	a3



Multiples chemins

- *Dans le cas ou plusieurs chemins sont possibles pour aller vers une destination*
 - Comment choisir le chemin le plus optimal ?
 - Qu'est ce qu'un chemin optimal ? en temps ? en saut ?
 - Comment faire pour ne pas se tromper (ne pas faire de cycles)
 - Comment exploiter le fait qu'il y ait plusieurs chemins possibles?
 - par exemple pour pallier a un routeur qui tombe en panne ou pour faire de l'équilibrage de charge ?

Et si on rajoutait ou enlevait des routeurs ?

- ❑ Configurer les tables de routages des routeurs supplémentaire
 - ❑ Modifier les tables de routage de chacun des routeurs déjà présents
 - ❑ ... et surtout, ne pas se tromper ! ! !
- Dans un environnement complexe, la mise en œuvre du routage statique est souvent difficile à maintenir.

Routage dynamique

Motivations

- ❑ Dans un environnement complexe, la mise en œuvre du routage statique est souvent difficile à maintenir
- ❑ La mise en place d'un mécanisme de routage dynamique permet de faciliter les mises à jour
- ❑ Principe de fonctionnement général du routage dynamique :
 - Chaque routeur diffuse la liste des réseaux sur lesquels il est connecté
 - Chaque routeur met à jour sa table de routage à partir des informations reçues depuis les autres

Objectifs

❑ Caractéristiques

- Adaptatif à l'évolution du réseau
- Configuration simple

❑ Objectifs d'un protocole de routage

- Optimisation: sélection de la meilleure route parmi plusieurs
- Élimination des boucle de routage
- Efficacité: peu de consommation des ressources
- Stabilité: convergence rapide
- Simplicité: configuration simple

Protocoles de routage

- ❑ Le protocole de routage consiste à définir comment sont échangées les informations de routage, et donc à :
 - découvrir les autres routeurs du réseau
 - construire les tables de routage
 - maintenir les tables de routage à jour

Attention : protocole de routage ≠ politique de routage (décision)

Routage Hiérarchique

Jusqu'ici nous avons étudié un réseau idéal

- ❑ Tous les routeurs sont identiques
- ❑ Un seul réseau

... pas vrai en pratique

Facteur d'échelle : avec 50 millions de destinations :

- ❑ On ne peut pas enregistrer toutes les destinations dans la table de routage!

autonomie administrative

- ❑ internet = réseau des réseaux
- ❑ Chaque administrateur de réseau veut contrôler le routage dans son réseau

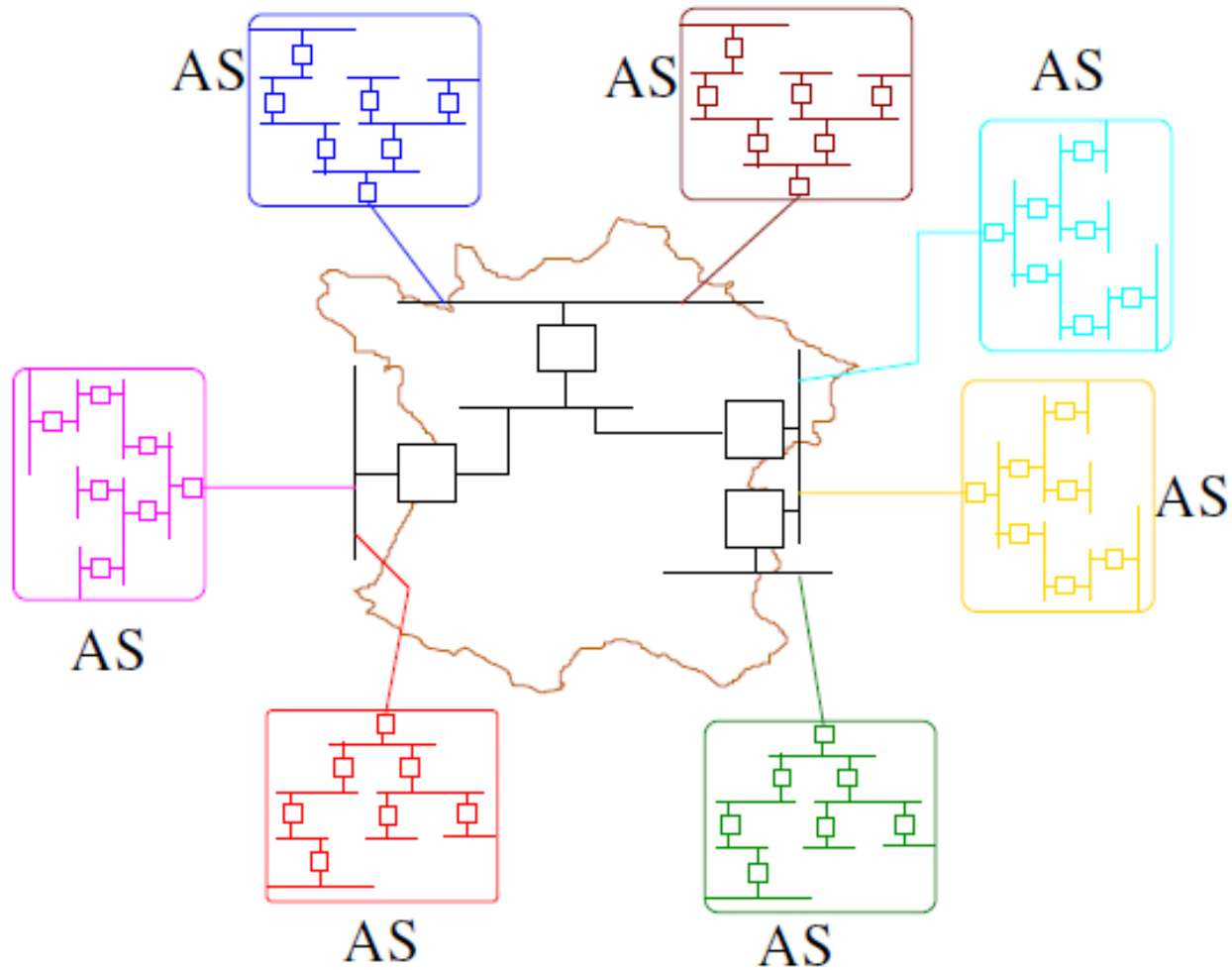
Routage Hiérarchique

- ❑ Agréger les routeurs en régions autonomes, “autonomous systems” (AS) → ensemble de réseaux contrôlés par une seule autorité.
- ❑ Les routeurs d’un même AS exécutent le même protocole de routage
 - protocole de routage “intra-AS”

routeurs de passerelle

- ❑ Routeurs spéciaux dans un AS
- ❑ Exécutent les protocoles de routage intra-AS
- ❑ *Responsables* du routage à des destinations extérieurs à l’AS
 - exécutent des protocoles de routage *inter-AS* avec d’autres routeurs de passerelle

AS (Autonomous System)



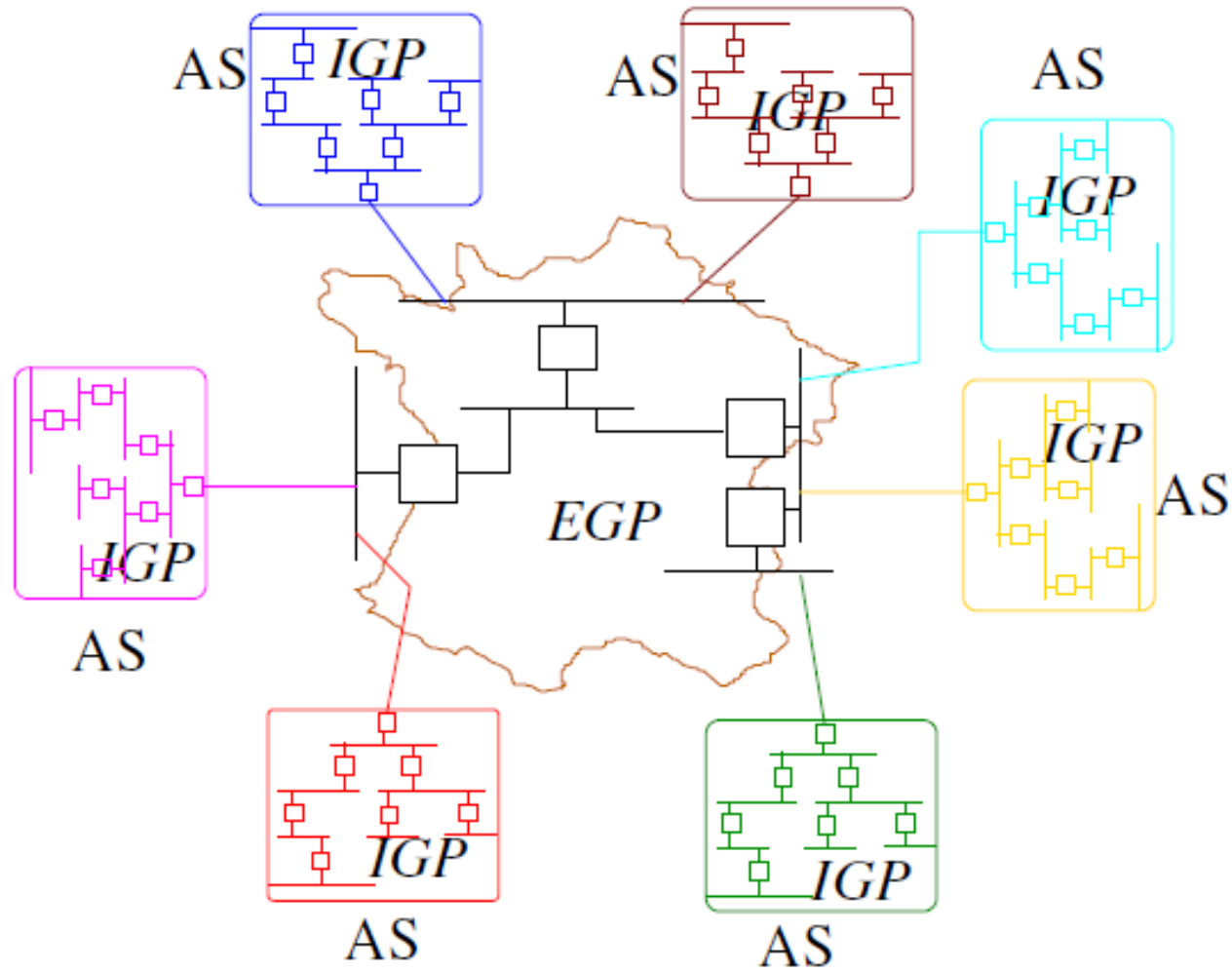
IGP (Interior Gateway Protocol)

- ❑ IGP : Protocole de routage utilise dans les réseaux sous **même entité** administrative qu'à l'intérieur d'une entité (entreprise, association, etc.)
 - décisions (suppression/ajout d'une ligne) peuvent être prises par un service unique
 - but : trouver la route la plus efficace, en faisant confiance aux autres routeurs.
 - Protocole de type IGP : RIP, OSPF, IS-IS

EGP (Exterior Gateway Protocol)

- ❑ EGP : Protocole de routage adapté à la redistribution de préfixes vers des réseaux extérieurs, ayant une entité administrative **différente**
 - s'utilise entre entités distinctes (souvent concurrentes).
 - impossibilité de prendre une décision qui s'imposera à tous.
 - on n'est pas prévenu de ce que vont faire les autres.
 - idée de menace : le but n'est pas de trouver la meilleure route mais au contraire d'empêcher les routeurs de choisir une route dont on ne voudrait pas.
 - pas d'information de **routage** mais d'**accessibilité**
 - Protocole de type EGP : BGP

AS et protocoles de routage



Classification des algorithmes de routage

Information globale ou locale ?

Globale :

- ❑ Chaque routeur connaît toutes les informations de topologie, de coût des liens, etc.
- ❑ Algorithme “link state (LS)”

Locale :

- ❑ Le routeur ne connaît que le coût des liens vers les voisins.
- ❑ Calcul itératif et échange régulier d'infos avec les voisins
- ❑ Algorithmes “distance vector (DS)”

Statique ou dynamique ?

Statique :

- ❑ Les routes ne changent pas dans le temps

Dynamique :

- ❑ Les routes changent régulièrement
 - Mise à jour régulière
 - En réponse aux changement de coût des liens

RIP: Routing Information Protocol

Routage à vecteur de distance

- ❑ Périodiquement un routeur envoie une copie de sa table de routage à tous les routeurs directement accessibles.
- ❑ Lorsque que J transmet un rapport au routeur K, K examine l'ensemble des destinations annoncées et leur distance. K modifie son entrée vers une destination si :
 - J connaît un plus court chemin
 - ou si J annonce une destination que K ne possède pas
 - ou si une destination via J a changée
- ❑ l'entrée de la table de K mise a jour signale la distance $n + 1$ (avec n la distance annoncée par J pour la destination)

Algorithme de routage à vecteur de distance

itératif :

- ❑ Continue jusqu'à ce que les nœuds ne s'échangent plus d'info
- ❑ *Auto-termination* : pas de «signal» d'arrêt

asynchrone :

- ❑ L'échange des infos ne nécessite pas d'horloge

distribué :

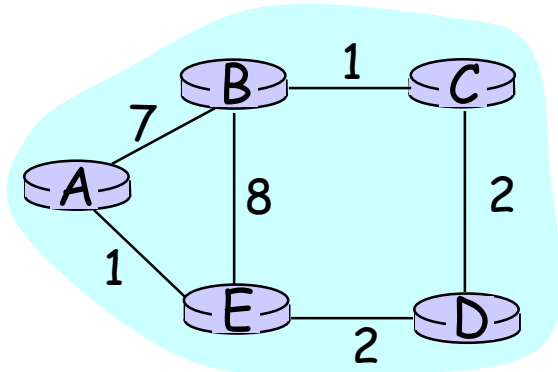
- ❑ Chaque nœud ne communique qu'avec ses voisins

Structure de la Table de distance

- ❑ Propre à chaque nœud
- ❑ Une ligne par destination possible
- ❑ Une colonne par voisin
- ❑ exemple : dans le nœud X, pour la dest. Y via le voisin Z :

$$\begin{aligned} D^X(Y,Z) &= \text{distance de X à Y, via Z} \\ &= c(X,Z) + \min_w \{D^Z(Y,w)\} \end{aligned}$$

Table de distance : exemple



$$D^E(C,D) = c(E,D) + \min_w \{D^D(C,w)\}$$

$$= 2+2 = 4$$

$$D^E(A,D) = c(E,D) + \min_w \{D^D(A,w)\}$$

$$= 2+3 = 5$$

$$D^E(A,B) = c(E,B) + \min_w \{D^B(A,w)\}$$

$$= 8+6 = 14$$

		coût destination via		
destination	$D^E()$	A	B	D
	A	1	14	5
	B	7	8	5
	C	6	9	4
	D	4	11	2

Table de routage

destination	$D^E()$	coût destination via		
		A	B	D
	A	1	14	5
	B	7	8	5
	C	6	9	4
	D	4	11	2

destination	Lien sortant , coût	
	A	A,1
	B	D,5
	C	D,4
	D	D,4

Table de distance \longrightarrow Table de routage

Algorithme de routage DV

Itératif, asynchrone :

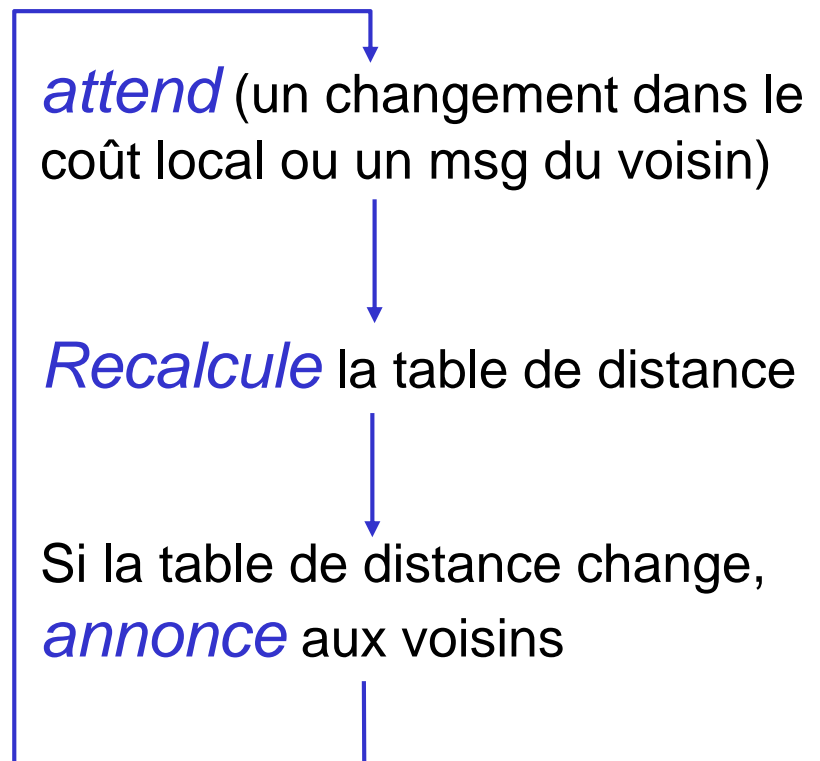
chaque itération locale est causée par :

- ❑ Changement de coût d'un lien adjacent
- ❑ Message d'un voisin du au changement de sa table de distance

Distribué :

- ❑ Chaque nœud annonce à ces voisins *seulement* quand sa table de distance change

Chaque noeud :



Principes de RIP (1)

- ❑ Chaque routeur annonce périodiquement (30s) tous ses réseaux et le nombre de sauts pour y aller
- ❑ Chaque machine écoute les annonces des passerelles et actualise sa table de routage
- ❑ Si au bout d'un certain temps (3mn=180s), un réseau n'est plus annoncé, il est supprimé de la table de routage.
- ❑ Il n'y a pas d'accusé de réception de message
- ❑ RIP utilise UDP, port 520

Principes de RIP (2)

- ❑ 2 types de routeurs :
 - Routeur actif : diffuse ses informations de routage vers les autres nœuds.
 - Routeur passif : écoute ces informations et met à jour sa table de routage.
- ❑ RIPv1 diffuse (broadcast) et RIPv2 multicast toute leur table de routage toutes les 30 secondes.
- ❑ chaque nœud n'a d'information que sur le prochain saut (next hop)
- ❑ pas de décisions globales

Problèmes de RIP v1

- ❑ limite de 16 sauts → ne peut pas aller plus loin que 15 routeurs (hops)
- ❑ converge lentement (si route changent souvent, peut ne pas se stabiliser)
- ❑ informations circulent lentement
- ❑ trafic important
- ❑ boucles possibles
- ❑ ne se base que sur une seule métrique (hop) → peut choisir des routes lentes.
- ❑ pas de gestion de masque → pas de routage de sous-réseaux
- ❑ pas d'authentification
- ❑ 25 entrées maximum dans la table de routage (car taille du message= 512 o)

RIP v2

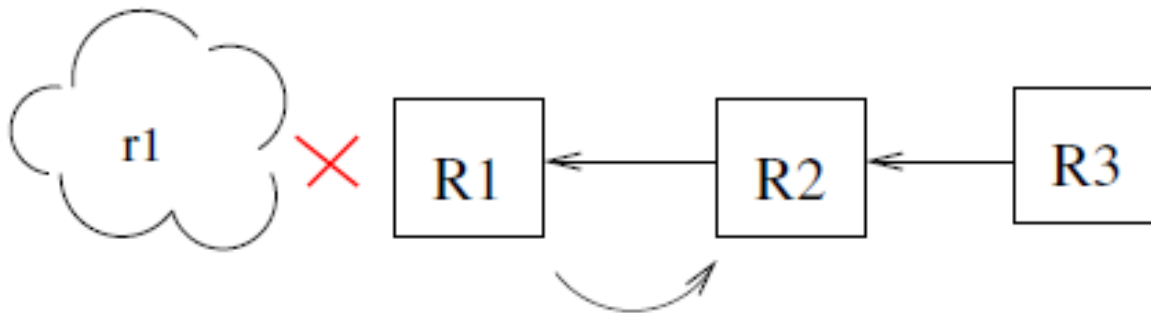
■ 3 algorithmes de plus :

- split horizon : les données ne sont pas renvoyées vers le nœud d'ou on les a appris
- hold down : Le routeur ignore les informations relatives à un réseau pendant une période xe après réception d'un message qui en spécifie l'inaccessibilité.
- poison reverse : si on détecte une route coupée et qu'on reçoit un message avec un coût très supérieur au coût initial, on ignore l'information (considérée revenue par une boucle).

RIP v2

- ❑ Plus les améliorations suivantes :
 - masque de sous-réseau : sous-réseaux possibles + agrégation des routes
 - authentiquassions (mot de passe en clair ou chiffre sur 16 octets)
 - utilisation de domaines logiques (on ignore les messages d'un autre domaine)

RIPv2 : split horizon



- ❑ Contre le problème de convergence lente : Un routeur ne transmet pas les informations relatives a une route vers la même interface que celle qui l'a initialement annoncé.
- ❑ Mais : boucle de routage encore possibles pour certaines topologies.

RIPv2 : mécanisme de gel (hold down)

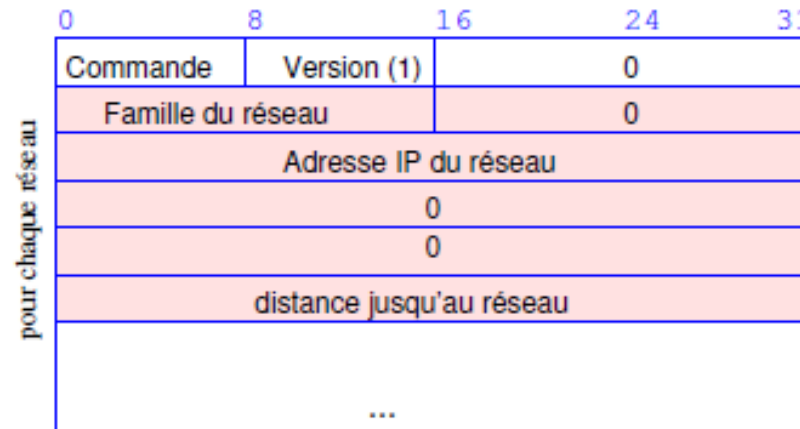
- ❑ Le routeur ignore les informations relatives a un réseau pendant une période fixe (60s) après réception d'un message qui en spécifie l'innaccessibilité

RIPv2 : poison reverse

- ❑ Après la disparition d'une connexion, le routeur qui l'a annoncé conserve l'entrée pendant plusieurs cycles de mise à jour en incluant un coût infini dans ses messages de diffusion.
- + Mise à jour déclenchée : force le routeur à diffuser immédiatement le message de mauvaise nouvelles sans attendre le cycle de diffusion suivant.
- ❑ Mais : si routeurs se partagent un réseau commun, une seule diffusion modifie toutes les tables de routage.
 - déclenchement d'un cycle de diffusion
 - avalanche de diffusion possible
 - risque d'apparition de boucle et de gel
 - + consommation de bande passante !

RIPv1/v2 : Protocole

- ❑ Protocole très simple !
- ❑ Protocole base sur UDP (port 520)
- ❑ Commande :
 - 1 : demande d'information de routage
 - 2 : réponse contenant les info de la table de routage de l'expéditeur
 - 9 : demande de mise à jour (avec circuit de commande)
 - 10 : réponse de mise à jour (avec circuit de commande)



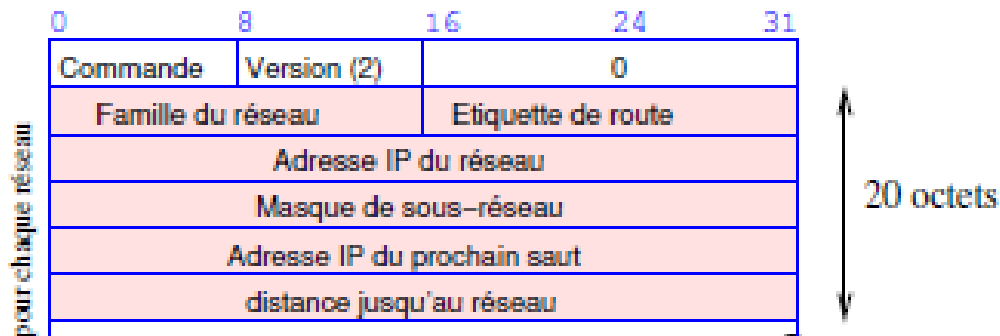
RIPv1/v2 : Protocole

❑ RIPv1

- Adresse IP du réseau : prend toute la classe
- distance en terme de nombre de sauts.

❑ RIPv2

- Etiquette : pour distinguer les routes apprises par RIP (par ex. si cohabitation avec d'autres protocoles)
- Adresse IP du prochain saut (optionnel)
- Distance (entre 1 et 15. 16 est l'infini)



Conclusions

- ❑ RIP v2 corrige certains problèmes de RIP v1
 - adresse IP+masque
 - "gestion de zone" (par l'étiquette)
 - ❑ Encore des problèmes :
 - métrique : sauts uniquement*
 - portée maximum de 15 sauts
 - taille de la table de 25 entrées maximum.
- RIPv2 ne peut s'appliquer qu'aux petits et moyens réseaux.

OSPF (Open Shortest Path First)

Pourquoi OSPF?

❑ Pour s'affranchir des limitations de RIP:

- Domaine de diamètre > 16
- amélioration du temps de convergence
- Métriques plus sophistiquées
- Segmentation du domaine en aires
- Aucun mécanisme d'authentification
 - possibilité d'empoisonnement des tables

- Diffuser uniquement les modifications de topologie

❑ Mais OSPF est aussi plus complexe:

- Nécessité de routeurs plus puissants
- configuration moins simple

Routage à état de lien (Link-State)

□ Principe :

- Envoyer à tous les nœuds les informations au sujet des voisins.
 - Liens et coût de chaque lien
- Les nœuds ont une copie complète de la carte du réseau
- Chaque nœud exécute l'algorithme de Dijkstra (plus court chemin et pas de cycles).

Routage à état de lien (Link-State)

Algorithme de Dijkstra

- ❑ La topologie et le coût des liens sont connus de tous les nœuds
 - accompli avec une diffusion de l'état des liens → link-state DB
 - Tout les nœuds ont la même info
- ❑ Calculer le plus court chemin (le chemin le moins coûteux) d'un nœud à tout les autres
 - Génère la **table de routage** du nœud
 - De façon itérative : après k itérations, on connaît le chemin le plus courts vers K destinations

Notation :

- ❑ $c(i,j)$: coût du lien de i à j . Est infini si i et j ne sont pas voisins
- ❑ $D(v)$: Valeur courante du coût du chemin de la source à la destination V
- ❑ $p(v)$: noeud précédant v dans le chemin de la source à v
- ❑ N : Ensemble des nœuds dont on connaît le coût minimal

Algorithme de Dijkstra

1 **Initialisation :**

2 $N = \{A\}$

3 Pour tout noeud v

4 si v est adjacent à A

5 alors $D(v) = c(A,v)$

6 Sinon $D(v) = \text{infinity}$

7 **boucle**

8 Trouver $w \notin N$ tel que $D(w)$ est minimal

10 ajouter w à N

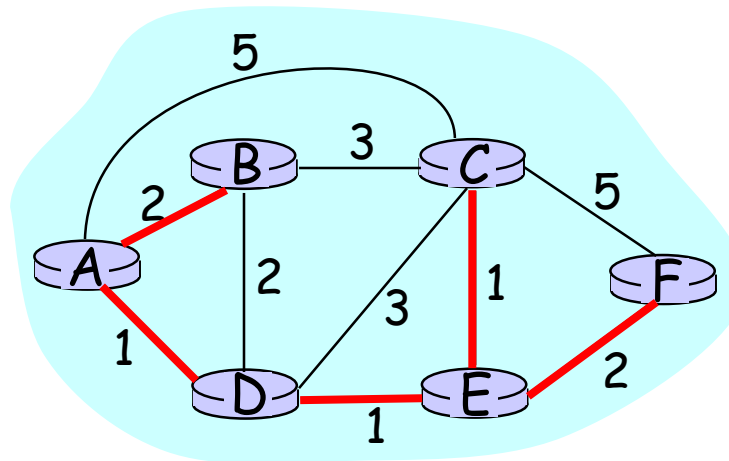
11 Mettre à jour $D(v)$ pour tout les nœuds $v \notin N$ adjacents à w

12 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$

13 **jusqu'à la fin des nœuds de N**

Algorithme de Dijkstra : exemple

étapes	start N	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
→ 0	A	2,A	5,A	1,A	inf	inf
→ 1	AD	2,A	4,D		2,D	inf
→ 2	ADE	2,A	3,E			4,E
→ 3	ADEB		3,E			4,E
→ 4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					



Discussion

Complexité de l'algorithme : n noeuds

- ❑ $n*(n+1)/2$ comparaisons : $O(n^2)$
- ❑ implémentation plus efficace possible : $O(n \log n)$

Oscillations possibles :

- ❑ Ex : coût du lien = niveau de trafic

Aire de routage

- ❑ Un réseau OSPF est divisé en plusieurs aires (Area) qui se connectent à une aire centrale de distribution appelée **dorsale** (backbone).
- ❑ Chaque aire est désignée par un identifiant de 32 bits mis sous la forme X.Y.Z.T
 - Cet identifiant ne correspond pas **forcement** à l'adresse réseau
- ❑ Pas plus d'une cinquantaine de routeurs maximum par aire.
- ❑ Réduction du nombre de routeur par zone de diffusion
 - Diminuer le trafic de mise à jour
 - Réduire le nombre de routes lors du calcul du plus court chemin

Aire dorsale (area backbone)

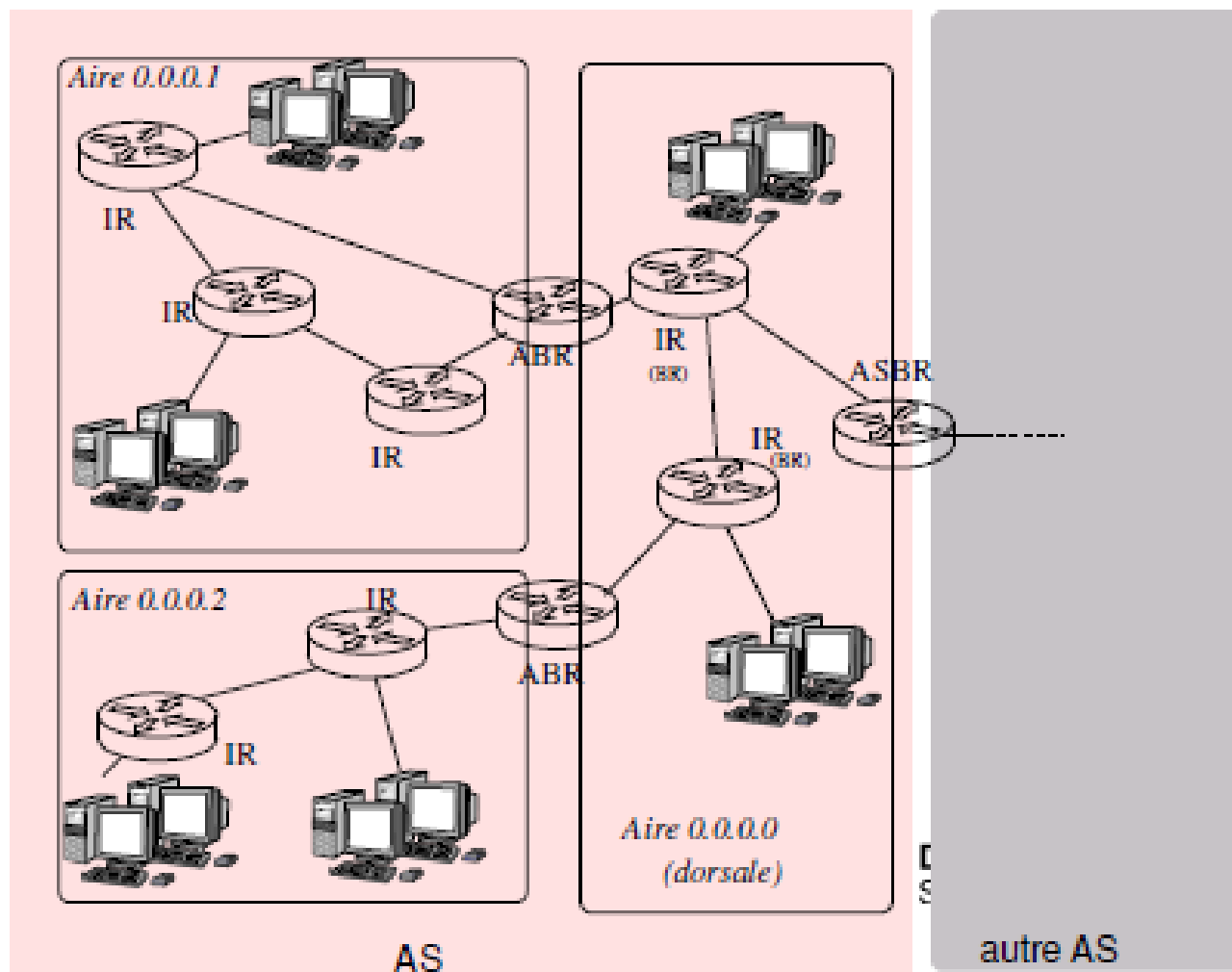
❑ L'aire dorsale :

- a pour identifiant 0.0.0.0 obligatoirement
 - sert pour l'acheminement inter-aire
 - est obligatoire
- si le réseau n'a pas été découpé en aires, il n'y en a qu'une seule et c'est la dorsale d'id 0.0.0.0.

Routeurs OSPF

- ❑ On distingue 3 types de routeurs dans OSPF :
 - routeur interne (Internal Router- IR) : qui annoncent les routes internes à leur aire
 - routeur de la dorsale (Backbone Router - BR) : qui annoncent les routes internes à la dorsale. (En fait ce sont des IR de l'aire "dorsale")
 - routeur de frontière (Area Boundary Router - ABR) : qui assurent la connexion à la dorsale
 - routeur de frontière du système autonome (Autonomous System Boundary Router - ASBR) : pour assurer l'échange avec d'autres systèmes autonomes

Aires OSPF



Relation de voisinage et relation d'adjacence

- ❑ Deux routeurs sont voisins s'ils appartiennent à une même zone et sont reliés par un même media
 - liens de diffusion (broadcast domain) ou bien situés aux extrémités d'un lien point-à-point
- ❑ Deux routeurs sont adjacents si ils sont voisins et synchronisés
 - s'ils échangent des informations sur la topologie du réseau pour s'assurer du bon fonctionnement l'un de l'autre.

Routeur Désigné (Designated Router - DR)

- ❑ Un seul routeur parmi les routeurs voisins est responsable de réception et la diffusion des états de liens.
 - le DR (et le BDR) assure la diffusion des messages vers les routeurs de la zone
 - éviter d'établir n^2 relations entre routeurs voisins et de dupliquer la même information
- ❑ Le DR (designated router) sert de point central d'échange.
- ❑ Le BDR (backup designated router - DR de secours) surveille le DR et prend sa place s'il ne répond plus.

Élection des DR/BDR

- ❑ D'abord élection d'un BDR et puis, en l'absence d'un DR, le BDR quitte son statut pour devenir DR.

Election à deux tours :

- 1^{er} tour : priorité la plus élevée sur les interfaces du réseau partage (de 0 : disqualification automatique à 255 : qualification automatique)
 - priorité définie manuellement par interface ou par défaut (= 1)
 - une interface d'un routeur déjà DR est inéligible
- 2^{ème} tour : cas de routeurs ex aequo. le routeur de plus haut ID OSPF qui remporte l'élection.
 - ID OSPF (32 bits) adresse IP la plus élevée parmi toutes les interfaces du routeur.

Élection des DR/BDR

- ❑ Le vainqueur de l'élection devient BDR.
- ❑ Les routeurs placent leurs interfaces dans un état en conséquence : DR, BDR ou DROTHER.
- ❑ Si un DR n'existe plus ou pas du tout, le BDR devient DR et une élection a lieu pour désigner le nouveau BDR.

Rôle du DR

- ❑ Maintient la base topologique du réseau
 - Relation maître-esclave avec les routeurs de la zone.
 - Les routeurs de la zone ne sont adjacents qu'avec le DR et le BDR. Par contre, ils ne sont pas adjacents entre eux mais peuvent être voisins
- ❑ En cas de panne du DR, le routeur de secours (BDR) maintiendra également la BD et prendra le relais du DR en devenant lui-même DR (et un autre BDR sera élu).
- ❑ A chaque fois qu'un routeur envoie une mise à jour, il l'envoie aux DR/BDR (via une adresse dite multicast) et c'est le DR qui rediffuse cette information à tous les routeurs.
- ❑ Les routeurs n'ont pas à constamment se mettre à jour entre eux et reçoivent l'ensemble des mises à jours d'une seule et même source.
 - L'utilisation du multicast permet de réduire la charge réseau.

Envoi par inondation (flooding)

Envoi récursif :

- ❑ Le routeur envoie un LSU contenant l'info du nouvel état de lien au DR et BDR (224.0.0.6)
- ❑ Le DR fait passer le LSU aux autres routeurs (224.0.0.5)
- ❑ les autres routeurs acquittent avec un LSAck
- ❑ Si un routeur se trouve connecté aussi à un autre réseau, il envoie le LSU au DR/BDR de cet autre réseau (224.0.0.6) (inondation récursive)
 - La coordination par les DR permettent d'éviter de renvoyer deux fois le même LSU et d'éviter les boucles.

Bases de données OSPF

Trois BD sur chaque routeur :

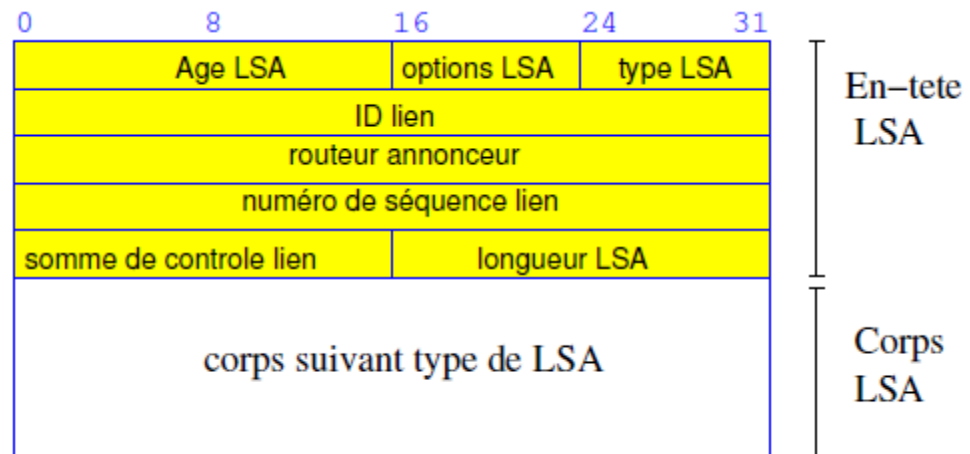
- ❑ Base de données d'adjacence - Adjacencies database : Liste de tous les routeurs adjacents avec lesquels est établi une communication bidirectionnelle.
 - Unique pour chaque routeur (Liste composée d'un DR et d'un BDR par interface).
- ❑ Base de données topologique - Link-state database (LSDB) : BD topologique contenant la liste des informations sur tous les routeurs du réseau. Elle montre la topologie du réseau (graphe).
 - Maintenue identique sur chaque routeur OSPF par inondation périodique des mises à jours
 - Echangé entre le DR et le BDR

Bases de données OSPF

- ❑ Table de routage - Forwarding database : Liste des routes générées par l'algorithme de Djikstra sur la BD topologique.
 - Unique pour chaque routeur
 - Calcule par chaque routeur

Types de lien

Type de lien	Description
1	LSA Routeur (Router-LSA)
2	LSA Reseau (Network-LSA)
3	LSA Resume (BR) (Summary-LSA)
4	LSA Resume (ASBR) (Summary-LSA)
5	LSA AS externe (AS-external-LSA)



Types de lien

- ❑ 1 - Router-LSA : chaque routeur d'une aire génère un router-LSA décrivant l'état et le coût de chacun de ses liens (interfaces) vers l'aire.
- ❑ 2 - Network-LSA : chaque DR génère un Network-LSA pour chaque réseau de l'aire supportant plus de 2 routeurs. Ce LSA décrit tous les routeurs attaches a ce réseau, y compris le DR.
- ❑ 3/4 - Summary-LSA : Chaque routeur frontière (BR ou ASBR) génère des summary-LSA décrivant les destination inter-aies.
- ❑ 5 - AS-external-LSA : Chaque routeur frontière de l'AS (ASBR) génère un AS-external-LSA décrivant les destinations externes a l'AS.

Entête OSPF

0	8	16	24	31
Version	Type	Longueur du message		
Adresse IP du routeur source				
Identifiant de l'aire				
Somme de controle		Type d'authentification		
Authentification (8 octets)				
Message OSPF (taille variable suivant le type)				

Message OSPF: Types de message

- ❑ Hello (type 1) : établit et maintien les informations d'adjacence des routeurs voisins
- ❑ 2 DBD Database Description Packet (type 2) : description du contenu de la LSDB d'un routeur
- ❑ 3 LSR - Link State Request (type 3) : demande de certains états de liens a la LSDB d'un voisin
- ❑ 4 LSU - Link State Update (type 4) : mise a jour d'états de liens. Transporte les annonce d'état de lien LSA (link-state advertisements) aux routeurs voisins
- ❑ 5 LSAck - Link-State acknowledgement (type 5) : accuse de réception des LSA

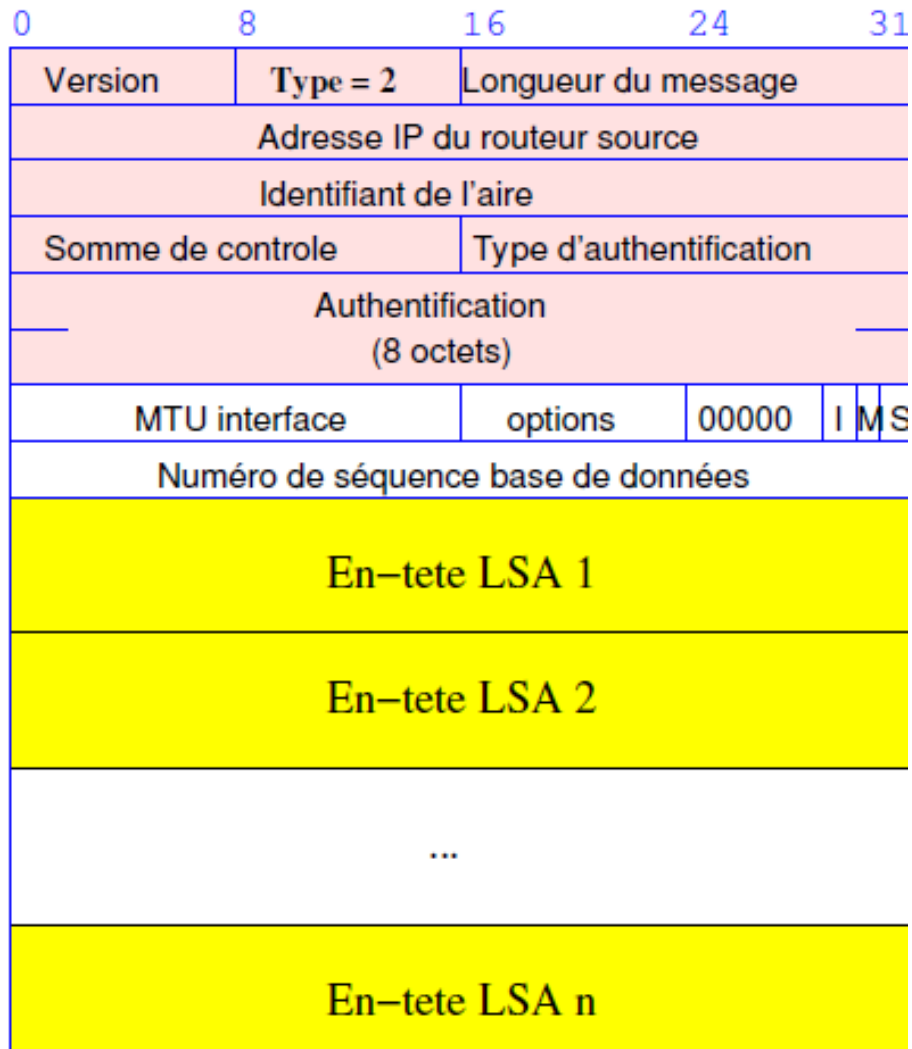
Entête message HELLO (type 1)

0	8	16	24	31
Version	Type = 1	Longueur du message		
Adresse IP du routeur source				
Identifiant de l'aire				
Somme de controle		Type d'authentification		
Authentification (8 octets)				
Masque réseau				
période HELLO		options	prio routeur	
temporisation de panne				
routeur désigné				
routeur désigné de secours				
ID routeur voisin 1				
ID routeur voisin 2				
...				

Message OSPF HELLO (type 1)

- OSPF établit et vérifie l'accessibilité des routeurs voisins en envoyant régulièrement des messages HELLO sur chaque lien.
 - masque de sous-réseaux.
 - période hello : nombre de secondes entre lesquels ce routeur envoie ses messages HELLO
 - Options supportées par le routeur
 - Priorité du routeur (pour l'élection)
 - temporisation de panne : nombre de secondes avant qu'un routeur silencieux soit considéré comme Down.
 - Adresse du DR (0 si il n'y en a pas)
 - adresse du BDR (0 si il n'y en a pas)
 - ID routeurs voisins : adresses IP de chaque router dont on a reçu récemment les HELLO messages.

Message OSPF description de base de données (type 2) DBD



Message OSPF description de base de données (type 2) DBD

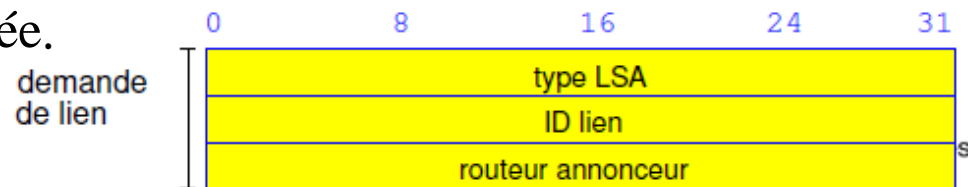
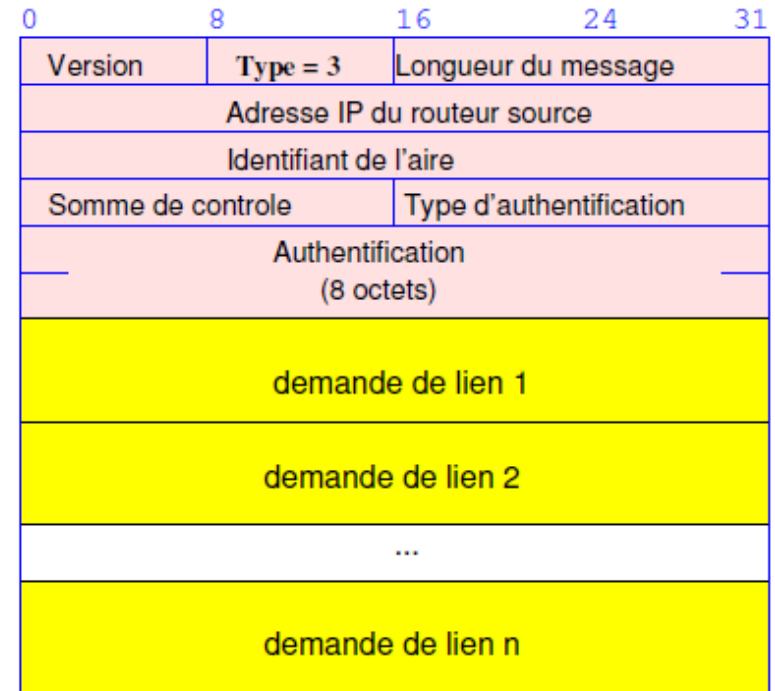
○ Message OSPF description de base de données (type 2) DBD

- MTU int. : taille maximum des paquets IP que l'interface du routeur peut envoyer sans fragmentation.
- Options supportées par le routeur
- 5 bits à zéro
- Bit I (Init bit) : I=1 si premier paquet de la séquence
- Bit M (More bit) : M=1 si d'autres paquets doivent suivre
- Bit MS (Master/slave bit) : MS=1 si le routeur est le maître durant le processus d'échange de bases.
- DD Sequence Number : séquence utilisée pour numérotter les paquets pour pouvoir les reconstituer dans l'ordre (incrémenté).
- Description des liens par des LSA (en-tête seulement)

Message OSPF demande d'états de lien (type 3) LSR

Demande aux voisins des informations de mise a jour pour les liens qui semblent obsolètes. Dans cette demande sont transmise les informations les plus récentes qu'il possède à propos de ces liens.

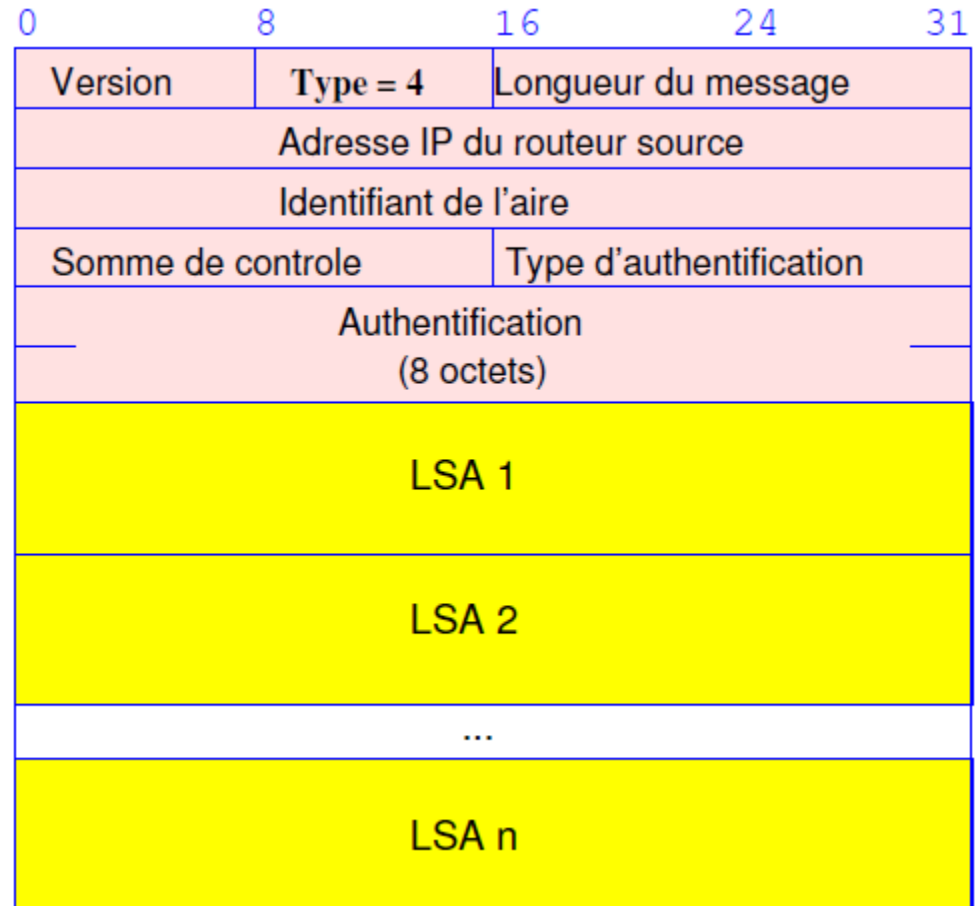
- LS Type : type de LSA recherché
- Link State ID : L'identifiant du LSA (généralement l'IP)
- L'ID du routeur (annonceur) qui a créé les LSA et dont l'update est recherchée.



Message OSPF mise à jour d'état de lien (type 4) LSU

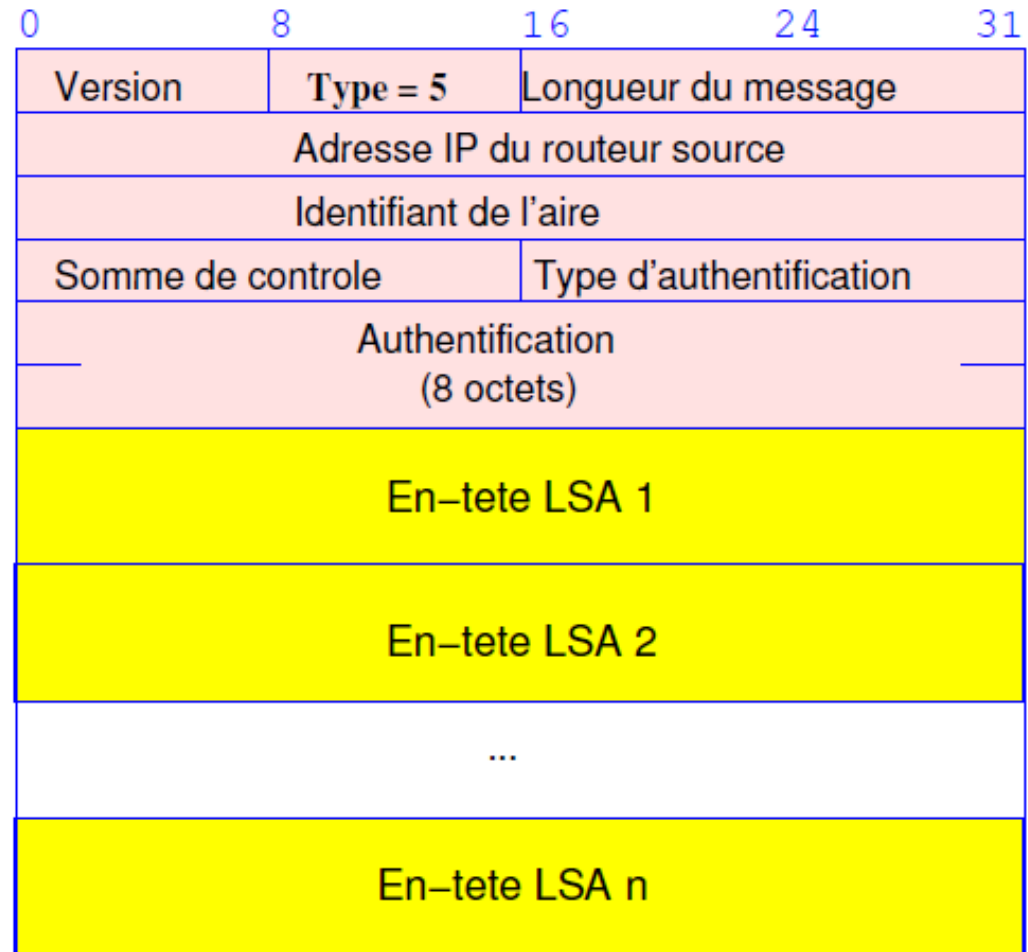
Les routeurs diffusent l'état des liens (LSA-link State Advertisement) en transmettant des messages de mise à jour d'état de lien.

- description des liens par des LSA (entête et corps)



Message OSPF accuse de réception d'états de liens (type 5) LSAck

- les entête LSA permettent d'accuser réception pour chaque LSA envoyé.

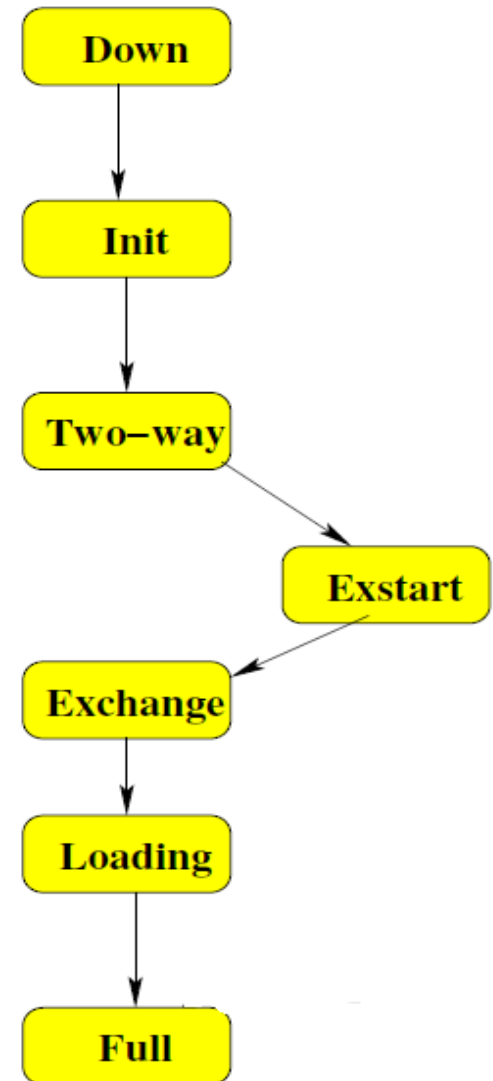


Étapes OSPF

- 1 Etablir l'adjacence des routeurs (Hello) :**
- 2 Election du DR et du BDR (si nécessaire) :** champ de priorité (0-255) dans paquet HELLO (et ID si égalité).
- 3 Découvrir les routes :** échange de DBD : Type d'état de lien, les annonces d'adresses, le coût du lien, un nombre de séquence.
Comparaisons des DBD reçus avec leur propres DBD. LSR+LSA dans LSU
- 4 Sélectionner les bonnes routes :**
- 5 Maintenir les informations de routage :** Quand un changement survient, les routeurs utilisent le processus d'inondation (flooding) pour avertir leurs voisins sur le réseau. Si une ligne est down, le routeur envoie le nouvel état au DR ou BDR qui fera suivre aux autres routeurs (LSU+LSAck).

Les 7 états OSPF

- ❑ Down: connectivite non assurée
 - Envoi de messages Hello annonçant son ID
- ❑ Init: a reçu son premier Hello (mais ne contenant pas son ID)
- ❑ Two-way :a reçu son premier Hello cotenant son ID → connectivite dans les deux sens
- ❑ Exstart
 - Si nécessaire, élection du DR (et du BDR) a l'aide de paquets HELLO.
- ❑ Exchange: échanges de DBD coordonnées par le DR.
 - Les routeurs envoient des LSAck
 - Comparaison des DBD reçus avec leur DBD locale, si nouvelle route, passage en état "Loading" en envoyant un LSR.



Les 7 états OSPF

❑ Loading

- le LSR a été envoyé.
- Attente du LSU (contenant le LSA).
- Acquiescement avec un LSAck

❑ Full état terminal, routeurs en complète adjacence.

- Les routeurs connaissent tous leurs routeurs voisins et l'état de toutes les liaisons du réseau.
- Création de la table de routage (algorithme SPF).

Adresses multicast

224.0.0.1	tous les systèmes du réseau local
224.0.0.2	tous les routeurs du réseau local
224.0.0.5	tous les routeurs OSPF
224.0.0.6	tous les routeurs OSPF désignés (DR et BDR)
224.0.0.24	échange des descriptions de bases de données compatibles TE durant la synchronisation des BD (OSPFIGP-TE) - expérimental.

Protocole d'inondation (flooding)

- ❑ À chaque changement d'état d'un lien, le routeur qui en a la charge émet un LSU (contenant le LSA) vers les DR/BDR (224.0.0.6)
- ❑ le DR attribue un numéro de séquence et émet le LSU vers tous les routeurs (224.0.0.5).
- ❑ Chaque routeur recevant le LSA cherche l'entrée du LSA dans sa base par le numéro de séquence.
- ❑ Si LSA non présent ou si annonce plus récente
 - met à jour la base
 - retransmet le LSA sur toutes ses interfaces sauf celle par laquelle il a reçu l'annonce
 - acquitte le message (OSPF type 5)

Maintien des informations de routage

❑ Détection d'un changement sur un lien :

- disparition d'un lien : silence de la ligne. Toutes les 10 secondes par défaut, les routeurs envoient un HELLO. Si silence pendant 40 secondes, la ligne est considérée comme "down".
- (r) établissement d'un lien : un HELLO est reçu par le routeur sur ce lien.

❑ Un routeur détecte un changement :

- un LSU est envoyé par flooding
- les routeurs recevant le LSU mettent à jour leur base de données d'état de lien (LSDB)
- les routeurs recalculent leur table de routage par l'algorithme SPF.

Maintien des informations de routage

- ❑ Si aucun changement d'état n'intervient dans le réseau, les infos seront quand même mises à jour périodiquement.
- ❑ Chaque LSA reçu a une période d'existence (30 min par défaut chez Cisco)

coût

Type de réseau	Coût par défaut
FDDI, FastEthernet	1
Ethernet 10 Mbps	10
E1 (2,048 Mbps)	48
T1 (1,544 Mbps)	65
64 Kbps	1562
56 Kbps	1758
19.2 Kbps	5208

Suivant la formule de CISCO:

$$cout = \frac{bande_passante_de_reference_en_bps}{bande_passante_du_lien_en_bps}$$

(par défaut, $bande_passante_de_reference_en_bps = 100Mbps$)

Synthèse OSPF

- Routage à état de lien (Link-State) : permettre au routeur d'avoir une vision globale du réseau et de sa topologie
- OSPF gère les limitations de RIP
- s'applique sur de très larges réseaux utilisant une architecture hiérarchique.
- mises à jour sont non périodiques et déclenchées sur des changements de topologie, ce qui entraîne un faible temps de convergence des tables de routage.

Protocole à état de lien recommandé pour remplacer RIP

- plus fiable
- hiérarchisé
- authentification
- équilibrage de charge

BGP: (Border Gateway Protocol)