

# Les protocoles de routage de l'Internet

Chaput Emmanuel

INP  
TOULOUSE

ENSEEIH

2024-2025



- 1 Présentation générale
- 2 Les machines d'extrémité
- 3 Le protocole RIP
- 4 Le protocole OSPF
- 5 Le protocole IS-IS
- 6 Le protocole BGP
- 7 Références bibliographiques

## Présentation générale

### 1 Présentation générale

- Introduction
- Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?
- Les principales étapes
- Notion de table de routage
- Mise à jour des tables de routage

## Qu'est-ce que le routage ?

- Recherche d'un chemin (une route)
  - Besoin d'une connaissance minimale du réseau
  - Application d'un algorithme
  - Prise en compte de contraintes éventuelles
- Permettant d'acheminer les données au sein d'un réseau
  - Quelle que soit la structure du réseau
    - Réseau paquet en mode circuit virtuel ou en mode datagramme
    - Réseau circuit
  - Quelle que soit la nature des données
- Associé à la commutation des données
  - Pas de commutation sans routage
  - Pas de routage sans commutation

## Les objectifs du routage

- Choix d'un chemin "optimal" : selon quel critère ?
  - Fiabilité
  - Économie
  - Bande passante
- Adaptation à la dynamique du réseau
  - Reconfiguration
  - Pannes
  - Mobilité ?
  - Charge ?
- Une contrainte à ne pas oublier : implantation réaliste
  - Traitement algorithmique
  - Charge de communication

## Le routage dans la pile IP

- Routage en mode datagramme (*non connecté*)
  - À l'opposé de X.25
- Mise en œuvre dans le plan de gestion
  - C'est là que la cohérence est assurée
  - Travail "résiduel" de IP minime (mais taille des tables de routage éventuellement importante)
- Notion de *table de routage*
  - Parfois appelée (à tort) table de commutation
- Routage IP de proche en proche
  - Mais construction des tables généralement coordonnée
- Commutation réalisée par IP
  - Après consultation de la table de routage

## Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?

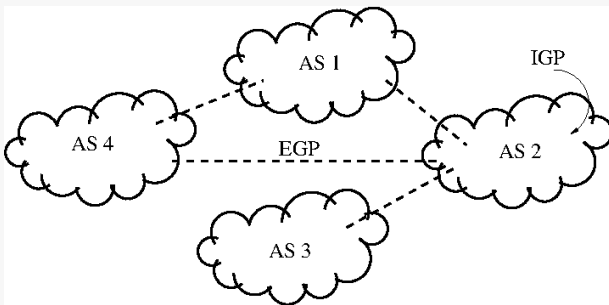
### 1 Présentation générale

- Introduction
  - Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?
    - Notion de système autonome
- Les principales étapes
- Notion de table de routage
- Mise à jour des tables de routage

## Pourquoi plusieurs protocoles de routage ?

- Notion de système autonome
  - Autonomie en termes de routage
- Réseaux nombreux et variés
  - En taille et en besoins
  - Relations économiques complexes
- Routage interne et routage externe
  - Natures très différentes

## Notion de système autonome



## Différents types d'AS

- Système autonome de transit
  - Achemine du trafic entre d'autres systèmes autonomes
  - Fournisseurs d'accès
- Système autonome multi-domicilié
  - Dispose de plusieurs accès Internet
  - Via plusieurs FAIS
- Système autonome d'extrémité
  - Un accès Internet unique

## Protocoles de routage intérieur et extérieur

- IGP (*Interior Gateway Protocol*)
  - Routage au sein d'un AS
  - RIP, OSPF, EIGRP, IS-IS, ...
- EGP (*Exterior Gateway Protocol*)
  - Routage entre plusieurs AS
  - BGP-4

## Les principales étapes

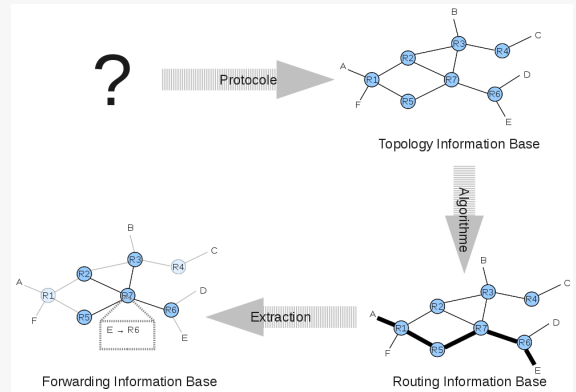
### 1 Présentation générale

- Introduction
- Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?
- Les principales étapes
  - La collecte d'information
  - Les différentes étapes
  - Le calcul des routes
  - L'utilisation des routes
- Notion de table de routage
- Mise à jour des tables de routage

## Les principales étapes

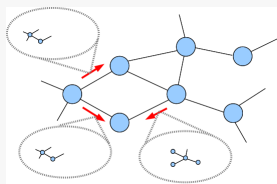
- Collecte d'information
  - Connaître le réseau
  - Topologie stockée dans la *Topology Information Base*
- Calcul des routes
  - Trouver des chemins
  - Liste des chemins stockée dans la *Routing Information Base*
- Utilisation des routes
  - Commuter les paquets
  - Routage (simplifié) dans le cas de IP
  - Liste des routes stockée dans la *Forwarding Information Base*

## Les différentes étapes



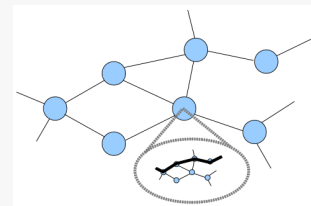
## La collecte d'information

- Connaître l'information
  - Pour calculer les routes
  - Théoriquement indépendant de l'algorithme
    - Pas dans la pratique
- Administration manuelle
  - Rapidement fastidieux
- Réalisée par un protocole
  - À vecteur de distances
    - Algorithme Bellman Ford
  - À états des liaisons
    - Algorithme de Dijkstra



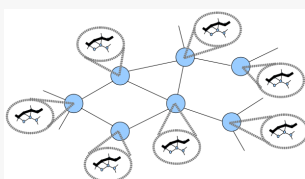
## Le calcul des routes centralisé

- Une entité calcule pour tous
- Centralisation de l'information
- Distribution des résultats
- Disponibilité du calculateur central



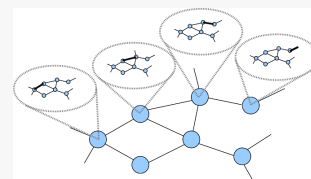
## Le calcul des routes décentralisé

- Chacun calcule tout
- Distribution de l'information
- Redondance
- Besoin de cohérence



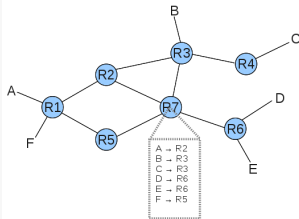
## Le calcul des routes distribué

- Chacun calcule un peu
- Distribution de l'information (au moins parcellaire)
- Difficulté de cohérence



## L'utilisation des routes

- Commutation après consultation de la FIB
- Possibilité plusieurs routes
  - Ou plusieurs FIBs (cf Linux)
- Second critère
  - Champ TOS
  - ...
- Partage de charge
  - Fonction du réseau
  - Impact sur ordre

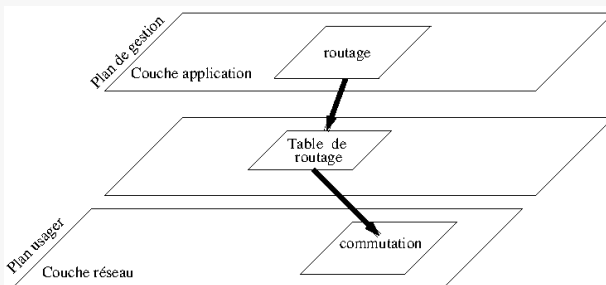


## Notion de table de routage

### 1 Présentation générale

- Introduction
- Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?
- Les principales étapes
- Notion de table de routage
- Mise à jour des tables de routage

## Notion de table de routage



## Notion de table de routage

Une route IP c'est essentiellement

- Une destination
  - Désignée par l'adresse d'un réseau
  - Ou par l'adresse d'une machine unique
- Une interface
  - Lien par lequel transmettre le paquet
- Éventuellement un prochain routeur
  - Si la destination n'est pas accessible directement

Une table de routage est

- Un ensemble de routes

## Exemple de table de routage

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.19.192	*	255.255.255.224	U	0	0	0	eth1
147.127.16.0	*	255.255.240.0	U	0	0	0	eth0
default	147.127.18.200	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

## Mise à jour des tables de routage

### 1 Présentation générale

- Introduction
- Pourquoi doit-il y avoir plusieurs protocoles de routage ?
- Les principales étapes
- Notion de table de routage
- Mise à jour des tables de routage

## Mise à jour de la table de routage

Différentes origines

- Ajout d'une interface
- Configuration manuelle
- Configuration automatique

Pour prendre en compte

- L'évolution du réseau
- Les pannes et dysfonctionnements
- La taille du réseau

Gestion spécifique pour les machines d'extrémité.

## Les machines d'extrémité

### 2 Les machines d'extrémité

- Le protocole ICMP
- Le protocole DHCP
- Le protocole IPCP/PPP

## Les machines d'extrémité

- L'entité IP des machines d'extrémité route aussi
  - Uniquement les paquets sortants (pas de "forwarding")
  - Même algorithme (dans le principe) qu'un routeur
- Besoin d'une table de routage
  - Contenu bien plus limité qu'un routeur
  - Réduit à sa plus simple expression
    - Une route "directe"
    - Une route "par défaut"
- Pas besoin de protocole/algorithme de routage
  - Routes directes inférées des adresses
  - Route par défaut réduite à l'adresse d'un routeur
- Utilité d'un outil de configuration
  - Découverte du routeur par défaut
  - Potentiellement associé à d'autres mécanismes

### 2 Les machines d'extrémité

- Le protocole ICMP
- Le protocole DHCP
- Le protocole IPCP/PPP

## Le protocole ICMP

- Pour la configuration des machines d'extrémité
  - Configuration du routeur par défaut
    - Message Router Advertisement
  - Correction d'une route erronée
    - Message Redirect
- On utilise de préférence des outils comme DHCP ou le ICMP de PPP
- Hors du cadre de ce cours
  - On s'intéresse ici au dialogue entre routeurs
  - Les machines d'extrémité ont cependant une table de routage
    - Généralement minimaliste
    - Aucune dynamique

## Le protocole DHCP

### 2 Les machines d'extrémité

- Le protocole ICMP
- Le protocole DHCP
- Le protocole IPCP/PPP

## Le protocole DHCP

- *Dynamic Host Configuration Protocol* [10, 11]
  - Extension de BOOTP [8]
  - Permet la configuration de divers paramètres de la pile IP
    - Adresse, masque
    - Adresse du routeur par défaut, du serveur de noms, ...
    - Paramètres de TCP (TTL, ...)
    - Paramètres applicatifs (du plan de gestion)
    - ...
- Largement utilisé pour la configuration des stations d'un réseau local
  - Gestion centralisée des adresses
  - Réutilisation potentielle d'adresses

## Le protocole IPCP/PPP

- ② Les machines d'extrémité
  - Le protocole ICMP
  - Le protocole DHCP
  - Le protocole IPCP/PPP

## Le protocole IPCP/PPP

- Le protocole PPP (*Point to Point Protocol*) est largement utilisé sur des liens point à point
  - Accès internet au travers liaisons longue distance (type modem/RTC)
- Il intègre un protocole de configuration de réseau
  - *Network Control Protocol* (NCP)
  - Protocole instancié pour chaque protocole de niveau 3 utilisé
- Version dédiée à IPv4
  - *IP Control Protocol* (IPCP [16])
  - Permet la configuration des adresses des deux extrémités
  - Le routeur est donc l'entité située à l'autre bout

## Le protocole RIP

- ③ Le protocole RIP
  - Principes
  - Format d'un message RIP
  - Le comptage à l'infini
  - Bilan

## Le protocole RIP

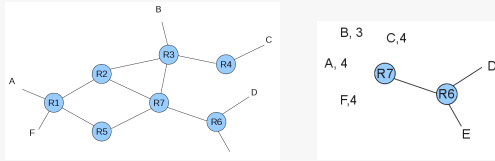
- Le protocole RIP (*Routing Information Protocol*) est décrit dans [12] puis [15] (v2)
- IGP à vecteur de distances
  - Information de base
    - Destination atteignable
    - Distance (en nombre de réseaux vers la destination)
    - Adresse du prochain routeur (voisin)
  - Constitue la TIB (et donc la RIB et la FIB)
- Meilleure route = plus courte
  - Distance exprimée en "sauts" (ou *hops*), c'est-à-dire en nombre de réseaux à traverser
- Implanté sur UDP, port 520
  - Messages courts
  - Recherche d'efficacité

## Principes

- ③ Le protocole RIP
  - Principes
  - Format d'un message RIP
  - Le comptage à l'infini
  - Bilan

## Les principes de RIP

- Topology Information Base
  - Destinations caractérisées par une distance
- Par exemple, vision de  $R_6$  :



- C'est également la Routing Information Base
- Et la Forwarding Information Base !

## Les principes de RIP

- Émission périodique du contenu de la *Topology Information Base* vers ses voisins
- Lors de la réception d'une information, application de l'algorithme de calcul de route pour mettre à jour la *Routing Information Base*
  - si destination inconnue alors
    - route ajoutée (avec distance incrémentée)
  - sinon si nouvelle route (avec distance incrémentée) meilleure alors
    - route remplacée
  - si route connue de longueur différente (de la distance incrémentée)
    - route modifiée
  - Mise à jour de la *Forwarding Information Base*
- Destinations devenues inatteinables caractérisées par une distance "infinie"

## Format d'un message RIP

### 3 Le protocole RIP

- Principes
- **Format d'un message RIP**
- Le comptage à l'infini
- Bilan

## Format d'un message RIP

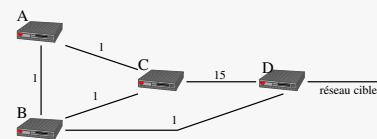
0	7 8	15 16	31
commande		version	zéro/domaine
famille d'adresse		zéro/tag	
adresse			
zéro/masque			
zéro/adresse du routeur			
métrique			

## Le comptage à l'infini

### 3 Le protocole RIP

- Principes
- Format d'un message RIP
- Le comptage à l'infini**
- Bilan

## Le comptage à l'infini

[illegible]

## Réponses au comptage à l'infini

- Réponses à un cycle impliquant deux routeurs
  - Simple split horizon
    - On ne mentionne pas à R une route passant par R
  - Split horizon with poison reverse
    - Une route passant par R lui est annoncée avec une route infinie
- Réponses à un cycle impliquant plus de routeurs
  - Triggered updates
    - Pour aller plus vite vers l'infini !
  - L'infini = 16
    - Pour s'arrêter un peu plus tôt que l'infini

## Bilan

- ④ Le protocole RIP
  - Principes
  - Format d'un message RIP
  - Le comptage à l'infini
  - Bilan

## Le bilan de RIP

- Un protocole particulièrement simple
  - Peu de messages, de longueur très modeste
  - Algorithmique absolument triviale
  - Aucune configuration nécessaire
  - Gestion élémentaire des risques d'incohérence
- Un protocole adaptatif
  - Il sait réagir aux changements de topologie
  - Permet de basculer vers/depuis un "lien de secours"
  - Service minimum
- Un protocole offrant peu de souplesse
  - Possibilité de paramétrer le coût d'un lien
  - Pas de hiérarchie possible
  - Pas d'aggrégation de route
- Particulièrement adapté aux petits systèmes autonomes
  - Plutôt efficace sur des petits réseaux peu dynamiques

## Le protocole OSPF : plan

- ④ Le protocole OSPF
  - Introduction
  - La découpe en zones
  - Notion d'*adjacency*
  - Les principales étapes
  - Description de la topologie
  - Les différents LSAs
  - Les unités de protocole
  - Le protocole hello
  - La synchronisation des bases de données
  - Le calcul des chemins
  - Bilan
  - Annexe : configuration des équipements

## Introduction

- ④ Le protocole OSPF
  - Introduction
    - La découpe en zones
    - Notion d'*adjacency*
    - Les principales étapes
    - Description de la topologie
    - Les différents LSAs
    - Les unités de protocole
    - Le protocole hello
    - La synchronisation des bases de données
    - Le calcul des chemins
    - Bilan
    - Annexe : configuration des équipements

## Le protocole OSPF

- *Open Shortest Path First* [18] [22][21] (v2)
- IGP à état des liaisons
  - Calcul distribué du plus court chemin dans un graphe
  - Application de l'algorithme de Dijkstra
- Adapté aux gros systèmes autonomes
  - Plus riche que RIP
  - Plus complexe et plus lourd à administrer !
  - Sait relayer (et différencier) les routes externes
- Routage multi-critère, multi-route
  - Sait calculer des routes par TOS
  - Sait calculer plusieurs routes équivalentes
- Multiples évolutions
  - Support des préfixes à longueur variable, du multicast, ...
  - Intègre des mécanismes d'authentification
- Implanté au dessus d'IP
- Utilise le *multicast* pour le dialogue entre routeurs



## Quels outils de passage à l'échelle ?

OSPF pose un double problème de passage à l'échelle

- Le calcul du plus court chemin nécessite une connaissance complète du graphe
  - Volume total dépendant de la taille du réseau (routeurs + liens)
  - Peut se révéler extrêmement gourmand en communication
- L'algorithme de Dijkstra est assez lourd
  - Rédhibitoire si le graphe (réseau) est trop vaste
  - Impact sur la puissance des routeurs

Plusieurs outils permettent d'en limiter les conséquences

- Découpe du réseau en zones
  - Hiérarchie minimale : deux niveaux
  - Vision totale à l'échelle d'une zone
  - Vision d'ensemble à la granularité d'une zone
- Tous les routeurs ne dialoguent pas ensemble
  - Introduction d'une relation de *voisinage* (*adjacency*)
- Les routeurs n'échangent pas systématiquement toute leur TIB
  - Utilisation d'informations résumées

## La découpe en zones

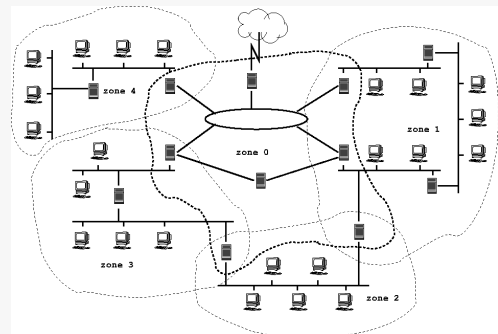
### Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## La découpe en zones d'OSPF

- Découpe hiérarchique du réseau en zones
  - Outil de base pour la gestion des gros AS
  - Ensemble connexe de réseaux et routeurs
  - Cohérence de l'adressage dans une zone
  - Identifiées par un numéro sur quatre octets
- Routage interne à une zone
  - Indépendamment du reste du réseau
  - Calcul du plus court chemin (SPF)
  - Zone de taille "raisonnable"
- Topologie en étoile
  - Autour d'une zone dite de *backbone*
- Routage entre zones
  - Via la zone de *backbone*
  - Échange d'informations synthétisées

## Découpe du réseau en zones



## Différents types de zones

**Backbone area** unique et obligatoire

- Réalise l'interconnexion des autres zones
- Également appelée zone 0

**Area** "classique"

- L'essentiel des zones
- Routage interne par SPF

**Stub area** ne reçoit pas les routes externes

- Routage externe réduit à une route par défaut
- Économie parfois importante

## Les différents routeurs OSPF

- Routeur interne
  - Routage intérieur d'une zone
  - Exécutent un SPF
- Routeur frontalier de zone (ou *area border router*)
  - Routage entre zones
  - Exécutent un SPF par zone
- Routeur frontalier d'AS (ou *AS boundary router*)
  - Routage entre systèmes autonomes

## La backbone area

- Zone 0
- Rôle central
  - Échange inter zone
- Inclus tous les routeurs de frontière
  - *ie* inclus dans deux plusieurs zones
- Peut contenir des routeurs internes
  - Comme toute zone
- Nécessairement connexe
  - Éventuellement virtuellement

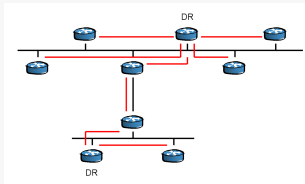
## Notion d'*adjacency*

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- **Notion d'*adjacency***
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Notion d'*adjacency*

- Objectif
  - Minimiser les échanges sur un réseau
- Les mises à jour de la *Topology Information Base* ne se font qu'entre deux routeurs voisins, c'est-à-dire
  - Qui sont reliés par un lien point à point
  - Ou dont l'un est le routeur désigné (*Designated Router* ou DR) ou son backup



## Les principales étapes

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- **Les principales étapes**
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Les principales étapes

Un routeur OSPF passe par les étapes suivantes

- Découverte de son voisinage direct
  - Information remontée des couches inférieures
  - Connaissance de lui-même (!) et des réseaux auxquels il est relié
- Découverte de ses voisins
  - Par le (sous-)protocole *Hello*
  - Election du DR responsable des LSA sur un réseau multipoint
- Échange d'informations décrivant la topologie
  - Au travers du protocole OSPF
  - Synchronisation des bases de données de description de la topologie
- Calcul des routes
  - Application du SPF (algorithme de Dijkstra)
  - Construction de la *RoutingInformation Base*
- Mise à jour de la *Topology Information Base*
  - Au travers du protocole OSPF
  - Tenir compte des évolutions

## Description de la topologie

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- **Description de la topologie**
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Description de la topologie

La *Topology Information Base* est constituée de différents types de liens

- Router links
  - Liens (interfaces) d'un routeur
  - Type de routeur (interne, frontalier, ...)
- Network links
  - Liste des routeurs attachés
  - Annoncé par le DR du réseau
- Summary links
  - Réseaux de l'AS
  - Routeurs de frontière de l'AS
- External links
  - Destinations extérieures

Décrits dans des *Link State Advertisements* (LSAs)

## Les différents LSAs

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Entête d'un LSA

Age du LS	Options	Type de LS
ID du LS		
Routeur Source		
Numéro de séquence		
Checksum	Taille	

- *Age* exprimé en seconde depuis sa création
  - Évolue dans la base de données, lors d'un transit
  - Utilisé essentiellement pour forcer une mise à jour
- *Options* décrites plus loin
- *Type de LS* voir plus loin
- *Identifiant* permettant de désigner le LSA) (*eg* ADRESSE)
- *Routeur* identifiant du routeur qui a construit ce LSA
- *Numéro de séquence* permet de différencier deux versions
- *Longueur* totale incluant cet en-tête

## Le champ *Options*

-	-	D	E	A	N	P	M	C	E	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- RC pour gérer un lien nécessitant l'établissement d'un circuit (éventuellement virtuel) [20]
- EA définit la capacité à gérer des LSA opaques [6, 2]
  - Utilisés par exemple pour l'ingénierie de trafic [1]
- NP définit la gestion des LSAs de type 7
  - La définition de NSSA permet de lever certaines limites des *Stub Areas* [7]
- MC valide l'extension multicast [19]
- E diffusion ou non des routes externes

## Les router LSAs (LS type = 1)

0	M	E	0	Nb liens
Identifiant				
Caractéristiques				
Type	Nb TOS		Métrique	
...				

- virtual link si le routeur est au bout d'un lien virtuel
- External si le routeur est un routeur de frontière d'AS
- Border si le routeur est un routeur de frontière de zone
- Nb liens nombre de liens auxquels est attaché le routeur
- Type de lien
  - Point-à-point
  - Vers un réseau de transit
  - Réseau feuille
  - Virtuel

## Les router LSAs (LS type = 1)

0	M	E	0	Nb liens
Identifiant				
Caractéristiques				
Type	Nb TOS		Métrique	
...				

- Indentifiant du lien
- Caractéristiques du lien dépendent du lien (masque pour un réseau feuille, adresse IP du routeur, ...)
- Nb TOS nombre de métriques supplémentaires
- Métrique coût de ce lien pour la métrique par défaut

## Les network LSAs (LS type = 2)

Masque
Identifiant de routeur
...

- Masque utilisé sur le réseau
- Identifiant de routeur pour tous les routeurs reliés au réseau

## Les summary LSAs (LS type = 3/4)

Masque	
0	Métrique
TOS	Métrique
...	

- Masque utilisé sur le réseau
  - Adresse fournie par l'identifiant
- Métrique par défaut
- TOS/Métrique pour les autres TOS (optionnel)

## Les AS-external LSAs (LS type = 5)

Masque	
E	0
Métrique	
Adresse routeur	
Tag	
E	TOS
Métrique	
Adresse routeur	
Tag	
...	

- Masque utilisé sur le réseau
  - Adresse fournie par l'identifiant
- E si positionné, seule la métrique externe est utilisée
  - On n'additionne pas à la métrique interne pour trouver le meilleur chemin
  - Seul le routage extern compte
- Tag transparent pour OSPF, acheminé
- Métrique par défaut
- TOS/Métrique pour les autres TOS (optionnel)

## Les unités de protocole

### Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
  - Entête commun
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Les unités de protocole

**Hello** pour découvrir le voisinage

- Et élection du DR et du BDR

**Database Description** pour décrire le réseau

- Informations résumées (entête de 20 octets de chaque LSAs)

**Link State Request** demande d'info sur un lien

- Mise à jour des bases

**Link State Update** mise à jour d'une info

- Réponse à LSR
- Spontanément
- Volumineux

**Link State Ack** accusé de réception d'un LSU

- Fiabilisation de la cohérence des bases

## Entête commun

version	type	packet length
router ID		
area ID		
checksum	autype	
authentication		
authentication		

- version** numéro de version d'OSPF
- type** sous-protocole utilisé
- packet length** taille totale en octets, entête compris
- router ID** identificateur du routeur émetteur
- area ID** identificateur de la zone concernée
- checksum** sur le paquet complet, hors authentication
- autype** type d'authentification mise en œuvre
- authentication** clef d'authentification

## Le protocole hello

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- **Le protocole hello**
  - Format des messages hello
- La synchronisation des bases de données
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Le protocole hello

- Élection du DR et d'un BDR
  - Sur des réseaux multipoint
- Établir et maintenir des relations de voisinage
  - *Adjacency* avec DR, BDR ou point à point
- Émission périodique de messages hello
  - Pour détecter défaillances

## Message Hello

network mask		
interval	options	prio
dead interval		
designated router		
backup designated router		
neighbor		
...		

`network mask` masque du réseau concerné  
`interval` en secondes entre 2 émissions  
`options` extensions supportées  
`prio` priorité du routeur pour l'élection  
`dead interval` intervalle avant hors-service  
`designated router` identité du routeur désigné  
`backup designated router` identité du BDR  
`neighbor` identité des voisins

## La synchronisation des bases de données

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- **La synchronisation des bases de données**
- Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## La synchronisation des bases de données

- Entre certains couples
  - Adjacences
- Protocole maître-esclave
  - Le maître annonce ses données
  - L'esclave en fait autant
- Échange des données voulues plus tard
  - Sur demandes
  - Accusés de réception

## Le calcul des chemins

### 4 Le protocole OSPF

- Introduction
- La découpe en zones
- Notion d'*adjacency*
- Les principales étapes
- Description de la topologie
- Les différents LSAs
- Les unités de protocole
- Le protocole hello
- La synchronisation des bases de données
- **Le calcul des chemins**
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Le calcul des chemins

- Pour chaque routeur, pour chaque zone
  - Application de l'algorithme de Dijkstra
  - À chaque destination
    - Dans la zone
    - Autres zones (chacune est une destination)
- Routeurs de frontières
  - Déterminent ainsi routes inter-zones
  - Échangent des LSAs résumés
    - Qui décrivent des réseaux atteignables

## Bilan

- 4 Le protocole OSPF
  - Introduction
  - La découpe en zones
  - Notion d'*adjacency*
  - Les principales étapes
  - Description de la topologie
  - Les différents LSAs
  - Les unités de protocole
  - Le protocole hello
  - La synchronisation des bases de données
  - Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Bilan de OSPF

- Protocole extrêmement riche et puissant
  - Capacité de gérer plusieurs routes
  - Possibilité d'utiliser plusieurs métriques
  - Adapté à de gros systèmes autonomes
  - Interaction avec le routage externe
- Configuration très lourde
  - Définition des zones
  - Configuration des routeurs
  - Correspondance avec l'adressage
  - Interaction avec le routage externe
- Protocole évolutif
  - Passage à IPv6
  - Intégration de la gestion de trafic
  - ...

## Configuration des équipements

- 4 Le protocole OSPF
  - Introduction
  - La découpe en zones
  - Notion d'*adjacency*
  - Les principales étapes
  - Description de la topologie
  - Les différents LSAs
  - Les unités de protocole
  - Le protocole hello
  - La synchronisation des bases de données
  - Le calcul des chemins
- Bilan
- Annexe : configuration des équipements

## Configuration de OSPF (FRR sous Linux)

### • Activation d'OSPF

```
rt1(config)# router ospf 1
rt1(config-router)#
```

### • Ajout d'un réseau à une zone

```
rt1(config-router)# network 192.168.1.0 255.255.255.0 area 0
```

### • Observation des voisins

```
rt1# show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.2.2	1	FULL/BDR	00:00:39	192.168.1.2	FastEthernet0/1

### • Observation des routes

```
rt1# show ip route ospf
O 192.168.4.0/24 [110/40] via 192.168.1.2, 00:00:01, FastEthernet0/1
O 192.168.2.0/24 [110/20] via 192.168.1.2, 00:00:01, FastEthernet0/1
O 192.168.3.0/24 [110/30] via 192.168.1.2, 00:00:01, FastEthernet0/1
```

## Le protocole IS-IS

### 5 Le protocole IS-IS

## Le protocole IS-IS

- Intermediate System-to-Intermediate System
  - Standard OSI
  - Orienté CLNP
  - Développé par DEC
- Très similaire à OSPF
  - IGP à état des liaisons
  - Découpe du système en zones
  - Plus court chemin (Dijkstra) dans chaque zone
  - Deux niveaux de hiérarchie
- Version adaptée à IP
  - Integrated IS-IS [4]
  - Plus utilisé chez les opérateurs

## Le protocole BGP : plan

- 6 Le protocole BGP
  - Introduction
  - Fonctionnement général
  - Le protocole
  - Les attributs de chemin
  - L'agrégation de route
  - Politique de routage
  - Annexe : la configuration des équipements

## Introduction

- 6 Le protocole BGP
  - Introduction
    - Fonctionnement général
    - Le protocole
    - Les attributs de chemin
    - L'agrégation de route
    - Politique de routage
    - Annexe : la configuration des équipements

## Quels besoins de routage dans l'Internet ?

- L'Internet est une interconnexion de systèmes autonomes
  - Indépendance du routage interne
  - Routage externe d'un AS assuré par son (ses) FAI(s)
- Routage externe fondé sur des considérations non techniques
  - Relations commerciales
    - Client/fournisseur
    - Pair à pair
  - Potentiellement trivial
    - Cas de tous les ASS qui ne sont pas des FAIS
  - Parfois extrêmement complexes
    - ASS multidomiciliés
    - ASS de transit

## Le protocole BGP

### *Border Gateway Protocol*

- EGP à vecteur de chemins
  - Topologie définie par des chemins
  - À comparer à RIP (à vecteur de distances)
    - Pas de risque de comptage à l'infini
  - Granularité des chemins : système autonome
    - Les chemins parcourus par les paquets IP ne sont pas complètement définis
- Implanté au dessus de TCP
  - Échange de gros volumes de données durant de longues sessions
- Permettant l'agrégation de routes et le déploiement de CIDR
- Autorisant la définition de politiques de routage

## Histoire

- Fondé sur l'expérience d'EGP et de son utilisation dans NSFNET [17], [23], [3]
- Première proposition en 1989, un an après la première RFC décrivant RIP [12]
- Première RFC en juin 1989 [13]
- Version 2 en 1990 [13]
- Version 3 en 1991 [14]
- Version 4 en 1994 [26]
- Intégration d'IPv6 en 1995 [9]
- Gestion de CIDR et de l'agrégation de routes en 2006 [28]
- Nombreuses extensions (IPv6, multicast, VPN, ...)[26], [24], [29], [27], [25],[28]

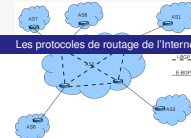
## Fonctionnement général

### 6 Le protocole BGP

- Introduction
- **Fonctionnement général**
- Le protocole
- Les attributs de chemin
- L'agrégation de route
- Politique de routage
- Annexe : la configuration des équipements

## Fonctionnement général

- Objectif de base [28]
  - Échanger des informations sur la topologie du réseau (*reachability information*)
  - Chaque réseau atteignable est caractérisé par la liste des AS à traverser pour l'atteindre
  - Ces informations permettent de mettre en place des politiques de routage
- Ne permet de définir que des stratégies fondées sur la destination
- Échange d'informations avec les routeurs externes
  - Au travers de E-BGP
  - Pour découvrir le réseau
- Échange d'informations avec les routeurs internes
  - Au travers de I-BGP
  - Pour acheminer l'information en interne
  - Pas de propagation I-BGP vers I-BGP
  - Maillage total
- Application de la politique de routage entre les deux



## Fonctionnement général

- Établissement de connexion avec pairs
  - Connexions de longue durée
- Apprentissage de chemins
  - Depuis pairs extérieurs ou intérieurs
- Choix des chemins en fonction de la politique définie
  - Modification de la table de routage
  - Interaction avec les IGP

## Informations échangées par BGP

Chaque information échangée (participant à la *Topology Information Base*) est constituée

- D'une description de la destination
  - *Network Layer Reachability Information* (NLRI)
  - Par exemple une adresse/masque pour IPv4
- D'attributs
  - Caractérisant la route
  - Par exemple la liste des AS traversés

## Les Routing Information Bases

Bases de données hébergeant les informations de routage

**Adj-RIBs-In** stocke les informations obtenues par des messages UPDATE reçus de l'extérieur. Ce sont ces informations que le processus de décision va traiter

**Loc-RIB** contient les informations sélectionnées par l'application de la politique de routage sur la base *Adj-RIBs-In*. Ce sont les routes utilisées par l'entité locale.

**Adj-RIBs-Out** définit les données qui seront émises vers les pairs BGP au travers de messages UPDATE

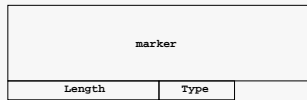
## Le protocole

### 6 Le protocole BGP

- Introduction
- **Fonctionnement général**
- Le protocole
  - Format des messages
  - Établissement de la connexion
  - Mise-à-jour de la base
  - Erreur sur la connexion
  - Sonde de la connexion
- Les attributs de chemin
- L'agrégation de route
- Politique de routage
- Annexe : la configuration des équipements



# En-tête BGP



**Marker** sur 16 octets doit pouvoir être prédit par le récepteur par les mécanismes d'identification négociés (obsolète : doit être à 1)

**Length** exprime la taille totale du message, inférieure à 4096 octets

**Type** permet de définir l'opération souhaitée

# Type des messages BGP

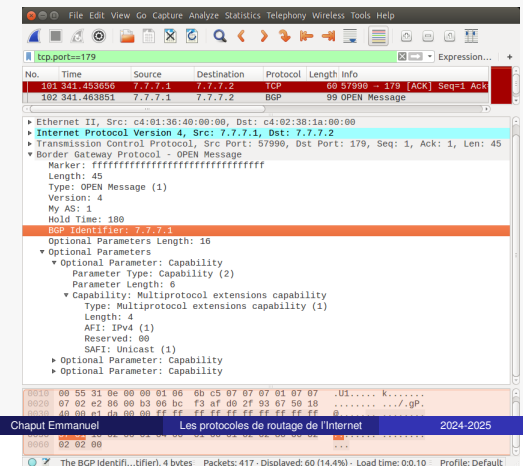
Quatre types de messages prédéfinis

- OPEN** (Type = 1) pour établir la communication
- UPDATE** (Type = 2) pour modifier la table
- NOTIFICATION** (Type = 3) pour signaler une erreur
- KEEPALIVE** (Type = 4) pour vérifier la communication

# Message BGP OPEN

- Échange de paramètres
  - Identifiant d'AS
  - Identifiant BGP
  - Hold Time
- Négociation de paramètres optionnels
  - Type d'authentification
  - Extensions protocolaires
    - Capabilities (*Parameter type 2*) [5]
  - ...
- Marker à 1
  - Les mécanismes d'authentification n'ont pas encore été négociés

# Message BGP OPEN

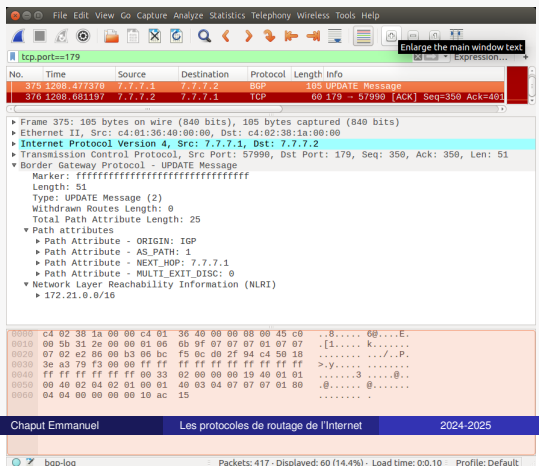


# Message BGP UPDATE

Withdrawn routes length
Withdrawn routes
Path attribute length
Path attributes
NLRI

- Liste de destinations non atteignables
  - Adresse IP et longueur de préfixe
- Annnonce de route
  - Attributs
  - Destination (sous forme de NLRI)

# Message BGP UPDATE



## Message BGP NOTIFICATION

Code	Sous-code	Données
------	-----------	---------

- Erreur de version
- Pair inconnu
- Erreur de message
- Hold Time timeout
- Paramètre inconnu
- Attribut manquant
- ...

## Message BGP KEEPALIVE

- Permet de s'assurer de la liaison
  - À comparer au service équivalent fourni par TCP
- Pas de données véhiculées
- Message constitué d'un en-tête seul
  - 19 octets
- Au rythme donné par le Hold Time
  - Par exemple un tiers de ce délai
  - Pas plus court d'une seconde

## Introduction

### 6 Le protocole BGP

- Introduction
- Fonctionnement général
- Le protocole
- Les attributs de chemin
  - L'attribut ORIGIN
  - L'attribut AS\_PATH
  - L'attribut NEXT\_HOP
  - L'attribut MULTI\_EXIT\_DISC
  - L'attribut LOCAL\_PREF
- L'agrégation de route
- Politique de routage
- Annexe : la configuration des équipements

## Les attributs des chemins

Ce sont eux qui apportent toutes la puissance de BGP. Ils peuvent être

- Connus et obligatoires
  - Doivent être positionnés
- Connus et optionnels
  - Doivent être reconnus
  - Peuvent être utilisés
- Optionnels transitifs
  - Doivent être acheminés
  - Même si inconnus
- Optionnels non transitifs
  - Doivent être détruits

## Attributs BGP

Ceux définis par la RFC-4271 [28] peuvent être

- Obligatoires
  - `AS_PATH` séquence des AS traversés
  - `ORIGIN` émetteur du chemin
  - `NEXT_HOP` adresse du prochain routeur
- Optionnels
  - `LOCAL_PREF` degré de préférence (interne)
  - `MULTI_EXIT_DISC` indication du degré de préférence
  - `ATOMIC_AGGREGATE` pour interdire la "dé-agrégation"
  - `AGGREGATOR` pour identifier l'auteur d'une agrégation

## L'attribut ORIGIN

- Attribut connu et obligatoire
- Définit l'origine de la route
- Trois valeurs définies
  - `0 = IGP` si l'information provient de l'intérieur de l'AS émetteur
  - `1 = EGP` si l'information provient d'un autre AS
  - `2 = INCOMPLETE` si l'information a été obtenue par un autre moyen

## L'attribut AS\_PATH

- Attribut connu et obligatoire
- Donne la liste des AS traversés
  - C'est le chemin pour atteindre la destination
- Séquence de segments
- Segment = (type, longueur, valeur)
  - type
    - AS\_SET liste désordonnée d'AS
    - AS\_SEQUENCE liste ordonnée d'AS
  - longueur : de la liste, en nombre d'AS
  - valeur : liste d'ASN sur deux octets

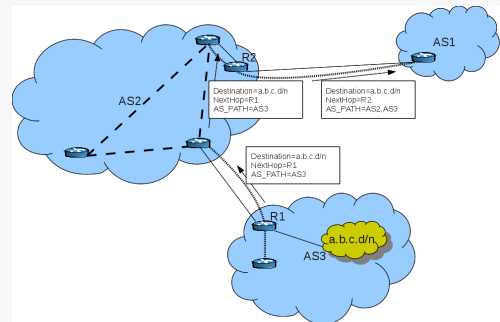
## L'attribut AS\_PATH

- Construction avant la première émission
  - Vers un routeur du même AS
    - Construire un AS\_PATH vide
  - Vers un routeur d'un AS voisin
    - Construire un AS\_PATH contenant uniquement l'ASN
- Mise-à-jour avant re-émission
  - Vers un routeur du même AS
    - Pas de modification
  - Vers un routeur d'un AS VOISIN
    - Ajouter son numéro d'AS en tête du premier segment, qui doit être de type AS\_SEQUENCE, créé si nécessaire

## L'attribut NEXT\_HOP

- Attribut connu et obligatoire
- Adresse du prochain routeur sur le chemin
  - C'est bien une adresse IP, pas un AS
- Doit être atteignable par le pair BGP
- Peut être externe ou interne
- Ne doit pas être modifié lors de la transmission au sein de l'AS (par I-BGP)

## Un exemple



## L'attribut MULTI\_EXIT\_DISC

- Attribut optionnel non transitif
- Donne une indication au pair de l'interface préférée
- Métrique sur 4 octets
- Préférer la valeur la plus faible
- Doit être propagé (via I-BGP dans l'AS mais pas aux voisins (non transitif))
  - Il va servir en interne à appliquer la politique de routage

## L'attribut LOCAL\_PREF

- Attribut connu à usage interne
- Positionné par un routeur pour définir le degré de préférence d'une route externe
- Intégré dans les politiques de routage
- Préférer les valeurs élevées
- Ne doit pas être présent dans un message entre ASs

## Traitement d'un message UPDATE

- Un pair BGP, lorsqu'il reçoit un message `update`
  - Doit supprimer de la *Adj-RIB-In* les routes éventuellement présentes dans le champ `WITHDRAWN_ROUTES`
    - Il doit alors relancer son processus de décision
  - Doit insérer l'éventuelle nouvelle route
    - Dans la *Adj-RIB-In*
    - En remplacement de l'éventuelle version précédente (mise-à-jour)
    - Il doit alors relancer son processus de décision
- Le processus de décision
  - Donne une note à chaque route présente dans les *Adj-RIB-In*
  - Note donnée indépendamment des autres routes
  - Il installe ensuite dans la *Loc-RIB* la meilleure route
  - Il copie ensuite les routes dans les *Adj-RIB-Out* en fonction de la politique

## L'agrégation de route

- 6 Le protocole BGP
  - Introduction
  - Fonctionnement général
  - Le protocole
  - Les attributs de chemin
  - L'agrégation de route
  - Politique de routage
  - Annexe : la configuration des équipements

## L'agrégation de route

- Principe
  - Combiner plusieurs routes de sorte à n'en annoncer qu'une plus générale
  - Permet de participer à la "réduction" des tables de routage
  - Permet la mise en œuvre de CIDR
  - Y compris sur des destinations qui impliquent plusieurs AS
- Gestion des `AS_PATH`
  - Divers algorithmes possibles
  - Un algorithme simple
    - Maintenir en tête la séquence la plus longue commune
    - Terminer par un `AS_SET` qui englobe les fins de séquences
    - Fusionner des parties de chemin de même nature (`SEQUENCE` ou `SET`)
- Ne pas oublier les autres attributs
  - Tout n'est pas possible
  - Pe on n'agrège pas des routes avec des `MED` différents

## Introduction

- 6 Le protocole BGP
  - Introduction
  - Fonctionnement général
  - Le protocole
  - Les attributs de chemin
  - L'agrégation de route
  - Politique de routage
  - Annexe : la configuration des équipements

## Besoin de définir une politique de routage

- Préférence d'un lien à un autre
  - Choix économiques
  - Choix techniques
- Paquets en transit
  - Vers ou depuis un client
  - Vers ou depuis un pair
- Paquets sortants
  - Guidés par les routes importées
- Paquets entrants
  - Guidés par les routes exportées

## Mise en œuvre de la politique de routage

- Choix des routes exportées
  - Pour le trafic entrant
  - Notion de *Multi-Exit Discriminator*
  - ...
- Choix des routes importées
  - Pour le trafic sortant
  - Notion de préférence (locale)
  - ...
- Mais ceci est une autre histoire ...

# Annexe : la configuration des équipements

## 6 Le protocole BGP

- Introduction
- Fonctionnement général
- Le protocole
- Les attributs de chemin
- L'agrégation de route
- Politique de routage
- Annexe : la configuration des équipements

# Activation de BGP

## • Insertion dans un AS et ajout d'un réseau

```
as1-r1(config)# router bgp 1
as1-r1(config-router)# bgp router-id 1.2.3.4
as1-r1(config-router)# network 172.21.0.0/16
```

## • Association avec un voisin

```
as1-r1(config-router)# neighbor 7.7.7.2 remote-as 2
```

## • Pour lui préciser l'adresse à utiliser (ici on lui dit d'utiliser l'adresse associée à l'interface v0)

```
as1-r1(config-router)# neighbor 7.7.7.2 update-source v0
```

# Observation des voisins

## • Liste des voisins

```
as2-r1#sh ip bgp neighbors
BGP neighbor is 7.7.7.1, remote AS 1, external link
BGP version 4, remote router ID 7.7.7.1
BGP state = Established, up for 00:10:07
Last read 00:00:07, last write 00:00:07, hold time is 180, keepalive interval is 60
seconds
Neighbor capabilities:
  Route refresh: advertised and received(old & new)
  Address family IPv4 Unicast: advertised and received
Message statistics:
  InQ depth is 0
  OutQ depth is 0
      Sent      Rcvd
Opens:         1         1
Notifications: 0         0
Updates:       0         0
Keepalives:    12        12
Route Refresh: 0         0
Total:         13        13
Default minimum time between advertisement runs is 30 seconds

For address family: IPv4 Unicast
  BGP table version 1, neighbor version 1/0
  Output queue size : 0

(...)
```

# Choix de la famille d'adresses (FRR)

- Par défaut, BGP n'annonce que les routes vers de l'IPv4
  - Si on ne fait que de l'IPv4 ce qui est ci-dessous est inutile
- Pour changer ce comportement dans l'AS asn

```
router bgp <asn>
no bgp default ipv4-unicast
```

## • Pour entrer dans la configuration d'une famille d'adresse

```
router bgp 1
address-family ipv4 vpn
```

## • Par exemple pour y activer une relation de voisinage

```
router bgp 1
address-family ipv4 vpn
neighbor 10.0.0.4 activate
```

# Politiques de redistribution des routes

Il est possible de valider la redistribution des routes en fonction de leur origine

## • Redistribuer les routes présentes dans le noyau (ici en BGP sur l'AS 4832)

```
rt(config)# router bgp 4832
rt(config-router)# redistribute kernel
```

## • Redistribuer les routes statiques

```
rt(config-router)# redistribute static
```

## • Redistribuer les routes des réseaux actifs

```
rt(config-router)# redistribute connected
```

## • Redistribuer les routes apprises par un autre protocole

```
rt(config-router)# redistribute ospf
```

## • Naturellement cette configuration peut se faire par VRF

# Observation des routes

## • Liste des routes reçues

```
as2-r1#show ip bgp
BGP table version is 2, local router ID is 7.7.7.2
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
  --
*> 172.21.0.0      7.7.7.1              0             0 1 1
```

# Définition des pairs

- Dans la suite, un `peer` peut être
  - Un voisin unique désigné par son adresse
  - Un ensemble de voisins construit et peuplé ainsi

```
neighbor un-groupe peer-group
neighbor 10.10.10.1 peer-group un-groupe
neighbor 10.10.20.1 peer-group un-groupe
```

- Les propriétés attribuées à un groupe seront alors actives pour tous les membres
- Une description peut être associée à un voisin

```
neighbor 10.10.10.1 description ClientA sur Paris
```

# Le filtrage des routes

Comment sélectionner les routes importées ou exportées (pour mettre en place la politique de routage) ?

- Plusieurs outils peuvent être utilisés
  - Route maps, Filter lists, Prefix lists, Distribute lists
- Ordre de préférence en entrée (Cisco)
  - 1 Route maps
  - 2 Filter lists
  - 3 Prefix lists, Distribute lists
- Ordre de préférence en sortie (Cisco)
  - 1 Filter lists
  - 2 Route maps
  - 3 Advertise maps
  - 4 Prefix lists, Distribute lists

# Les route maps

- Outil permettant de spécifier des routes, de les filtrer et d'y appliquer des actions
  - Spécifier des routes (conditions)
  - Les filtrer ('permit' ou 'deny')
  - Y appliquer des paramètres (métrique, *next-hop*, ...)
- Exemple

```
route-map titi permit 10
match ip address 147.127.0.0/16
route-map toto permit 10
match ip address 192.70.110/24
```

- La première clause qui correspond décide du résultat
  - permit ou deny
- Une route-map est ensuite associée à un voisin pour du filtrage en entrée ou sortie

```
router bgp 534
neighbor 147.127.18.98 route-map toto out
neighbor 147.127.18.98 route-map titi in
```

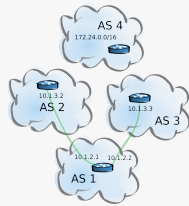
# Les route-map, un exemple

L'AS 1 préfère les routes reçues de l'AS 3 à celles reçues de l'AS 2 :

```
router bgp 1
neighbor 10.1.2.2 remote-as 2
neighbor 10.1.2.2 route-map from-as2 in
neighbor 10.1.3.3 remote-as 3
neighbor 10.1.3.3 route-map from-as3 in
route-map from-as2 permit 10
set local-preference 200
route-map from-as3 permit 10
set local-preference 300
```

```
bgp># sh ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 192.168.0.5
Status codes: s suppressed, h history, * valid, > best,
               i internal, r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
* 172.24.0.0	10.1.2.2		200	0 2 4 i	
*> 10.1.3.3	10.1.3.3		300	0 3 4 i	



# Les différents types de match

Une route peut être filtrée selon les paramètres suivants

- En fonction du chemin des AS traversés

```
match as-path 10 20
```
- Selon la présence d'une communauté ou non

```
match community ma-communaute
```
- En fonction d'une adresse ou d'une *access-list*

```
match ip maliste
```
- En fonction du *next-hop*

```
match ip next-hop a.b.c.d
```
- En fonction de la métrique

```
match metric 5
```
- En fonction de la préférence locale

```
match local-preference
```

# Les différentes actions

Un certain nombre d'actions peuvent être menées sur une route validée, par exemple

- Allonger le chemin

```
set as-path prepend <n>
```
- Inclure une communauté dans les attributs

```
set community <com>
```
- Associer la préférence locale à une route

```
set local-preference <lp>
```
- Spécifier la MED associée à une route

```
set set metric <med>
```
- Définir l'adresse du prochain routeur IPv4

```
set ip next-hop <a.b.c.d>
```

# Les listes d'accès et de préfixes

## Deux outils de filtrage sur les adresses

- Les `access-list` permettent de valider ou non un réseau

```
access-list alin filter deny 192.168.0.0/16
access-list alout filter permit 147.127.0.0/24
```

Historiquement prévue pour le filtrage des paquets. À éviter donc.

- Les `prefix-list` permettent de spécifier des séquences (ordonnées) de préfixes (de tailles variables)

```
ip prefix-list tutu seq 10 deny 192.168.0.0 ge 16
ip prefix-list tutu seq 20 permit 147.127.0.0/24
ip prefix-list tutu seq 20 deny any
```

## On peut alors les utiliser pour un pair

```
router bgp 534
 neighbor 147.127.18.99 prefix-list toto out
 neighbor 147.127.18.99 prefix-list titi in
```

```
router bgp 534
 neighbor 147.127.18.99 access-list alin in
 neighbor 147.127.18.99 access-list alout out
```

- [1] R. Aggarwal and K. Kompella.  
Advertising a Router's Local Addresses in OSPF Traffic Engineering (TE) Extensions.  
Technical Report 5786, March 2010.
- [2] L. Berger, I. Bryskin, A. Zinin, and R. Coltun.  
The OSPF Opaque LSA Option.  
Technical Report 5250, July 2008.
- [3] H.W. Braun.  
NSFNET routing architecture.  
Technical Report 1093, IETF, February 1989.
- [4] R.W. Callon.  
Use of OSI IS-IS for routing in TCP/IP and dual environments.  
Technical Report 1195, December 1990.  
Updated by RFC 1349.
- [5] R. Chandra and J. Scudder.  
Capabilities Advertisement with BGP-4.

Technical Report 2842, Internet Engineering Task Force, May 2000.  
Obsoleted by RFC 3392.

- [6] R. Coltun.  
The OSPF Opaque LSA Option.  
Technical Report 2370, July 1998.  
Obsoleted by RFC 5250, updated by RFC 3630.
- [7] R. Coltun and V. Fuller.  
The OSPF NSSA Option.  
Technical Report 1587, March 1994.  
Obsoleted by RFC 3101.
- [8] W.J. Croft and J. Gilmore.  
Bootstrap Protocol.  
RFC 951 (Draft Standard), September 1985.  
Updated by RFCs 1395, 1497, 1532, 1542, 5494.
- [9] S. Deering and R. Hinden.  
Internet protocol, version 6 (ipv6) specification.

RFC 1883, Internet Engineering Task Force, December 1995.

- [10] R. Droms.  
Dynamic Host Configuration Protocol.  
Technical Report 1541, October 1993.  
Obsoleted by RFC 2131.
- [11] R. Droms.  
Dynamic Host Configuration Protocol.  
Technical Report 2131, March 1997.  
Updated by RFCs 3396, 4361, 5494.
- [12] C. Hedrick.  
RFC 1058 : Routing information protocol.  
Technical report, Rutgers University, June 1988.
- [13] K. Lougheed and Y. Rekhter.  
Border Gateway Protocol (BGP).  
Technical Report 1163, June 1990.  
Obsoleted by RFC 1267.

- [14] K. Lougheed and Y. Rekhter.  
RFC 1267 : A border gateway protocol 3 (BGP-3).  
Technical report, cisco Systems ; T.J. Watson Research Center, IBM Corp., October 1991.
- [15] G. Malkin.  
RFC 1388 : Rip version 2, carrying additional information.  
Technical report, Xylogics, Inc., January 1993.
- [16] G. McGregor.  
The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP).  
Technical Report 1332, May 1992.  
Updated by RFC 3241.
- [17] D.L. Mills.  
Exterior Gateway Protocol formal specification.  
Technical Report 904, IETF, April 1984.
- [18] J. Moy.  
RFC 1131 : The OSPF specification.  
Technical report, IETF, October 1989.

- [19] J. Moy.  
Multicast Extensions to OSPF.  
Technical Report 1584, March 1994.
- [20] J. Moy.  
Extending OSPF to Support Demand Circuits.  
Technical Report 1793, April 1995.  
Updated by RFC 3883.
- [21] J. Moy.  
OSPF Standardization Report.  
Technical Report 2329, IETF, April 1998.
- [22] J. Moy.  
OSPF Version 2.  
Technical Report 2328, IETF, April 1998.
- [23] J. Rekhter.  
EGP and policy based routing in the new NSFNET backbone.  
Technical Report 1092, IETF, February 1989.

- [24] Y. Rekhter and P. Gross.  
Application of the Border Gateway Protocol in the Internet.  
Technical Report 1655, July 1994.  
Obsoleted by RFC 1772.
- [25] Y. Rekhter and P. Gross.  
Application of the Border Gateway Protocol in the Internet.  
Technical Report 1772, Internet Engineering Task Force, March 1995.
- [26] Y. Rekhter and T. Li.  
A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4).  
Technical Report 1654, July 1994.  
Obsoleted by RFC 1771.
- [27] Y. Rekhter and T. Li.  
A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4).  
Technical Report 1771, Internet Engineering Task Force, March 1995.  
Obsoleted by RFC 4271.

- [28] Y. Rekhter, T. Li, and S. Hares.  
A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4).  
Technical Report 4271, January 2006.  
Updated by RFCs 6286, 6608, 6793, 7606, 7607, 7705.
- [29] P. Traina.  
BGP-4 Protocol Document Roadmap and Implementation Experience.  
Technical Report 1656, July 1994.  
Obsoleted by RFC 1773.