

# Réseaux

## Protocole Internet : routage et IPv6

IUT-2  
Département Informatique

25 février 2025

# Sommaire

Principe du routage IPv4

Protocole Internet (IP) : IPv6

Glossaire52

# Sommaire

## Principe du routage IPv4

Définition du routage

Acheminement

Algorithme de routage

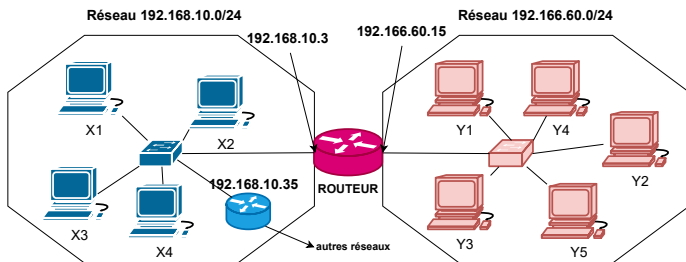
## Protocole Internet (IP) : IPv6

Glossaire52

# Routeur IP

Un **routeur IP** est un équipement connecté à plusieurs réseaux IP. Pour permettre l'acheminement des paquets d'un réseau à l'autre, il possède :

- ▶ une adresse logique (IP) dans chacun des réseaux auquel il est connecté.
- ▶ une adresse physique (MAC) dans chacun des réseaux auquel il est connecté.



# Rôle du routeur

À chaque réception d'un paquet, le routeur choisi vers quel routeur retransmettre le paquet entrant pour que celui-ci arrive à destination.

- ▶ En IP (mode **commuté**), le choix est effectué indépendamment pour chaque paquet.
- ▶ Ce choix est effectué en se servant d'informations contenues dans une **table de routage**.
- ▶ Les entrées d'une table de routage sont renseignées soit manuellement, soit automatiquement à l'aide d'**algorithmes de routage** en se basant sur différents critères (débit possible, disponibilité de la ligne, taux d'erreurs, nombre de nœuds intermédiaires. . .)

Fonctions d'un routeur :

- ① transmission des paquets (*datagram forwarding*),
- ② mise à jour des tables de routage (algorithme de routage).

# Routage IP

## Principe

lorsqu'un paquet IP arrive dans un routeur, celui-ci retransmet le paquet soit :

- ▶ directement à la station destinataire si celle-ci est connectée au routeur (elle est dans un même réseau) ;
- ▶ vers un autre routeur auquel il est directement connecté. . .le routage se fait « de proche en proche ».

## Table de routage

La détermination de la route suivante se fait par une table de routage :

- ▶ Table de correspondance entre adresse de réseau destinataire et routeur suivant (avec interface d'envoi de la trame).

Toute station d'un réseau IP a une table de routage, en particulier la station source.

## Table de routage : Rappel

Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.168.10.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
192.166.60.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth1
0.0.0.0	192.168.10.35	0.0.0.0	eth0

Combien d'interfaces possède la station ?

Quelle ligne de la table permet de savoir où serait envoyé :

- ▶ 192.168.10.56
- ▶ 192.168.11.56
- ▶ 192.166.60.0

# Sommaire

## Principe du routage IPv4

Définition du routage

Acheminement

Algorithme de routage

## Protocole Internet (IP) : IPv6

Glossaire52



# Acheminement des paquets

Actions effectuées lors de la réception d'un paquet :

- ① extraction de l'adresse de destination,
- ② recherche dans la table de routage,
- ③ retransmission du paquet vers le prochain routeur
- ④ le paquet est inchangé par l'acheminement (sauf le champ TTL)

# Algorithme de sélection dans la table de routage

## Principe

Pour chaque paquet à envoyer, chaque ligne est essayée successivement jusqu'à trouver une correspondance entre l'adresse IP destinataire et une adresse réseau de la colonne Destination.

## calcul de correspondance

Si  $(\text{adrIP-dest} \&\& \text{Genmask}) == \text{adrDestination}$  alors Trouvé  
( $\&\&$  = ET logique)

- ▶ adrIP-dest est l'adresse IP de la machine destinatrice contenue dans le champ @destination du paquet à acheminer.
- ▶ adrDestination est la valeur de la colonne **Destination** de la ligne de la table de routage (c'est une adresse de réseau).

Quand le champ Destination est à 0.0.0.0, c'est pour indiquer le routeur à utiliser pour toutes les adresses non identifiées dans les autres lignes (routage par "défaut").

## Exemple

Soit le paquet IP à destination de 192.168.141.7 par un routeur dont la table est :

Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.168.143.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
192.168.128.0	0.0.0.0	255.255.240.0	eth1
192.168.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	eth2

Et le calcul

Si  $(\text{adrIP-dest} \&\& \text{Genmask}) == \text{adrDestination}$  alors Trouvé

Comparaison avec la 1<sup>re</sup> ligne

- ①  $192.168.141.7 \&\& 255.255.255.0 = 192.168.141.0$
- ②  $192.168.141.0 \neq 192.168.143.0$

Comparaison avec la 2<sup>me</sup> ligne

- ①  $192.168.141.7 \&\& 255.255.240.0 = 192.168.128.0$
- ②  $192.168.128.0 = 192.168.128.0 \rightarrow$  le paquet est redirigé vers l'interface eth1

## Routage depuis une station pc-dg-xxx-yy

Commande ip route :

```
default via 192.168.141.19 dev eth0
```

```
192.168.141.0/24 dev eth0 ...
```

Commandes netstat -rn ou /sbin/route

Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.168.141.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
0.0.0.0	192.168.141.19	0.0.0.0	eth0

Si le destinataire du paquet est une machine du réseau 192.168.141.0/24, c'est une station du même réseau que la station pc-dg-xxx-yy :

- ▶ La station pc-dg-xxx-yy envoie le paquet IP par l'interface eth0 directement au destinataire : il n'y a donc pas de routeur à utiliser (Gateway = 0.0.0.0).
- ▶ L'@MAC destination de la trame envoyée est obtenue à partir de l'adresse IP du destinataire en faisant appel au protocole ARP.

Dans tous les autres cas (le destinataire du paquet est une machine d'un autre réseau), le paquet sera redirigé vers le routeur d'@IP : 192.168.141.19 (nom : sw-dg-040d-1-tx), par la même interface eth0.

# Méthode de routage : *Longest Match Routing Rule*

## Routage vers le réseau le plus spécifique

Une adresse destination peut correspondre à plusieurs réseaux connus d'un routeur. Dans ce cas c'est le réseau qui 'match' le plus grand nombre de bits (le plus spécifique) qui est choisi. C'est la règle du "*Longest Match*" [rfc, 1995].

## Exemple

Soit le paquet IP à destination de 10.144.2.5

Le routeur a dans sa table : 10.144.2.0/24, 10.144.0.0/16 et 10.0.0.0/8

C'est le réseau 10.144.2.0/24 qui sera choisi, car c'est lui qui aura le plus de bits en commun avec l'adresse IP de destination.

## Organisation de la table de routage

En interne, les tables sont triées par ordre décroissant de préfixe.

Ainsi dès qu'un réseau est trouvé pas la peine de chercher plus loin étant donné que les réseaux suivants ont un préfixe plus petit.

# Organisation de la table de routage

Table triée par préfixe décroissant

Destination	Genmask
192.168.143.0	255.255.255.0
192.168.128.0	255.255.240.0
192.168.0.0	255.255.0.0

Table non triée

Destination	Genmask
192.168.0.0	255.255.0.0
192.168.143.0	255.255.255.0
192.168.128.0	255.255.240.0

Dans la table non triée, la première ligne sera associée avant toutes les autres.

# Agrégation et CIDR

L'agrégation des adresses Classless Inter-Domain Routing (CIDR) [Fuller et Li, 2006] permet la prévention de l'augmentation de la taille des tables de routage :

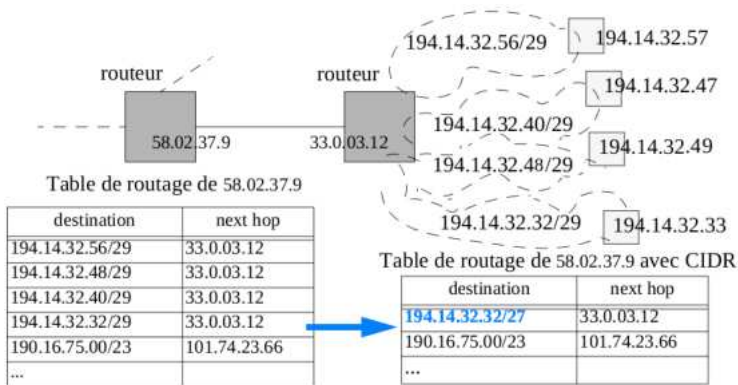


schéma de B. Cousin

# Exemples de table de routage

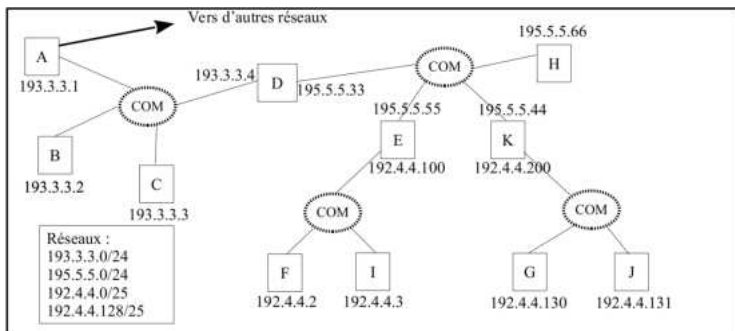


Table de routage de la machine B

Destination	Gateway	Genmask	Iface
193.3.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
195.5.5.0	193.3.3.4	255.255.255.0	eth0
192.4.4.0	193.3.3.4	255.255.255.0	eth0
0.0.0.0	193.3.3.1	0.0.0.0	eth0

Table de routage de la machine D

Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.4.4.0	195.5.5.55	255.255.255.128	eth1
192.4.4.128	195.5.5.44	255.255.255.128	eth1
193.3.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
195.5.5.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth1
0.0.0.0	193.3.3.1	0.0.0.0	eth0



## Routage à travers la station D

Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.4.4.0	195.5.5.55	255.255.255.128	eth1
192.4.4.128	195.5.5.44	255.255.255.128	eth1
193.3.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
195.5.5.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth1
0.0.0.0	193.3.3.1	0.0.0.0	eth0

Cas d'un paquet émis par B vers H (@IP= 195.5.5.66) :

- ▶  $195.5.5.66 \&\& 255.255.255.0 = 195.5.5.0 \rightarrow \text{Gateway} = 0.0.0.0$

C'est un acheminement direct de D au destinataire H puisqu'ils sont sur un **même réseau** : 195.5.5.0/24.

Cas d'un paquet émis par B vers F :

- ▶  $192.4.4.2 \&\& 255.255.255.128 = 192.4.4.0 \rightarrow \text{Gateway}=195.5.5.55$

C'est un acheminement vers un autre routeur (station E sur le réseau 195.5.5.0/24), car le destinataire F n'est pas situé sur un même réseau que D.

# Paquets perdus, intérêt du TTL

Certains paquets peuvent errer dans le réseau.

La durée de vie des paquets est donc volontairement limitée. En IP :

- ▶ chaque paquet est muni d'un champ spécifique : Time-To-Live (TTL),
- ▶ initialisé à une certaine valeur (p.ex. 64) : sa durée de vie maximale,
- ▶ décrémentée à chaque passage de routeur,
- ▶ le paquet est détruit lorsque la valeur devient nulle.

# Sommaire

## Principe du routage IPv4

Définition du routage

Acheminement

Algorithme de routage

## Protocole Internet (IP) : IPv6

Glossaire52

# Les algorithmes de routage

Deux classes d'algorithmes de routage :

- ▶ algorithmes de routage fixes (routage statique)
- ▶ algorithmes de routage adaptatifs (routage dynamique) : s'adapte aux modifications de la topologie et, plus rarement, à celles du trafic automatiquement

Les algorithmes de routage peuvent utiliser des informations :

- ▶ locales aux nœuds, par exemple le débit.
- ▶ collectées globalement, par exemple la connaissance de la topologie totale

# *Distance vector algorithm*

Procédé de routage adaptatif et réparti.

Échange d'informations synthétiques entre voisins.

Principe :

- ▶ chaque nœud connaît la distance vers tous ses voisins immédiats,
- ▶ chaque nœud échange régulièrement avec tous ses voisins ses meilleurs chemins,
- ▶ à chaque échange le nœud apprend de nouveaux chemins ou retient de meilleurs chemins.

Exemple : Routing Information Protocol (RIP) ou BGP. Simple, d'étendue limitée, mono-critère.

# RIP : Routing Information Protocol

## RIPv2 Principe [Atkinson et Baker, 1997]

- ▶ Chaque routeur communique ses routes aux routeurs voisins.
- ▶ La meilleure route d'un routeur à un réseau IP est celui ayant le minimum de **sauts** (*hops*).
- ▶ Chaque routeur conserve l'adresse du routeur voisin dont la route est la plus courte.
- ▶ Ces routes sont diffusées toutes les 30 secondes à l'adresse multicast 224.0.0.9.

# Paquet RIP de diffusion

```

0          1          2          3
0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
| commande (1) | version (1) |   domaine de routage (2)   |
+-----+-----+-----+-----+
| identifieur de famille d'@ (2) | marqueur de route (2) |
+-----+-----+-----+-----+
|                               adresse IP (4)              |
+-----+-----+-----+-----+
|                               masque de sous réseau (4)   |
+-----+-----+-----+-----+
|                               passerelle (4)              |
+-----+-----+-----+-----+
|                               métrique (4)                |
+-----+-----+-----+-----+
| identifieur de famille d'@ (2) | marqueur de route (2) |
+-----+-----+-----+-----+
|                               adresse IP (4)              |
+-----+-----+-----+-----+
|                               masque de sous réseau (4)   |
+-----+-----+-----+-----+
|                               passerelle (4)              |
+-----+-----+-----+-----+
|                               métrique (4)                |
+-----+-----+-----+-----+
| identifieur de famille d'@ (2) | marqueur de route (2) |
+-----+-----+-----+-----+
|                               etc.                        |
+-----+-----+-----+-----+
```

# RIP capture

No.	Time	Source	Destination
1	0.000000	192.168.3.1	224.0.0.9
2	21.164833	192.168.3.2	224.0.0.9

Frame 1: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: 00:77:3b:49:19:02 (00:77:3b:49:19:02), Dst: IPv4mcast\_09 (01:00:5e:00:00:09)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.3.1, Dst: 224.0.0.9

User Datagram Protocol, Src Port: router (520), Dst Port: router (520)

Routing Information Protocol

Command: Response (2)

Version: RIPv2 (2)

IP Address: 192.168.1.0, Metric: 1

Address Family: IP (2)

Route Tag: 0

IP Address: 192.168.1.0

Netmask: 255.255.255.0

Next Hop: 0.0.0.0

Metric: 1

0000	01 00 5e 00 00 09 00 77 3b 49 19 02 08 00 45 c0	..^.....W;I....E.
0010	00 34 00 00 00 00 02 11 14 47 c0 a8 03 01 e0 00	.4.....G.....
0020	00 09 02 08 02 08 00 20 95 3c 02 02 00 00 00 02	......<.....
0030	00 00 c0 a8 01 00 ff ff ff 00 00 00 00 00 00 00	.....
0040	00 01	..



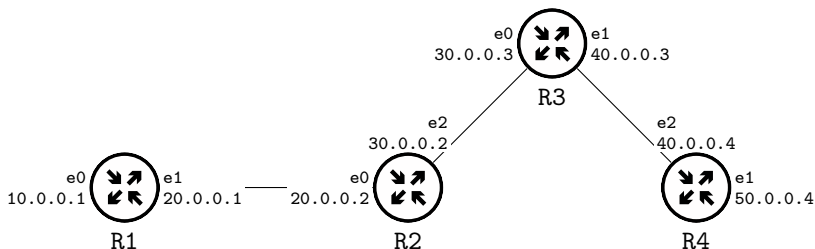
## RIP : Algorithme simplifié

Soit A le routeur recevant un vecteur  
de son voisin B pour une destination D

```
Si nb_hops[A -> D] > nb_hops[A -> B] + nb_hops[B -> D] alors
    nb_hops[A -> D] = nb_hops[A -> B] + nb_hops[B -> D]
    route[A -> D] = B
fin si
```

RIP utilise l'algorithme Bellman-Ford pour calculer les meilleures routes.

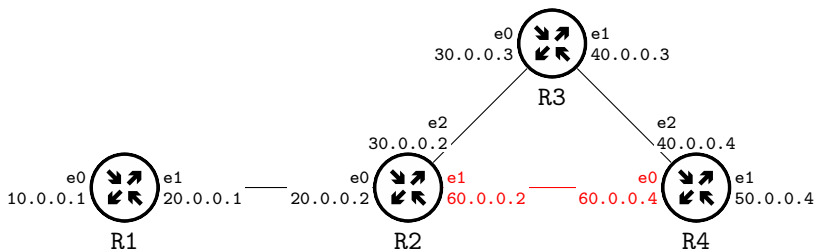
# RIP Exemple



R1			R2			R3			R4			itération
net	hops	iface	net	hops	iface	net	hops	iface	net	hops	iface	
10.0.0.0	0	e0	20.0.0.0	0	e0	30.0.0.0	0	e0	40.0.0.0	0	e2	0
20.0.0.0	0	e1	30.0.0.0	0	e2	40.0.0.0	0	e1	50.0.0.0	0	e1	
30.0.0.0	1	e1	10.0.0.0	1	e0	20.0.0.0	1	e0	30.0.0.0	1	e2	1
			40.0.0.0	1	e2	50.0.0.0	1	e1				
40.0.0.0	2	e1	50.0.0.0	2	e2	10.0.0.0	2	e0	20.0.0.0	2	e2	2
50.0.0.0	3	e1							10.0.0.0	3	e2	
												3

→ à chaque itération les tables sont partagées et les routeurs mettent à jour leur connaissance du réseau.

# RIP Exemple



R1			R2			R3			R4			itération
net	hops	iface	net	hops	iface	net	hops	iface	net	hops	iface	
10.0.0.0	0	e0	20.0.0.0	0	e0	30.0.0.0	0	e0	40.0.0.0	0	e2	0
20.0.0.0	0	e1	30.0.0.0	0	e2	40.0.0.0	0	e1	50.0.0.0	0	e1	
30.0.0.0	1	e1	10.0.0.0	1	e0	20.0.0.0	1	e0	30.0.0.0	1	e2	1
40.0.0.0	2	e1	40.0.0.0	1	e2	50.0.0.0	1	e1				
50.0.0.0	3	e1	50.0.0.0	2	e2	10.0.0.0	2	e0	20.0.0.0	2	e2	2
									10.0.0.0	3	e2	3
...			...			...			...			...
50.0.0.0	2	e1	50.0.0.0	1	e1				10.0.0.0	2	e0	+2

→ l'ajout du réseau 60.0.0.0 a rendu les routes de R1 vers R4 plus courtes (moins de sauts). Les tables ont été mises à jour avec des routes plus courtes vers 50.0.0.0 et 10.0.0.0.

l'ajout de 60.0.0.0 n'est pas représenté dans les tables.

# RIP avantages et limites

## Avantages

- ▶ simple à mettre en œuvre
- ▶ adaptatif
- ▶ il existe une version IPv6 : RIPng

## Limites

- ▶ Sensible aux boucles de routage → le nombre de sauts est limité à 15.
- ▶ L'envoi des tables de routage en broadcast (RIPv1) ou multicast (RIPv2) consomme de la bande passante.
- ▶ RIP ne prend pas en compte les paramètres de délai et de coût. Les décisions de routage sont uniquement basées sur le nombre de sauts quelque soit la bande passante ou les délais des lignes.
  - ▶ Dans l'exemple, l'ajout du réseau 60.0.0.0 change les routes les plus courtes même si son débit peut être bien inférieur au reste des connexions.

Ces limitations sont corrigées dans le protocole Open Shortest Path First (OSPF).

## *Link state algorithm*

Procédé de routage adaptatif et réparti : échange l'état de toutes les liaisons entre tous les routeurs.

Principe :

- ▶ Diffusion de l'état de toutes les liaisons connues à tous les routeurs.
- ▶ Tous les routeurs ont une même vision de la topologie du réseau.
- ▶ Calcul local des meilleurs chemins entre le routeur et toutes les destinations.

Exemple :

- ▶ OSPF, Intermediate system to intermediate system (IS-IS)

# Routage – Bilan

Fonctions du routage :

- ① transmission des paquets (*datagram forwarding*),
- ② mise à jour des tables de routage (algorithme de routage).

La fonction de routage démarre dès la source (station).

Le routage utilise une table de routage pour prendre ses décisions.

Les informations des tables de routage sont mise à jour dynamiquement.

# Sommaire

Principe du routage IPv4

Protocole Internet (IP) : IPv6

Le Protocole IPv6

L'adressage IPv6

Assignation des adresses IPv6

Fragmentation des paquets

Glossaire52

# Les limites d'IPv4

- ▶ Adressage sur 32 bits  $\rightarrow 2^{32}$  adresses disponibles (4 milliards).
- ▶ Attribution des « lots d'adresses » et des noms de domaines de plus haut niveau par l'Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) de droit privé. Délégation aux RIR (Registres Internet Régionaux) comme RIPE-NCC en Europe.
- ▶ Depuis février 2011, l'ICANN n'a plus de lots nouveaux d'adresses disponibles. . .
- ▶ Nécessité de passer à IPv6 : déploiement par les opérateurs, technologie des routeurs à faire évoluer.

Déploiement d'IPv6 : statistiques mesurées par Google



# IPv6 : caractéristiques principales



- ▶ Standard depuis 1999, mais déploiement important depuis 2010
- ▶ Adressage sur 128 bits, soit  $2^{128} = 3,410^{38}$  adresses.
- ▶ Pas de fragmentation, pas de checksum de l'en-tête.
- ▶ Définition de plusieurs niveaux de qualité de service (QoS).
- ▶ Adresse "locale" précalculée en fe80::/10

# Sommaire

Principe du routage IPv4

Protocole Internet (IP) : IPv6

Le Protocole IPv6

L'adressage IPv6

Assignation des adresses IPv6

Fragmentation des paquets

Glossaire52

# Notation des adressages IP v6 [Deering et Hinden, 2006]

128bits organisés en 8 groupes de 16 bits séparés par des “ : ”

3FFE:0000:0000:0001:0200:F8FF:FE75:50DF

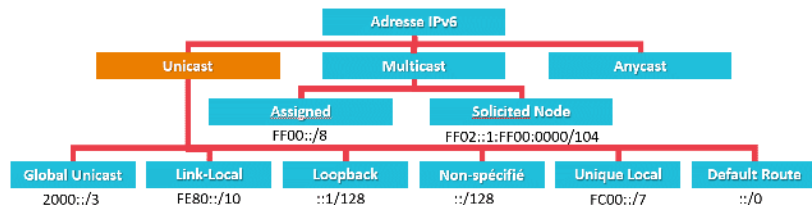
Les premiers zéros peuvent être omis

3FFE:0:0:1:200:F8FF:FE75:50DF

Un (seul) groupe de zéros contigus peut être remplacé par des “ : ”

3FFE::1:200:F8FF:FE75:50DF

# Type d'adresses IPv6



## Unicast

Identifiant pour une interface unique sur le réseau.

## Anycast

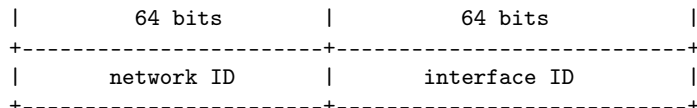
Identifiant pour un ensemble d'interfaces. Un paquet envoyé à une adresse anycast est livré à l'une des interfaces identifiées par cette adresse (la plus proche, selon la mesure de distance des protocoles de routage).

## Multicast

Identifiant pour un ensemble d'interfaces. Un paquet envoyé à une adresse multicast est livré à toutes les interfaces identifiées par cette adresse. → adresse de broadcast supprimée (uniquement du multicast).

# Format des adresses Unicast

## Global Unicast Addresses



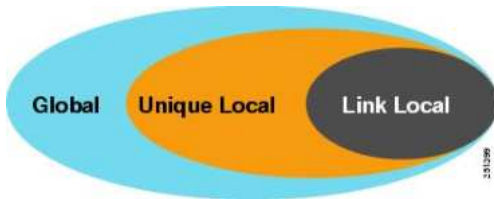
Avec network ID assigné par un administrateur

Avec interface ID assigné manuellement ou automatiquement

Méthodes possible d'assignation de l'interface ID :

- ▶ Génération de nombres aléatoires
- ▶ DHCPv6
- ▶ Extended Unique Identifier (EUI) 64 : génération à partir de l'adresse MAC de l'interface

# Type et portée des adresses Unicast



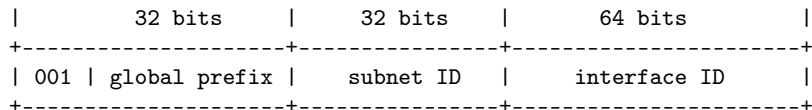
source : cisco

Type d'adresse Unicast IPv6 :

- ▶ **Global Unicast** : routable sur internet
- ▶ **Unique Local** : routable uniquement en interne (ou VPN)
- ▶ **Link Local** : non routable (mais essentiel au fonctionnement IPv6)

# Global Unicast

## Adresse Global Unicast



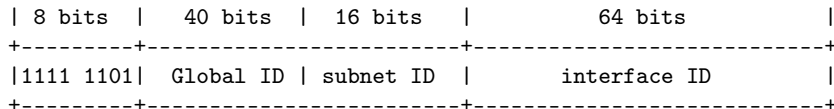
- ▶ Identifiable par les premiers bits 001 (2000::/3).
- ▶ Équivalente aux adresses IPv4 publiques.
- ▶ Routable et accessible dans l'Internet IPv6.
- ▶ Structurée de façon à permettre l'agrégation

### Exemple

2001:0DB8:BBBB:CCCC:0987:65FF:FE01:2345

# Unique Local Unicast

## *Adresse Unique Local Unicast*



- ▶ Identifiable par les premiers bits 1111 110 (FD00::/7).
- ▶ Elles sont équivalentes aux adresses IPv4 privées.
- ▶ Utilisable uniquement dans un réseau local (entreprise).
- ▶ Non routable sur internet.

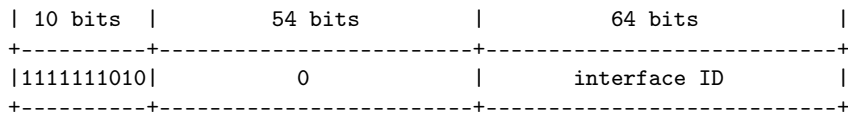
### Exemple

FD00:aaaa:bbbb:CCCC:0987:65FF:FE01:2345



# Link-Local Unicast

## Adresse Link-Local Unicast



- ▶ Identifiable par les premiers bits 1111 1110 10 (FE80::/10).
- ▶ Obligatoire pour utiliser IPv6.
- ▶ Utilisable uniquement pour une communication pair à pair dans un LAN.
- ▶ Non routable.
- ▶ Les périphériques peuvent utiliser la *Duplicate address detection* pour déterminer si l'adresse est disponible.

### Exemple

FE80:0000:0000:0987:65FF:FE01:2345

ou

FE80::987:65FF:FE01:2345

# Autres adresses unicast importantes

- ▶ *The Loopback Address* : 0:0:0:0:0:0:0:1 (ou ::1/128 )
- ▶ *The Unspecified Address* : 0:0:0:0:0:0:0:0 (ou ::/128 )
- ▶ *IPv4-mapped IPv6 address* : intègre les adresses IPv4 dans des adresses IPv6.

## EUI 64

L'adresse formée de cette manière est unique, car elle se base sur l'adresse MAC de l'interface. Il suffit de concaténer FE80::/64 avec l'adresse MAC à laquelle on ajoute une transformation pour passer de 48 à 64 bits.

Exemple : @Mac : 00:50:56:AB:FF:01 ⇒

FE80:0000:0000:0000:0250:56FF:FEAB:FF01

# Sommaire

Principe du routage IPv4

Protocole Internet (IP) : IPv6

Le Protocole IPv6

L'adressage IPv6

**Assignation des adresses IPv6**

Fragmentation des paquets

Glossaire52

Fait partie à part entière d'IPv6

remplace :

- ▶ Internet Control Message Protocol (ICMP) v4 (*Router Discovery, ICMP Redirect*)
- ▶ Address Resolution Protocol (ARP)
- ▶ et d'autres protocoles liés à IPv4

# Neighbor Discovery Protocol

Neighbor Discovery Protocol (NDP) permet aux différents nœuds d'un même réseau d'annoncer leur existence à leurs voisins et de connaître l'existence de ces derniers. Il utilise ICMPv6 et remplace plusieurs protocoles IPv4 : ARP, ICMP Router Discovery et ICMP Redirect.

- ▶ *Router discovery* : localisation des routeurs sur le réseau par une station.
- ▶ *Prefix discovery* : récupération de préfixe réseau permettant de créer une adresse globale (routable).
- ▶ *Next-hop determination* : algorithme utilisé par un nœud pour mapper une adresse de destination IPv6 en une adresse IPv6 voisine (soit le prochain saut de routeur, soit la destination elle-même) à laquelle il prévoit d'envoyer du trafic.
- ▶ *Neighbor unreachability detection* : savoir si on ne peut plus atteindre un voisin.
- ▶ *Duplicate address detection* : savoir si une adresse est déjà utilisée par un autre nœud.

Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC) permet l'assignation automatique d'adresses locales et globales. Locale :

- ▶ Génération d'une adresse locale en FE80::/10
- ▶ Vérification d'unicité de l'adresse
- ▶ Si unique alors l'interface reçoit cette adresse

Globale :

- ▶ Demande de *Router Advertisement* pour recevoir le préfixe de sous-réseau à utiliser
- ▶ Une fois le préfixe de sous-réseau reçu, l'hôte génère une adresse globale en concaténant le préfixe et l'identifiant de l'interface.
- ▶ Après vérification d'unicité, l'adresse est attribuée à l'interface.

⇒ une interface à généralement plusieurs adresses IPv6.

L'adressage automatique est aussi possible avec DHCPv6

# Sommaire

Principe du routage IPv4

Protocole Internet (IP) : IPv6

Le Protocole IPv6

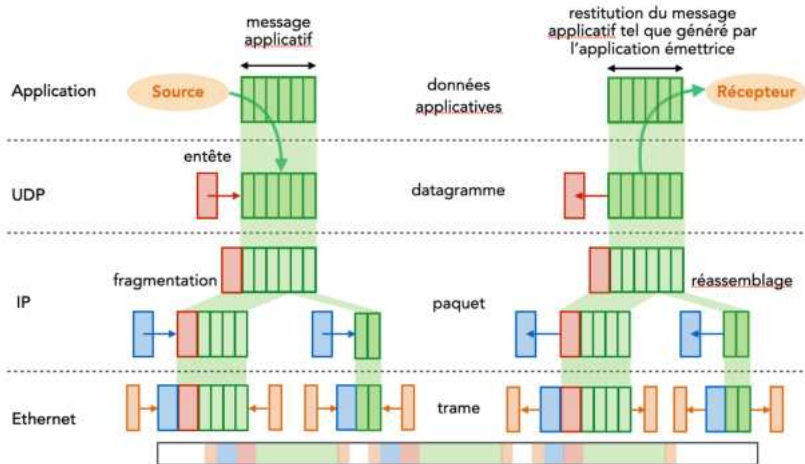
L'adressage IPv6

Assignation des adresses IPv6

Fragmentation des paquets

Glossaire52

# Fragmentation IPv4



tiré de Prometheus Spathis



# MTU discovery : IPv4

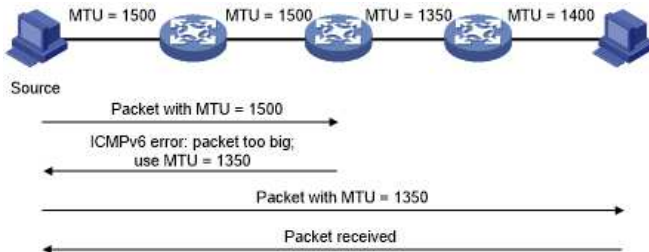
Path MTU discovery (PMTUd) est utilisé en IPv6 pour éviter la re-fragmentation des paquets. Sur un chemin le MTU minimal est employé.

En IPv4 :

- ▶ Découverte du MTU en positionnant le bit DF (*Don't Fragment*) de l'en-tête IP sur tous les paquets sortants.
- ▶ Si l'un des liens a un MTU plus petit que la taille du paquet, ce dernier sera rejeté (ICMP code 4 *Fragmentation required, and DF flag set*) .
- ▶ L'expéditeur recommence la découverte avec une taille de paquet plus petit jusqu'à convergence.

# MTU discovery : IPv6

- ▶ Envoie d'un paquet au MTU de l'expéditeur (pas de fragmentation en IPv6).
- ▶ Si l'un des liens a un MTU plus petit que la taille du paquet, ce dernier sera rejeté (ICMPv6 type 2 *Packet Too Big* qui retourne le MTU du lien en faute).
- ▶ L'expéditeur utilise le MTU renvoyé et recommence jusqu'à convergence.



# IPv6 – Bilan

- ▶ Adressage sur 128 bits, soit  $2^{128} = 3,410^{38}$  adresses.
- ▶ Pas de broadcast.
- ▶ Pas de fragmentation grâce au *Maximum Transfer Unit (MTU) discovery*.
- ▶ Adresse “locale” pré-calculée en `fe80::/10`
- ▶ Auto-configuration d'adresse routable via SLAAC.
- ▶ Déploiement d'IPv6 très inégal selon les pays.

# Glossaire I

**ARP** Address Resolution Protocol. 44

**CIDR** Classless Inter-Domain Routing. 15

**EUI** Extended Unique Identifier. 37, 42

**ICANN** Internet Corporation for Assigned  
Names and Numbers. 32

**ICMP** Internet Control Message Protocol. 44

**IS-IS** Intermediate system to intermediate  
system. 29

**MTU** Maximum Transfer Unit. 51

**NDP** Neighbor Discovery Protocol. 45

**OSPF** Open Shortest Path First. 28, 29

**PMTUd** Path MTU discovery. 49

**RIP** Routing Information Protocol. 21

**SLAAC** Stateless Address Autoconfiguration.  
46, 51

**TTL** Time-To-Live. 18

# Références I



(1995).

Requirements for IP Version 4 Routers.

[RFC 1812.](#)



Atkinson, R. et Baker, F. (1997).

RIP-2 MD5 Authentication.

[RFC 2082.](#)



Deering, D. S. E. et Hinden, B. (2006).

IP Version 6 Addressing Architecture.

[RFC 4291.](#)



Fuller, V. et Li, T. (2006).

Classless Inter-domain Routing (CIDR) : The Internet Address Assignment and Aggregation Plan.

[RFC 4632.](#)