

IPv6

Principes de base; Transition; applicatifs et Routage.



The African Network Operators' Group

Rabat, Mai 2008

aalain@trstech.net

1

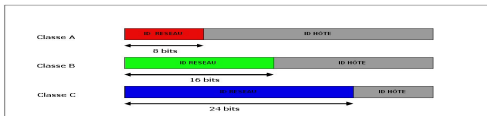
Contenu

- Problématique
- Introduction à IPv6
- Principales caractéristiques de IPv6
- Adressage IPv6
- Mécanismes de transition
- Applicatifs
- Routage

2

Introduction & Problématique(1)

- IP & les réseaux
 - IP est le coeur de Intranet et d'Internet. C'est le vecteur de communication.
- Au début, IPv4 était organisé et géré en classes prédéfinies avec des plages réseau/hôte fixes (Classes A, B, C)



127 classes A de 16 777 216 machines
16128 classes B de 65 536 machines
2 031 616 classes C de 256 machines
268 435 456 adresses de classe D (multicast)
Le reste (1/8) réservé

3

Introduction & Problématique(2)

- Une politique d'allocation d'adresse IP inefficace
 - niveau de consommation très mal maîtrisé.
 - prévision de pénurie de classes B vers 1995
- Table de routage en croissance exponentielle
 - allocation de classes C
 - temps de convergence de plus en plus élevé dans les zones sans passerelle par défaut.
 - nécessité de routeur plus performant et plus coûteux
- L'IETF inventa au milieu des années 90 l'architecture d'adressage « Classless » et le CIDR (Classless Inter Domain Routing)
- NAT mise à contribution

4

Le CIDR

- Principe de longueur variable du masque réseau
 - 41.0.0.0/8, 41.10.0.0/16, 41.10.1/24
 - 41.207.177.0/19
 - Allocation sur la base du besoin réel!
- Meilleure gestion des adresses
 - IANA → RIRs → LIRs → Utilisateurs
Finaux
- Statistique revue à la baisse.
 - pénurie d'allocation d'adresse IP en 2029?
 - diverses prévisions et pas de consensus dans la communauté

5

Autres lacunes de IPv4

- Routage inefficace
 - à base de l'adresse de destination
 - Problème de gestion de la CoS et de la QoS
 - Multicast et mobilité difficiles
 - Limites des options de l'entête IPv4 (40 octets)
 - Etc...
- Tout ceci associé aux prévisions de pénurie d'allocation d'adresse IP ont justifié le besoin d'une nouvelle génération de protocole IP.

6

IPv6

- Des travaux ont commencé au début des années 90 pour améliorer IP en général
 - IPng.
- Milieu 90s, IPv6 a été retenu comme nouvelle version de IP (RFC 1752) et adoption vers la fin des années 90.
- Le nouveau protocole va au-delà du problème du nombre d'adresse et s'attaque aux lacunes de IPv4

7

Les caractéristiques de IPv6 (1)

- Extension de la plage d'adressage
 - 32 bits → 128 bits
 - 3,4.10³⁸ possibilités d'adresses théorique
 - Plus de niveaux d'hierarchisation
- Amélioration du routage multicast avec la notion de "scope" (étendu) aux adresses multicast.
- Mécanisme d'auto configuration intégré
 - NDP
- Simplification du format des entêtes
 - 40 octets

8

Les caractéristiques de IPv6 (2)

- Mobilité
 - Intégration des fonctions mobiles
- Classification des paquets
 - Entête suivante (Next Header)
- Amélioration de la gestion des extensions et des options de paquets
 - Entête suivante (Next Header)
- Extension des fonctionnalités d'authentification et de confidentialité
 - Sécurité de Communication
 - Point à Point (pas de NAT)
 - Intégration de IPSEC dans IPv6

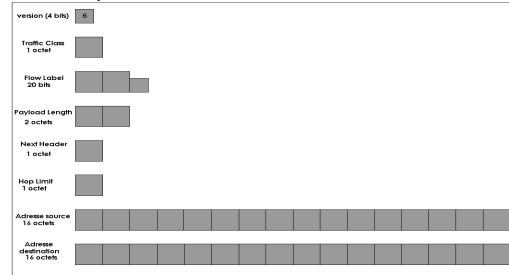
9

Structure d'une entête IPv6

Entête IPv6

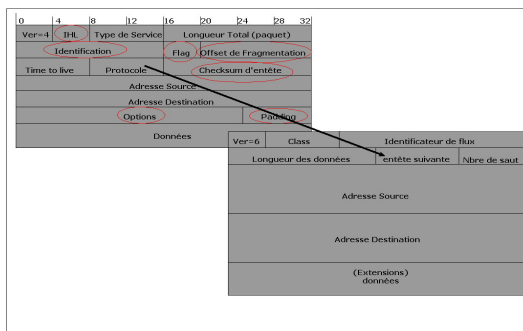
Taille fixe

- > 40 octets dont 32 sont réservés pour les adresses source et destination
- > 8 pour les autres données



10

IPv4 vs. IPv6



11

Les entêtes d'extension

- L'entête d'extension de proche en proche (Hop-by-Hop)
- L'entête d'extension de routage par la source
- L'entête d'extension d'option de destination
- Les entêtes d'extension de sécurité
 - ESP: Encapsulation Security Payload
 - AH: Authentication header

12

Les protocoles particuliers

- Améliorations apportées à ICMPv6 et le ND
 - Nouveautés dans ICMPv6
 - IGMP intégré
 - ARP/RARP intégré (ou amélioré par la ND)
 - Introduction de la notion de découverte de Voisinage
 - La notion de découverte de Voisinage (ou neighbor discovery)
 - Equivalent des protocoles V4 suivants
 - ARP, ICMP router discovery et ICMP redirect
 - Plus la détection de l'état du voisin
- Distinction entre les messages d'erreur et les messages d'information
- Autoconfiguration avec le RA(Router advertisement)
 - Stateless

13

Format des adresses IPv6

- Les adresses IPv6 sont codées sur 128 bits
 - Notation hexadécimale regroupée en mot de 16 bits:


```
xxxx:xxx:xxx:xxx:xxx:xxx:xxx:xxx
2001:0000:2ABC:0000:0000:0000:0000:0001
2001:0000:2ABC::0001
2001:0:2ABC::1
```
 - Une autre type de notation résultant de la cohabitation v4/v6


```
x.x.x.x.x.192.168.0.2 ou ::192.168.0.2
```
 - La représentation des préfixes ipv6 est similaire à celle des préfixes IPv4 en CIDR.

Le préfixe d'une adresse IPv6 est représenté par la notation suivante :
adresse-ipv6/longueur-de-préfixe.

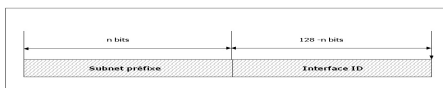
2001:0DB8:0:CD30::/60

14

Adressage IPv6

- Plusieurs type d'adresse:
 - adresses unicast:absolument unique
 - adresses anycast: un à un parmi plusieurs
 - adresses multicast:: un à plusieurs
- Format des adresses IPv6
 - n bits pour identifier le préfixe réseau
 - 128-n bits pour identifier les interfaces

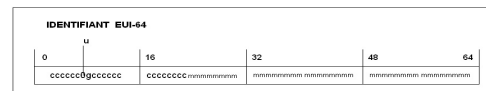
Format des adresses IPv6



15

Identifiant d'interface

- Les Identifiants d'Interfaces en adresse unicast IPv6 sont utilisés pour identifier les interfaces sur un lien.
- Ils sont censés être uniques au sein d'un sous-réseau
- Ils peuvent être aussi unique à des échelles plus étendues
- Pour toutes les adresses unicast excepté celle commençant par la valeur binaire 000, les ID d'interfaces doivent être de 64 bits, construits au format EUI-64 en inversant le bit u d'un identifiant EUI-64 .



Le « c » est le company ID et le « u » représente l'identifiant choisi par le fabricant

16

Identifiant d'interface à base d'adresse MAC

IDENTIFIANT IEEE 48-bit

0	16	32	48
cccccc0gcccccc	ccccccccmmmmmmmm	mmmmmmmmmmmmmmmm	mmmmmmmmmmmmmmmm

- En inversant le bit u et en ajoutant les deux valeurs hexadécimal 0xff et 0xfe

IDENTIFIANT EUI-64 à partir d'un IDENTIFIANT MAC

0	16	32	48	64
cccccc1gcccccc	cccccccc11111111	11111110mmmmmmmm	mmmmmmmmmmmmmmmm	mmmmmmmmmmmmmmmm

17

Adressage IPv6

- Le type d'une adresse IPv6 est identifié par les bits de niveaux élevé de l'adresse comme ci-dessous:

Type d'adresse	Préfixe (binaire)	Notation IPv6
Non spécifiée	00...0 (128 bits)	::0/128
loopback	00...1(128 bits)	::1/128
Multicast	1111 1111	FF00::/8
lien-local Unicast	1111 1110 10	FE80::/10
Global Unicast	Tout le reste	

:- Adresse de type 'non spécifié'

::1 - Adresse 'loopback'

18

Adresses Unicast

- Les adresses IPv6 unicast peuvent être agrégée avec des préfixes de longueurs variables comme en CIDR IPv4
 - Composé d'un préfixe de sous-réseau de « n » bits et d'un identifiant d'interface de « 128-n bits »

il existe plusieurs types d'adresses unicast en IPv6:

- Le global Unicast
- Site-local (déprécié par RFC 3879)
- Link-local unicast
- Il y a aussi des sous-type de global unicast comme les adresses IPv4 mappé IPv6 et les adresses anycast

19

Adresses lien-local

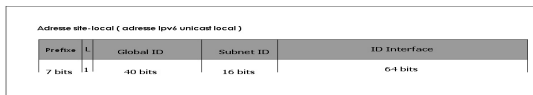
- Les adresses lien-local sont utilisées pour un lien unique. Elles ont le format ci-dessous

- Les adresses lien-local sont utilisées pour l'adressage sur un lien unique pour les besoins de configuration d'adresse automatique, la découverte des voisins ou quand aucun routeur n'est présent
- Les routeurs ne doivent pas transférer des paquets avec adresses source ou destination lien-local vers d'autres liens.

20

Adresse site-local(rfc1918 en v4)

- Désormais connu sous le nom "adresse local unique» ULA
- Format d'adresse IPv6 unicast globalement unique destiné à des communications locales et entre un nombre limité de sites
- RFC 4193
- Il est au format ci-dessous



Préfixe :FC00::7

L: 1 indique que le préfixe est assigné localement

Global ID: 40 bits d'un identifiant global utilisé pour créer un préfixe globalement unique

Subnet ID: 16 bits identifiant d'un sous-réseau au niveau d'un site

Interface ID: 64 bits identifiant l'interface

21

Adresses unicast globales

- Le format général pour une adresse IPv6 unicast globale est le suivant:

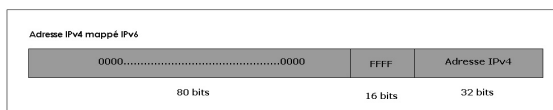


- Le préfixe de routage global est une valeur (structurée de façon hiérarchique) assignée à un site (cluster de sous-réseaux et de liens)
- Pour toutes les adresses unicast global excepté celle commençant par la valeur binaire 000 ont une interface ID sur 64 bits.

22

Adresses d'encapsulation IPv4/IPv6

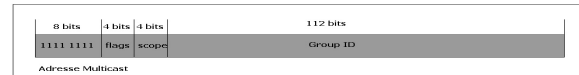
- Adresses IPv4 mappé IPv6
 - Pour représenter des noeuds uniquement IPv4.Utiliser exclusivement par les noeuds IPv6 pour les contacter



23

Multicast

- Le format général pour une adresse IPv6 multicast est le suivant:



- 4 bits → 'flag'
 - le premier bit est réservé (toujours à 0); pour le deuxième et le troisième bit voir RFC 3306 et 3956
 - Dernier T: 0: validité permanente 1: temporaire
- 4 bits → 'scope'
 - 0: réservé
 - 1: Etendu interface-local
 - 2: Etendu lien-local
 - 3: réservé
 - 4 Etendu Admin-local
 - 5: Etendu site-local
 - 8: Etendu organisation locale
 - E: Etendu global
 - F: réservé

24

Adresses Multicast prédéfinies

- FF01::1
- FF02::1

Adresses multicast identifiant le groupe de tous les noeuds IPv6 avec scope 1 (interface-local) ou 2 (link-local)

- FF01::2
- FF02::2
- FF05::2

Adresses multicast identifiant le groupe de tous les routeurs IPv6 avec scope 1 (interface-local), 2 (link-local), 5 (site-local).

- FF02::1:FFXX:XXXX

Adresse multicast sollicitation de noeud (Solicited Node multicast address)
xxxxxx représente les 24 derniers bits de l'adresse unicast ou anycast

25

Utilisation de multicast

• Broadcasts dans IPv4

Interrompt tous les ordinateurs sur le LAN même si l'intention de la demande était pour un ou deux ordinateurs
Peut complètement bloquer le réseau ("broadcast storm")

• Broadcasts dans IPv6

Ne sont pas employés, remplacés par le multicast

• Multicast

Permet une utilisation efficace du réseau

La plage d'adresses de Multicast est beaucoup plus étendue

26

Auto Configuration



L'adresse auto configurée de l'hôte est:
préfixe reçu + adresse du link-layer

Envoie l'information du réseau-type
(préfixe, route par défaut, ...)

• Un plus grand espace d'adressage offre:

L'utilisation de l'adresse physique à l'intérieur de l'espace d'adressage
Configuration automatique "sans collisions"
Offre "plug and play"

27

Renumerotation



L'adresse auto configuré de l'hôte est:
NOUVEAU préfixe reçu + MEME
adresse du link-layer

Envoie **NOUVELLE** information du réseau
(préfixe, route par défaut, ...)

Un plus grand espace d'adressage offre:

Une renumérotation utilisant des adresses auto configurées et multiples

28

Attribution d'adresse

- Le champ 64-bit de bas niveau des adresses unicast peuvent être assigné de différentes façons

IPv4 & IPv6

Configuré manuellement

Assigné via DHCP

Seul IPv6

configuration Stateless

Adresse IPv6 = /64 préfixe + EUI64 (e.g. MAC address)

Auto-génération d'un nombre pseudo aléatoire (rfc4941)

Adresse IPv6 = /64 préfixe + Random 64 bits (rfc3041)

ICMPv6 (rfc4433)

- Couvertures de dispositifs ICMP (v4)
 - Contrôle d'error, Administration, ...
- messages de transports ND
 - NS, NA, RS, RA
- messages de transports MLD
 - Requêtes, Rapports, ...

➔ Nouvelles caractéristiques !

30

ICMPv6

Prochain Entête = 58 paquet ICMPv6

31

Exemple d'utilisation ICMP : Problèmes avec le MTU

- Le lien minimum MTU pour IPv6 est de 1280 octets (contre 68 octets pour IPv4)
 - => Sur les liens MTU < 1280, le montage et la fragmentation du lien spécifique doivent être utilisés
- On s'attend à ce que des réalisations effectuent la découverte du path de MTU pour envoyer des paquets supérieur à 1280
- L'exécution minimale peut omettre la découverte de PMTU tant que tous les paquets ont gardés une taille ≤ 1280 octets
- L'option Hop-by-Hop soutient la transmission de "jumbograms" jusqu'à 2³² octets de payload

32

Découverte du Path MTU

```
D:\>ping -l 1500 toshiba-redhat
```

Pinging toshiba-redhat [3ffe:c15:c003:1114:210:a4ff:fec7:5fcf]

- 1 Request timed out.
- 2 Reply from 3ffe:c15:c003:1114:210:a4ff:fec7:5fcf : time=3ms
- 3 Reply from 3ffe:c15:c003:1114:210:a4ff:fec7:5fcf : time=3ms

```
netsh interface ipv6 show destinationcache
```

Interface 6: LAN	PMTU	Destination Address	Next Hop Address
1480	3ffe:c15:c003:1112::1		3ffe:c15:c003:1112::1

```

IPv6: Source address      = 3ffe:c15:c003:1112::1
IPv6: Destination address = 3ffe:c15:c003:1112:508a:7c62:98d3:19ea
ICMPv6: ----- ICMPv6 Header -----
ICMPv6: Type              = 2 (Packet Too Big)
ICMPv6: Code              = 0
ICMPv6: Checksum         = 0x092B
ICMPv6: MTU              = 1480
    
```

33

Neighbor Discovery (RFC 4861)

- Remplace ARP IPv4
- Ajoute en plus une fonctionnalité (ex. recherche de routeur, adressage Stateless, etc..)
- Nœud IPv6 qui partage le même médium physique(lien) utilisant la recherche du voisin (ND) pour:
 - découvrir leur présence mutuelle
 - déterminer les adresses de la couche liaison de leur voisin
 - rechercher des routeurs
 - Maintenir la portabilité de l'information des voisins (NUD)
- Définie 5 types de paquets ICMPv6
 - Sollicitation de routeur / Annonce de routeur
 - Sollicitation du voisin / Annonce du voisin
 - Redirection

34

Router Advertisements (RA)



Définition de paquets RA :
ICMP Type = 134

Src = Link-local du routeur
Dst = Multicast: tous les noeuds
Data= options, préfixe, lifetime, autoconfig flag

- Les routeurs envoient périodiquement des RA à l'adresse multicast "tous les noeuds"

35

Sollicitation du voisin

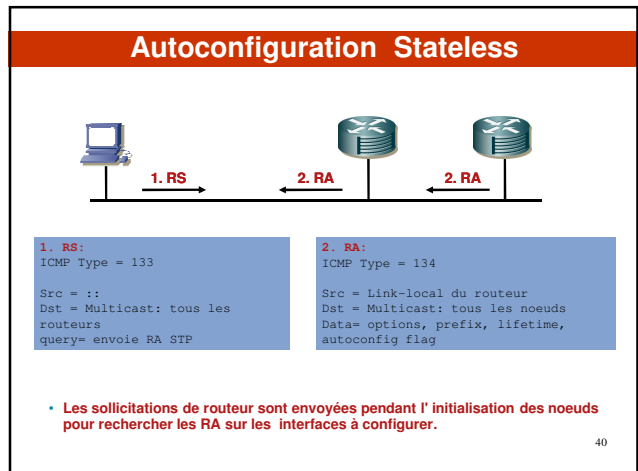
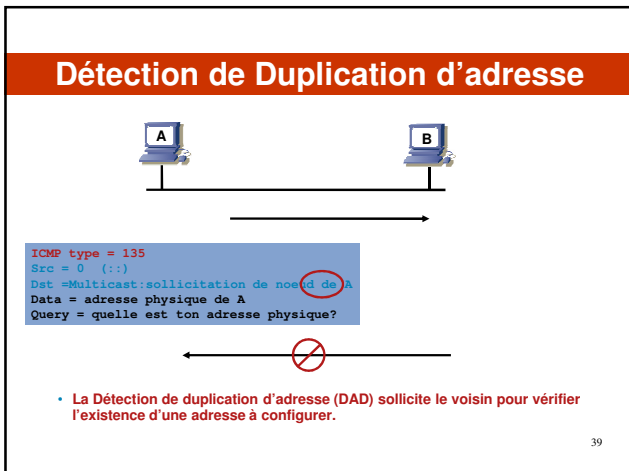
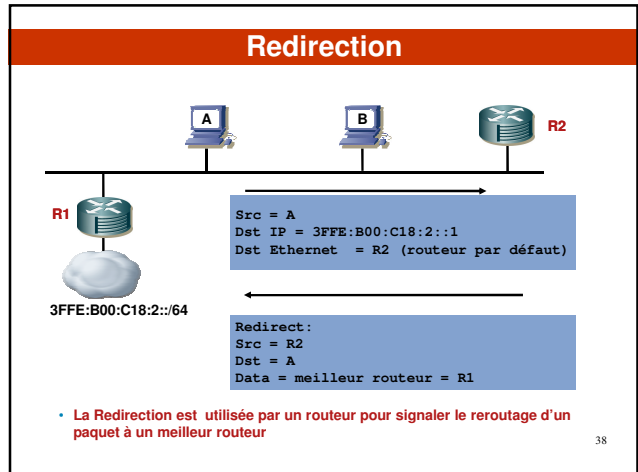
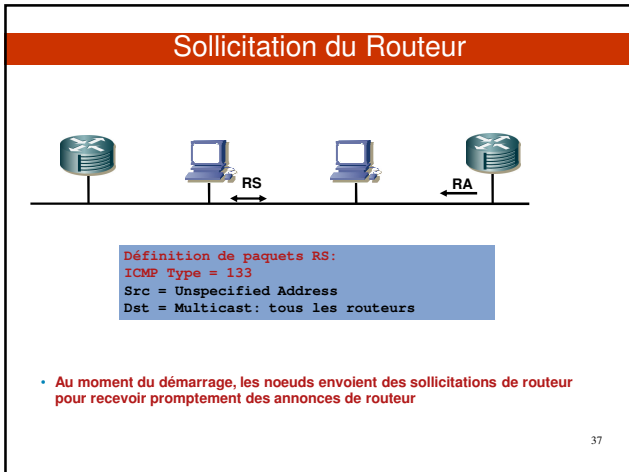


Sollicitation du voisin
ICMP type = 135
Src = A
Dst =multicast:sollicitation de noeud de B
Data =adresse physique de A
Query = quelle est ton adresse physique?

Annonce du voisin
ICMP type = 136
Src = B
Dst = A
Data = Adresse physique de B

A et B peuvent maintenant échanger des paquets sur le lien

36



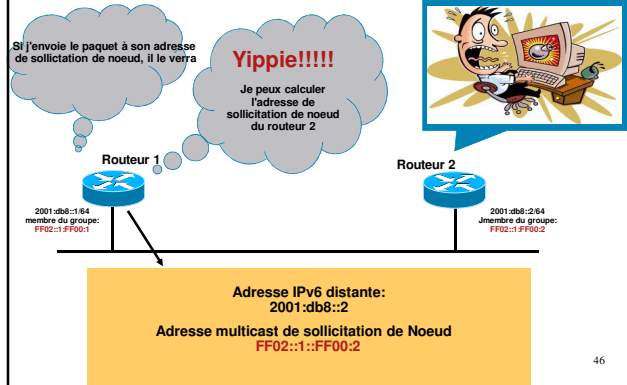
Interface du Routeur : Adresse multicast de sollicitation de noeud

```

R1#sh ipv6 int e0
Ethernet0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::200:CFE:FE3A:8B18
No global unicast address is configured
Joined group address(es):
  FF02::1
  FF02::2
  FF02::1:FF3A:8B18 ← Adresse Multicast de sollicitation de noeud
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds
ND advertised reachable time is 0 milliseconds
ND advertised retransmit interval is 0 milliseconds
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
Hosts use stateless autoconfig for addresses.
R1#
    
```

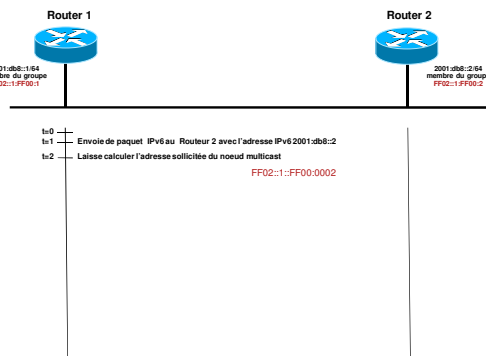
45

Résolution d'adresse niveau-2 en v6 (Cont)



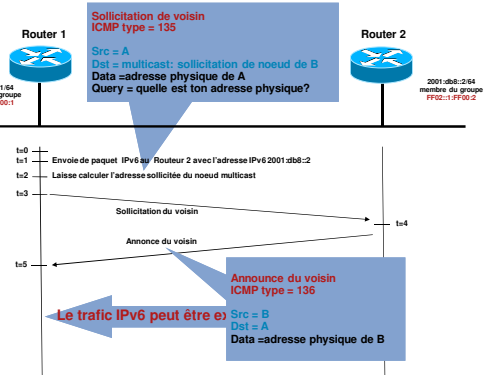
46

Résolution d'adresses niveau-2 en v6 (Cont)



47

Résolution d'adresse niveau-2 en v6(Cont.)



48

Interopérabilité & transition

- 3 grands mécanismes de transition et d'interopérabilité
- 1- Dual-stack(double pile IPv4/IPv6),
- 2- Tunnels
 - Tunnels configurés
 - Tunnels automatiques
- 3- Techniques de translation

49

Interopérabilité & transition (Dual Stack)

- Technique de la double pile
 - Communication IPv4 → IPv4
 - Communication IPv6 → IPv6
 - Peut nécessiter l'utilisation de différentes applications pour chaque version
 - Le routeur de bordure doit aussi pouvoir gérer les versions du protocole

50

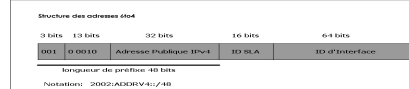
Interopérabilité & transition Tunnelling (encapsulation)

- Infrastructure de base IPv4
 - Tunneling manuel IPv6 dans IPv4: communication avec des sites IPv6 en utilisant l'infrastructure IPv4 existante.
 - IPv6-over-IPv4
 - RFC4213
 - RFC4891
 - Tunneling automatique: utilisé par les noeuds IPv6 en utilisant des structures d'adressage spécifique
 - IPv4 compatible (::l.P.v.4), 6to4, ISATAP, Teredo, etc..
 - Tunnel broker

51

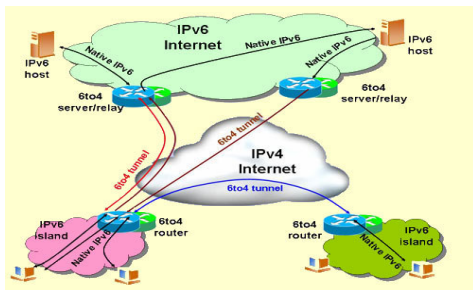
6 to 4 (1)

- Mécanisme standard de communication entre sites IPv6 sans configuration explicite de tunneling.
 - L'approche 6to4 a été conçue pour permettre à des sites IPv6 isolés de se connecter ensemble sans attendre que leurs FAI fournissent du transport v6
 - Mieux adapté pour les extranets et les VPN.
 - En utilisant des relais 6to4, les sites 6to4 peuvent aussi joindre des sites sur l'Internet IPv6
 - Communication à travers des passerelles (routeurs) spécifiques 6to4
 - Il existe plusieurs routeurs 'public' sur Internet
 - Encapsulation IPv6 dans IPv4. Au moins une adresse unicast public est requise
 - 2002::/16
 - Un préfixe anycast IPv4 a été assigné aux routeurs relais 6to4: 192.88.99.0/24



52

6to4(2)



53

Teredo

■ Teredo(RFC 4380)

- - Un service qui permet aux machines situées derrière un ou plusieurs NAT d'obtenir une connectivité IPv6 en créant un tunnel des paquets sur UDP
- - Utilise des serveurs et relais Teredo
- - Adresse Teredo sous le préfixe 2001:0000/32
- - Section 3.2.1. Quand utiliser Teredo
- - "Teredo is designed to robustly enable IPv6 traffic through NATs, and the price of robustness is a reasonable amount of overhead, due to UDP encapsulation and transmission of bubbles. Nodes that want to connect to the IPv6 Internet SHOULD only use the Teredo service as a "last resort" option: they SHOULD prefer using direct IPv6 connectivity if it is locally available, if it is provided by a 6to4 router co-located with the local NAT, or if it is provided by a configured tunnel service; and they SHOULD prefer using the less onerous 6to4 encapsulation if they can use a global IPv4 address"

54

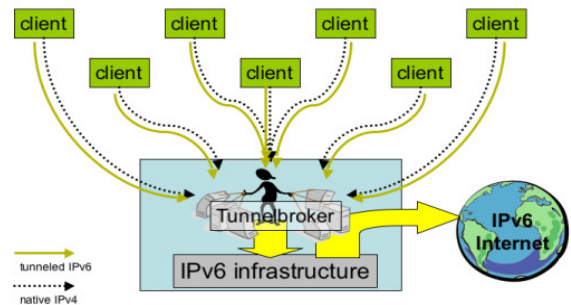
Tunnel Broker

■ Tunnel Broker(RFC 3053)

- Tunnel Broker utilise une autre approche basée sur des serveurs dédiés appelés "Tunnel Brokers" qui gèrent automatiquement les demandes de tunnel des utilisateurs
- Tunnel Broker est bien adapté pour les petits sites IPv6 isolés, et spécialement les machines IPv6 isolées sur l'Internet IPv4, qui veulent se connecter à un réseau IPv6 existant
- Tunnel Broker permet à des FAI IPv6 de facilement gérer les contrôles d'accès des utilisateurs, renforçant ainsi leur politique sur l'utilisation des ressources réseau

55

Tunnel Broker(2)



56

Tunnel Broker (3)

- La configuration automatique est généralement assurée par du Tunnel Setup Protocol (TSP), ou du TIC (Tunnel Information Control protocol).
- Un client capable de ceci est le AICCU (Automatic IPv6 Connectivity Client Utility)
- Pour régler les problèmes de tunnels à travers le NAT
 - Utiliser la DMZ du NAT comme terminaison de tunnel
 - AVIYA (Anything in Anything)
 - V6-UDP-V4 tunneling protocol de Hexago
- Le groupe de travail de l'IETF softwire essaye d'harmoniser les techniques de configuration automatique
 - <http://www.ietf.org/html.charters/softwire-charter.html>

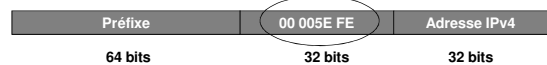
57

ISATAP(expérimental)

- Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocole
 - Tunneling pour intranet n'ayant pas de routeur IPv6
 - Intégration de l'adresse IPv4 dans l'ID Interface (64 derniers bits)
 - Présentation

'prefixe64bits::5EFE:adresseIPv4'

Format des adresses ISATAP



58

DSTM: Dual Stack Transition Mechanism

- La technique DSTM fournit une unique solution au problème de transition IPv4-IPv6. Ce mécanisme est conçu pour réduire rapidement la dépendance vis à vis du routage IPv4 et est destiné aux réseaux uniquement IPv6 où les machines ont toujours besoin occasionnellement d'échanger d'information directement avec d'autres machines ou applications IPv4.
- L'administration du réseau est simplifiée et le besoin d'adresses globales IPv4 est réduit. DSTM peut être intégré à un Tunnel Broker IPv6 pour une intégration de sécurité plus serrée.
- <http://www.ipv6.rennes.enst-bretagne.fr/dstm/>

59

Interopérabilité & transition Translation(1)

- Les "translateurs" sont des équipements capable d'assurer la translation de trafic IPv4 vers IPv6 et vice versa.
 - Supposés éliminer le besoin de double pile
 - Solution de dernier recours, car la translation interfère avec le end to end
 - Besoin de DNS ALG
 - NAT-PT
- L'utilisation des "translateurs" de protocoles crée des problèmes avec le NAT et réduit considérablement l'utilisation de l'adressage IP.

60

Obstacles au déploiement de IPv6

- Manques de stimulation
 - - Manque de demandes des clients
 - - Manque d'avantage commercial
 - - Manque d'engagements du secteur public
- Manque d'information
- Coût de migration et de déploiement

65

lectures

rfc1752
rfc 2460
rfc 4291
rfc 4193
tools.ietf.org/wg/ipv6
tools.ietf.org/wg/v6ops
<http://www.afrinic.net/IPv6/index.htm>

66