

# Le protocole IPV6

# Documentation

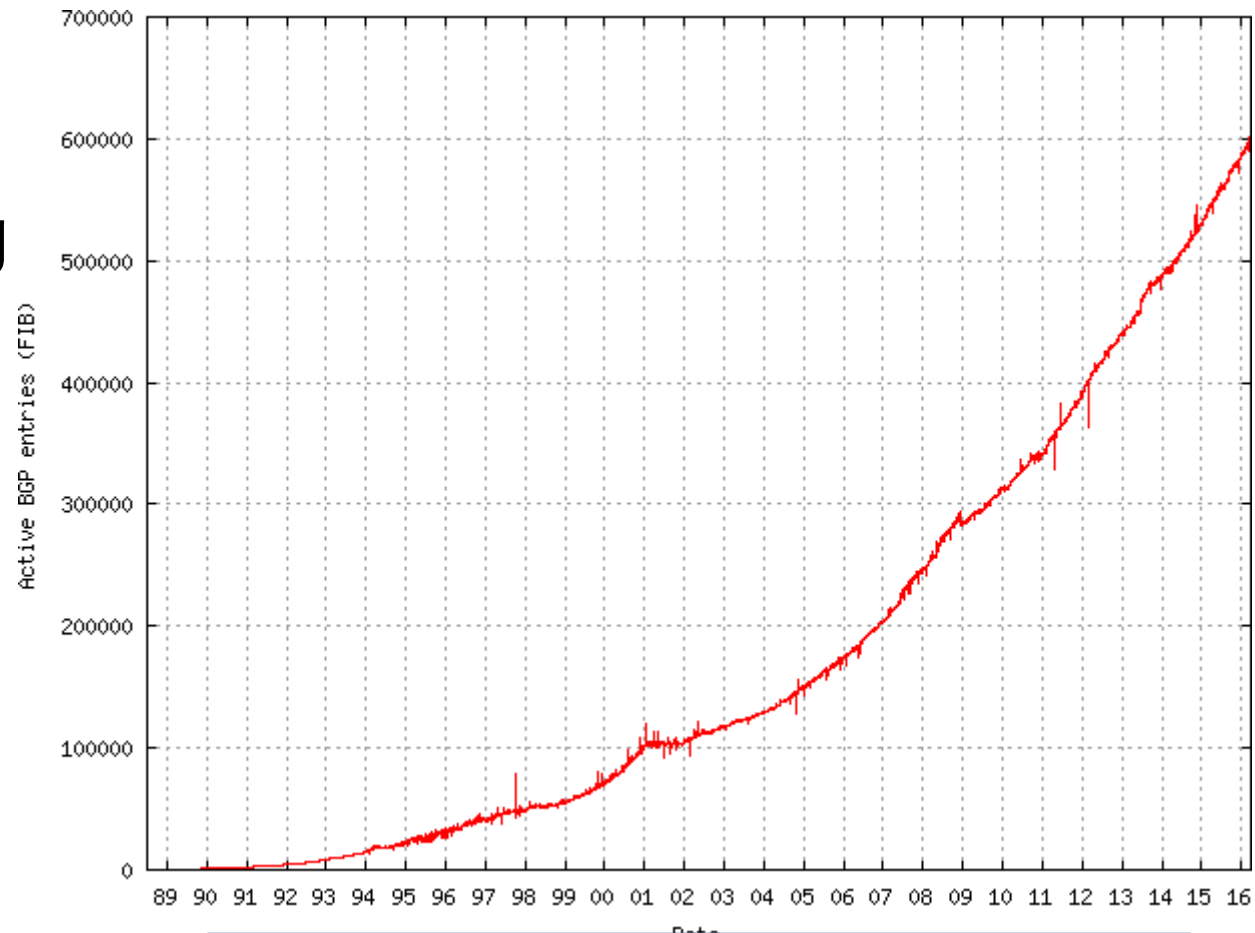
- Livre « ip v6 » du G6 : <http://livre.g6.asso.fr>
- Mooc IPV6 sur la plateforme FUN

# Protocole IPV6

- Successeur d'ip v4
- Finalisé dans la RFC 2460 (décembre 1998)
- Espace d'adressage important (adresses de 128 bits)
  - Résout l'épuisement des adresses ipv4
  - Élimine la nécessité d'utiliser du NAT (traduction d'adresses)
  - Permet plus de flexibilité dans l'attribution des adresses
  - Permet une meilleure agrégation des routes dans les tables de routage d'internet
- Mécanismes d'attributions automatiques d'adresses IP
- Intégration de la sécurité (IPSec)
- Simplification du format de l'entête

# Les problèmes de l'adressage ipv4

- La taille de la table des routages des routeurs internet augmente :
  - Pb du multihoming
  - Pb de la pénurie d'adresse (allocation de préfixes longs)



Source : <http://www.cidr-report.org>

# Adressage IPV6

- Plan d'adresse hiérarchique
- Les sites multidomiciliés ont autant d'adresses que de fournisseurs
- La renumérotation automatique permet de changer facilement de préfixes
- Les adresses sont allouées pour une durée limitée
  - Déprécié : invalidation progressive de l'adresse.  
L'interface utilise la nouvelle adresse et l'ancienne en parallèle.

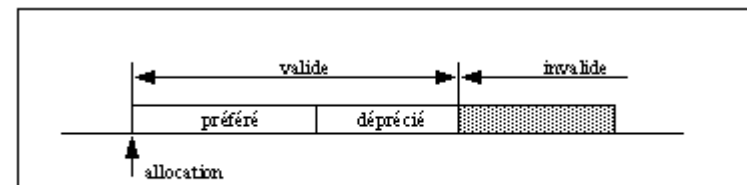
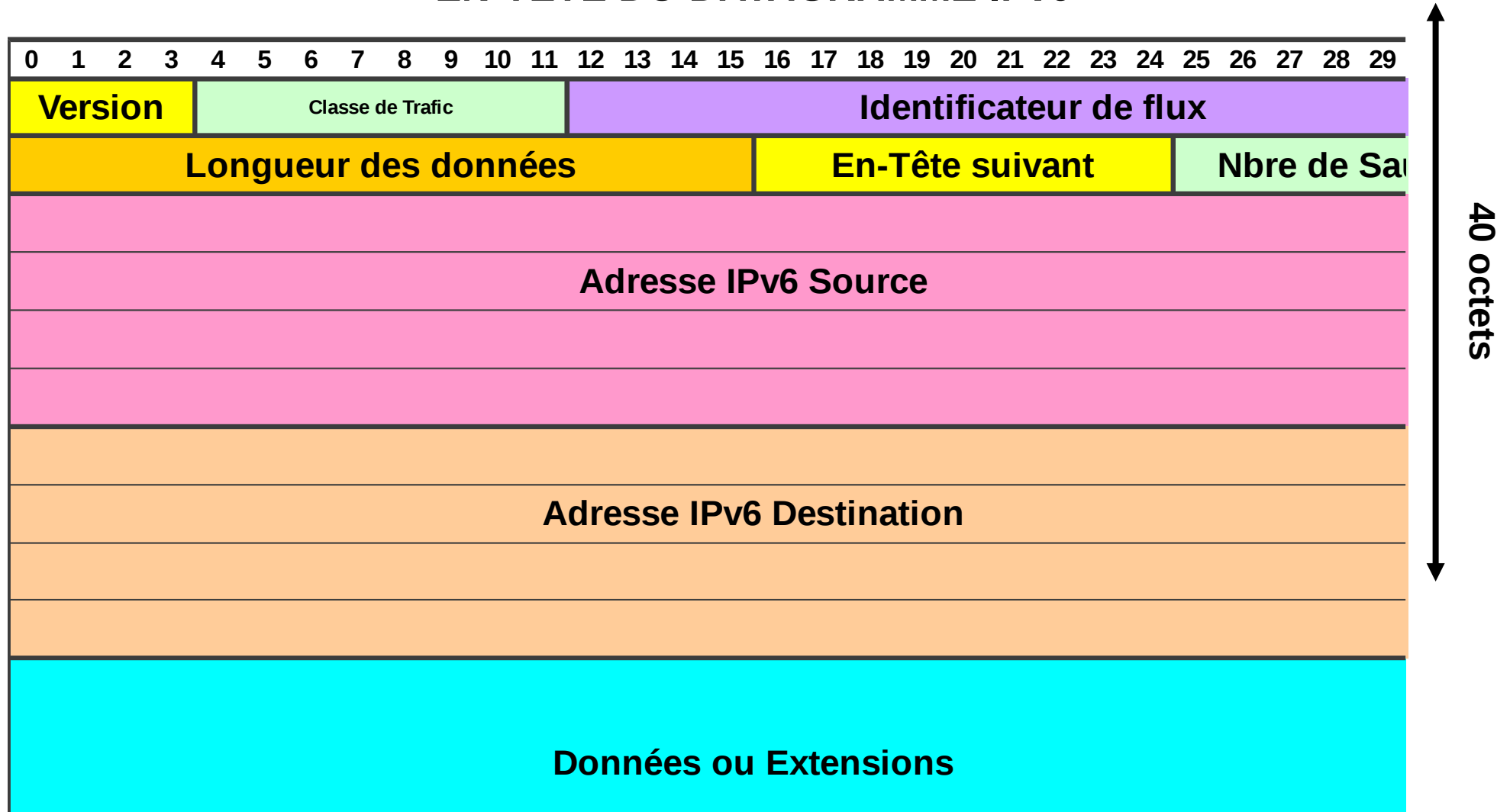


Figure 3-2. États successifs d'une adresse sur une interface.

# Le Datagramme IPv6

L'en-tête du datagramme IPv6 est le suivant :

## EN-TETE DU DATAGRAMME IPv6



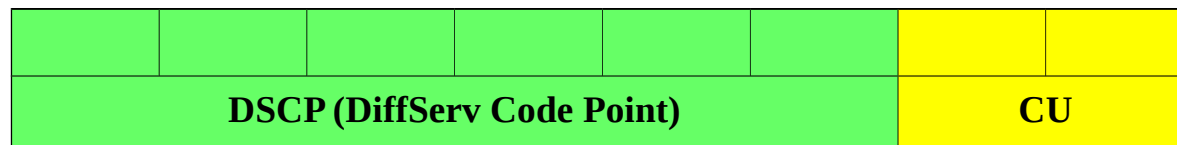
# Le Datagramme IPv6

**L'en-tête Ipv6 est simplifiée et sa longueur est fixe :**

- ✓ **Plus de checksum qui devait être recalculé par chaque routeur a cause de la modification du champ TTL.**
- ✓ **Plus de "longueur totale du datagramme" mais seulement une "longueur des données utiles".**
- ✓ **La fragmentation dans le sens Ipv4 disparaît**
- ✓ **Les champs sont alignés sur un nombre entier de mots de 64 bits pour la prise en compte des nouvelles architectures.**
- ✓ **Les options présentes dans l'en-tête IPv4 sont remplacées par des extensions.**

# Le Datagramme IPv6

- **Version** : Contient la valeur 6.
- **Classe de trafic ou priorité**. Ce champ de 8 bits correspond au champ ToS d'IPv4.



- ✓ **DSCP** : La priorité des paquets varie selon la nature des données qu'ils transportent (texte, mail, vidéo, audio, etc.). Les routeurs gèrent des files d'attente afin de répondre à ces priorités



# Le Datagramme IPv6

**De 0 à 7 pour les paquets dont le débit peut être ralenti en cas de congestion.**

- 0 : pas de priorité
- 1 : Trafic de base
- 2 : Transfert de donnée sans contrainte temporelle (e-mail)
- 3 : Réservé pour des usages futurs
- 4 : Transfert en bloc avec attente du récepteur (transfert de fichiers)
- 5 : Réservé pour des usages futurs
- 6 : Trafic interactif (Terminal virtuel, rlogin)
- 7 : Trafic pour le contrôle (routage, contrôle de flux)

**De 8 à 15 pour le débit temps réel (video, audio, téléphonie, ...)**

# Le Datagramme IPv6

✓ **CU** (Currently Unused ): Ce champ est réservé pour un futur usage ; Il devrait être utilisé par les routeurs afin de prévenir une congestion du réseau.

## ➤ **Identificateur de flux (Flow-Label)**

Ce champ contient une valeur choisie par l'émetteur ; elle peut être nulle. Cette valeur doit permettre aux routeurs de créer un contexte pour relier les messages d'une source afin de mettre en œuvre les fonctions de qualité de service (DSCP).

Note-PP : avec les les extensions chaînées, les ports tcp/udp sont moins simples à trouver. Cet identificateur de flux remplace et étend la qualité de service s'appuyant sur les No de ports

# Le Datagramme IPv6

## ➤ **Longueur des données utiles**

**Longueur des données utiles sans tenir compte de l'en-tête (disparition du champs longueur totale d'Ipv4).**

**Pour des données dont la longueur dépasse 65536 ( $2^{16}$ ) ce champ prend la valeur 0 et l'option *jumbogramme* de l'extension proche en proche est utilisée.**

# Le Datagramme IPv6

## ➤ En-tête suivant

Ce champ similaire au champ "protocole" d'Ipv4, il peut :

- ✓ Identifier le protocole de niveau supérieur (TC, ICMP, UDP,...)
- ✓ Désigner une extension (*cf. plus loin*)

Protocole	Valeur	Extension	Valeur
IPv4	4	Proche-en-proche	0
PCP	6	Routage	43
UDP	17	Fragmentation	44
IPv6	41	Confidentialité	50
ICMPv6	58	Authentification	51
		Fin des en-têtes	59

# Le datagramme IPV6 : extensions



Si d'un point de vue théorique les extensions sont supérieures aux options d'IPv4, dans la réalité très peu sont utilisées à grande échelle et restent du domaine de la recherche [source : Gizèle Cizault].

# Le Datagramme IPv6

## ➤ **Nombre de sauts**

Identique au champ TTL (*Time To Live*) d'Ipv4 qui s'exprimait théoriquement en seconde.

Ipv6 l'exprime en nombre de sauts (=nœuds). Il est décrémenté de 1 par chaque routeur traversé. Le datagramme est éliminé lorsqu'il atteint la valeur 0

Certaines valeurs initiales seront fixées par l'IANA.

La valeur par défaut : 64

# Le Datagramme IPv6

- **Adresses IPv6** (RFC 3513 et 3587)
  - ✓ **Adresse source** sur 128 bits
  - ✓ **Adresse destination** sur 128 bits

# L'adressage IPv6

L'adressage proposé par IPv6 est l'apport la plus important car il vient corriger le plus gros défaut de la norme IPv4 (nombre insuffisant d'adresses).

Comme avec IPv4, l'adresse IPv6 correspond à une **interface** (*et non une machine*).

Une interface peut avoir plusieurs adresses.

L'interface est configurée automatiquement par le routeur, de ce fait le rôle des serveurs DHCP est modifié avec IPv6 (*on parlera de DHCPv6*)



# L'adressage IPv6

## ➤ L'expression textuelle des adresses

- ✓ Elles s'étendent sur **128 bits** soit 16 octets (*au lieu de 32 bits*).
- ✓ La notation canonique complète s'exprime en hexadécimal (*au lieu du décimal*) avec un séparateur (:) tous les 2 octets, selon la trame :

**FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF**

Par exemple :

**4AD6:002A:0003:0000:0000:0000:78FF:0000**

# L'adressage IPv6

✓ Des simplifications d'écriture sont prévues.

✓ Suite de zéros :

**4AD6:2AC0:0000:0000:0000:0000:78FF:0000**

pourra s'écrire :

**4AD6:2AC0:0:0:0:0:78FF:0**

ou : **4AD6:2AC0::78FF:0**

✓ Zéros non significatifs :

**4AD6:002A:0003:0000:0000:0000:78FF:0000**

pourra s'écrire :

**4AD6:2A:3::78FF:0**

# L'adressage IPv6

✓ Attention :

**4AD6:0000:0000:23FF:0000:0000:78FF:0000**

S'écrira pour éviter les ambiguïtés :

**4AD6::23FF:0:0:78FF:0** ou

**4AD6:0:0:23FF::78FF:0**

✓ L'utilisation d'une adresse IPv6 comme nom d'hôte doit être encadrée par les caractères [ ].

Par exemple :

**http:// [4AD6:002A:0003::78FF:0000]/default.asp**

# L'adressage IPv6

✓ Les adresses particulières :

✓ Adresse de loopback (équivalente à l'adresse 127.0.0.1) :

**0:0:0:0:0:0:0:1 ou ::1**

✓ Adresse indéterminée pendant l'initialisation (DHCPv6) d'une adresse IPv6 :

**0:0:0:0:0:0:0:0 ou ::**

# L'adressage IPv6

## ➤ La structure des adresses

- ✓ **La notion de classe n'existe plus.**
- ✓ Les adresses IPv6 expriment une structure géographique et hiérarchique : Les continents, les organismes nationaux, les fournisseurs d'accès, les organisations, les sites, les réseaux locaux, les liens et enfin les interfaces.
- ✓ Comme avec IPv4, une première partie de l'adresse correspond au réseau et une seconde partie à l'interface

# L'adressage IPv6

- ✓ IPv6 reprend la notation du CIDR :

**Adresse IPv6 / Nombre de bits du préfixe réseau (\*)**

**Attention** : L'adresse est en hexadécimale alors que l'étendue exprime un nombre de bits.

- ✓ Chaque niveau inférieur ajoute son préfixe au préfixe du niveau supérieur
- ✓ Exemple :

**2000:: / 3 Global Unicast**

**2001:0600::/23 Pour les réseaux Européens**

**2001:0660::/32 Pour le fournisseur Renater**

**2001:0660:3300::/40 Pour l'université Paris Jussieu**

*(\*) Faut-il encore parler de masque ?*

# L'adressage IPv6

Allocation	Préfixe binaire	Préfixe Hexa
Réservé	0000 0000	0000 :: / 8
Non alloué	0000 0001	0100 :: / 8
Réservé pour allocation	0000 001	0200 :: / 8
Non alloué	0000 01	0400 :: / 6
Non alloué	0000 1	0800 :: / 5
Non alloué	0001	1000 :: / 4
<b>Global Unicast</b>	<b>001</b>	<b>2000 :: / 3</b>
Non alloué	010	4000 :: / 3
Non alloué	011	6000 :: / 3
Non alloué		100 8000 :: / 3
Non alloué		101 A000 :: / 3
Non alloué		110 C000 :: / 3
Non alloué		1110 E000 :: / 3
Non alloué	1111 0	F000 :: / 3
Non alloué	1111 10	F800 :: / 3
Non alloué		111110 FC00 :: / 7
Non alloué	1111 1110 0	FE00 :: / 9
<b>Link-Local Unicast Adresses</b>	<b>1111 1110 10</b>	<b>FE80 :: / 10</b>
<b>Site-Local Unicast Adresses</b>	<b>1111 1110 11</b>	<b>FEC0 :: / 10</b>
<b>MultiCast Adresses</b>		<b>11111111 FF00 :: / 8</b>

Allocation  
maintenant  
obsolète

# L'adressage IPv6

## ➤ Les types d'adresses

IPv6 reconnaît 3 types d'adresses

### ✓ L'adresse **UNICAST**

Elle correspond à **une interface**.

Le paquet sera remis à une et une seule interface.

### ✓ L'adresse **MULTICAST**

Elle correspond à **un ensemble d'interfaces**. Le paquet sera remis à toutes les interfaces qui peuvent être n'importe où sur l'Internet. Une interface peut rejoindre un groupe ou le quitter.



# L'adressage IPv6

Note : Le BROADCAST d'IPv4 disparaît dans IPv6.

## ✓ L'adresse **ANYCAST**

Elle correspond à une ensemble d'interfaces mais le paquet n'est délivré qu'à une seule interface (la plus proche en général). Elle permet d'obtenir une information détenue par plusieurs interfaces (routeurs par exemple).

# L'adressage IPv6

## ➤ Structure des adresses UNICAST

*Rappel : Une telle adresse concerne une seule interface.*

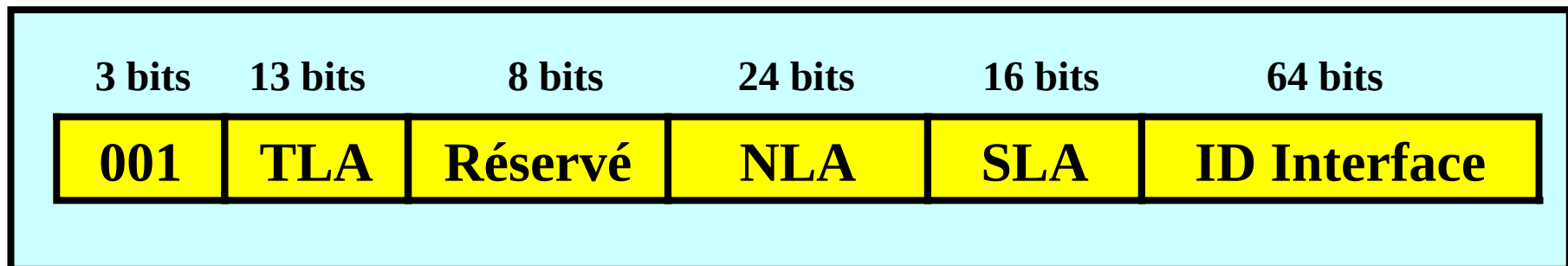
**On distingue 3 types d'adresses Unicast selon leur portée :**

- ✓ **Adresse Global Unicast (RFC 2450)**
- ✓ **Adresse de lien local -Link Local Unicast-**
- ✓ ***Adresse de site local -Unique Local Unicast- (notion obsolete)***

# L'adressage IPv6

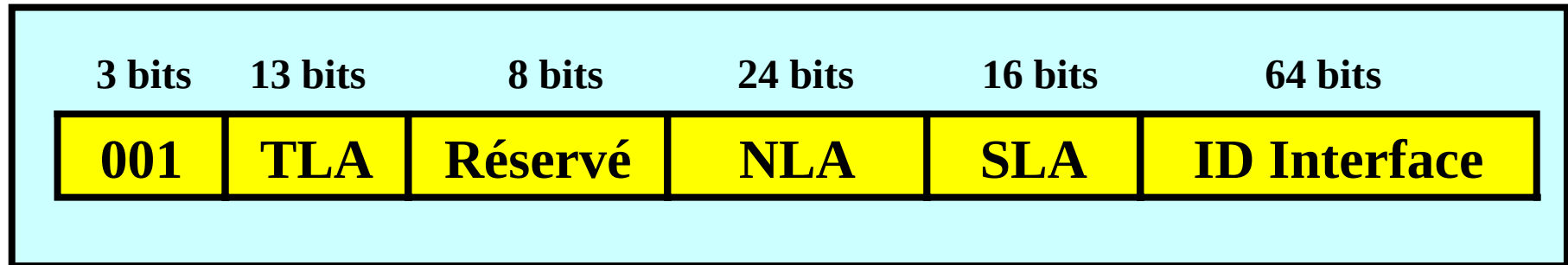
## ▪ Structure d'une adresse Global Unicast

Il s'agit du cas général d'une adresse routable sur l'Internet.



- La topologie publique utilise 48 bits (3+13+8+24)
- La topologie de site utilise 16 bits (SLA)
- La topologie d'interface 64 bits

# L'adressage IPv6



## La topologie publique (48 bits)

- Le **préfixe 2000::/3** identifie l'adressage agrégé.
- 13 bits identifient l'unité d'agrégation la plus haute (TLA : Top Level Aggregator).
- 8 bits sont réservés à un usage futur.
- 24 bits identifient l'unité d'agrégation la plus basse (NLA : Next Level Aggregator).

# L'adressage IPv6

Global Unicast Prefix	Assignment	Global Unicast Prefix	Assignment
2001:0000::/23	IANA	2001:4400::/23	APNIC
2001:0200::/23	APNIC	2001:4600::/23	RIPE NCC
2001:0400::/23	ARIN	2001:4800::/23	ARIN
2001:0600::/23	RIPE NCC	2001:4A00::/23	RIPE NCC
2001:0800::/23	RIPE NCC	2001:4C00::/23	RIPE NCC
2001:0A00::/23	RIPE NCC	2001:5000::/20	RIPE NCC
2001:0C00::/23	APNIC	2001:8000::/19	APNIC
2001:0E00::/23	APNIC	2001:A000::/20	APNIC
2001:1200::/23	LACNIC	2002:0000::/16	6to4
2001:1400::/23	RIPE NCC	2003:0000::/18	RIPE NCC
2001:1600::/23	RIPE NCC	2400:0000::/19	APNIC
2001:1800::/23	ARIN	2400:2000::/19	APNIC
2001:1A00::/23	RIPE NCC	2400:4000::/21	APNIC
2001:1C00::/22	RIPE NCC	2600:0000::/22	ARIN
2001:2000::/20	RIPE NCC	2604:0000::/22	ARIN
2001:3000::/21	RIPE NCC	2608:0000::/22	ARIN
2001:3800::/22	RIPE NCC	260C:0000::/22	ARIN
2001:3C00::/22	RESERVED	2A00:0000::/21	RIPE NCC
2001:4000::/23	RIPE NCC	2A01:0000::/23	RIPE NCC
2001:4200::/23	ARIN		

# L'adressage IPv6

Le tableau qui précède donne l'allocation des préfixes aux différents organismes régionaux, les RIRs (*Regional Internet Registries*) :

- ✓ **ARIN** (American Registry for Internet Numbers)
- ✓ **RIPE NCC** (Réseaux IP Européens - Network Coordination Centre)
- ✓ **APNIC** (Asia and Pacific Network Information Centre)
- ✓ **LACNIC** (Regional Latin-American and Caribbean IP Address Registry)

*Note : Il manque dans cette liste le continent africain.*

# L'adressage IPv6

## ▪ Structure d'une adresse de lien local

**Ce type d'adresse n'est valide que sur un même lien, sans routeur intermédiaire. Elle est créée automatiquement à l'initialisation de l'interface**

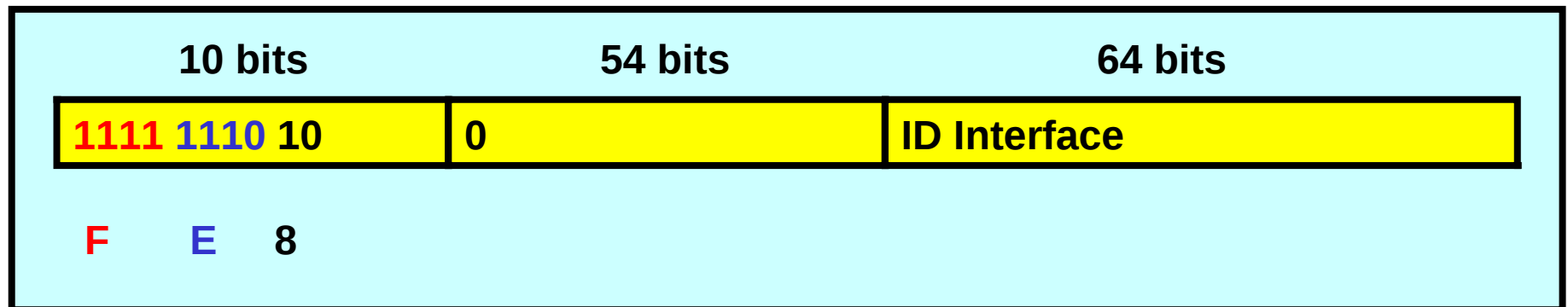
- ✓ **même réseau de couche 2 (VLAN Ethernet par ex.)**
- ✓ **extrémités d'un tunnel.**
- ✓ **connexion point à point.**

# L'adressage IPv6

## Structure d'une adresse de lien local

Le Préfixe est **FE80::/10**

Cette adresse est la concaténation du préfixe et des 64 bits de l'identifiant de l'interface.





# L'identifiant de l'interface

**L'IEEE (Institut for Electrical and Electronics Engineers)  
propose actuellement 3 identificateurs  
universels :**

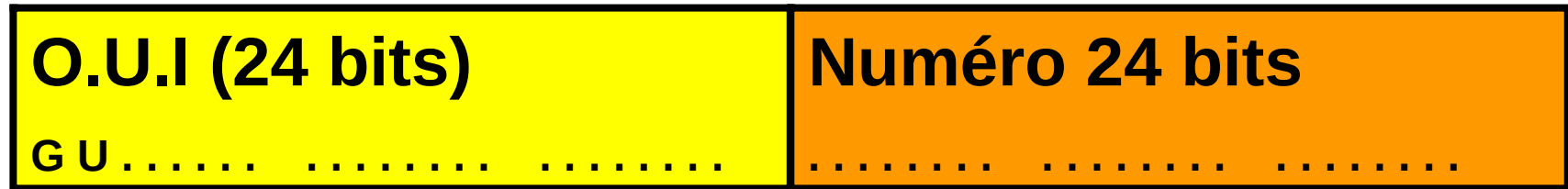
✓ **MAC-48**

✓ **EUI-48**

✓ **EUI-64**

**(EUI = Extended Unique Identifier)**

# L'identifiant de l'interface

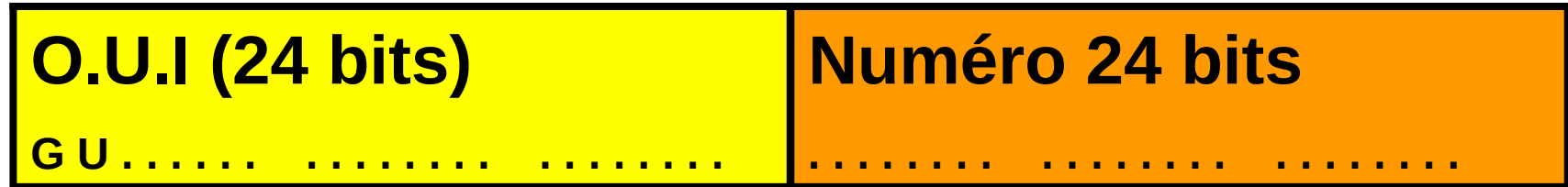


## Format d'une adresse MAC-48

- ✓ **O.U.I : Organizationally Unique Identifier attribué par l'IEEE.**
  - **Bit<sub>1</sub> G = 0 Adresse Individuelle**
  - **Bit<sub>1</sub> G = 1 Adresse collective.**

**En IPv4 : Chaque nœud programmé pour appartenir à un groupe recevra les trames qui lui sont destinées (Unicast) et celles destinées au groupe (Multicast). Pour une diffusion généralisée (Broadcast) les 48 bits sont positionnés à 1.**

# L'identifiant de l'interface



## Format d'une adresse MAC-48

- Bit<sub>2</sub> U = 1 Format propriétaire
  - Bit<sub>2</sub> U = 0 Adresse Universelle qui respecte le format de l'IEEE
- ✓ L'IEEE attribue un identificateur à chaque constructeur qui gère à son tour les 24 derniers bits.

Exemples : 00000C pour Cisco – 0000D8, 0020AF, 02608C pour 3Com – 00AA00 pour Intel etc.

# L'identifiant de l'interface

O.U.I (24 bits)

..... U G .....

Numéro 24 bits

.....

## Format EUI-48

✓ O.U.I : Même structure mais les bits U et G sont positionnés sur les 7<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> bits :

- Bit<sub>7</sub> U = 1 Format propriétaire
- Bit<sub>7</sub> U = 0 Adresse Universelle qui respecte le format de l'IEEE
- Bit<sub>8</sub> G = 0 Adresse Individuelle
- Bit<sub>8</sub> G = 1 Adresse collective.

# L'identifiant de l'interface

**Le format EUI-48 et le format MAC-48 sont sur 48 bits et sont sémantiquement identiques.**

**Le format EUI-48 est par contre un identificateur plus général pouvant identifier des logiciels comme des périphériques divers.**

# L'identifiant de l'interface

O.U.I (24 bits)

..... U G .....

Numéro 40 bits

.....

## Format EUI-64

✓ Les différences entre EUI-48 et EUI-64 :

- provient de la longueur de la seconde zone, 40 bits au lieu de 24.
- La valeur du bit U est inversée :
  - ❖ Bit<sub>7</sub> U = 0 Format propriétaire
  - ❖ Bit<sub>7</sub> U = 1 Adresse Universelle

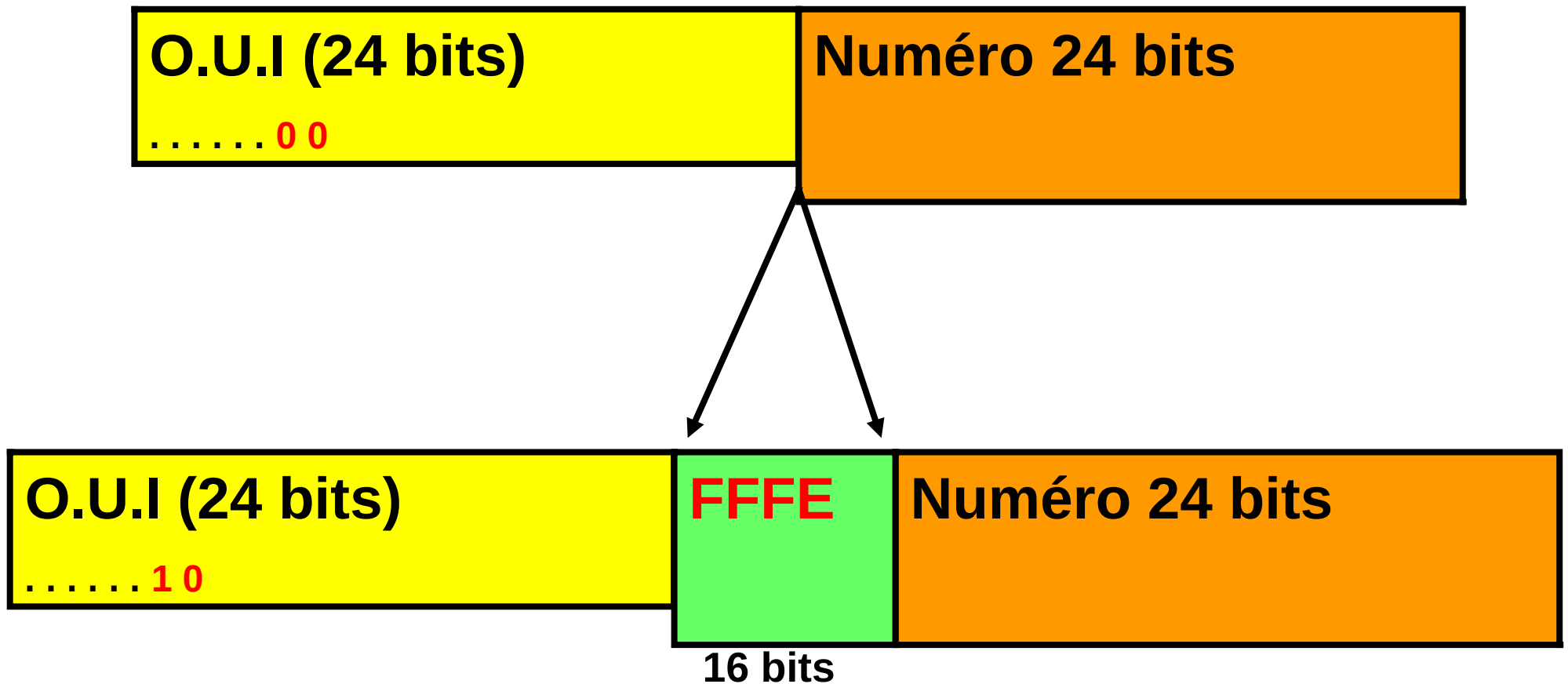
# L'identifiant de l'interface

L'identifiant garantit l'unicité mondiale de l'interface. La norme IPv6 reprend l'identifiant EUI-64 avec une légère modification. Elle a préféré **mettre le bit U à 1 pour marquer l'universalité** de l'identifiant.

De plus l'IEEE doit garantir la compatibilité entre les formats EUI-48 et EUI-64. IPv6 propose donc d'ajouter 16 bits (**FFFE en hexadécimal**) au format EUI-48.

# L'identifiant de l'interface

Passage du format EUI-48 au format EUI-64 et inversion du bit U





# L'adressage IPv6

## ➤ Exemple de configuration IPv6

```
eth0    Link encap:Ethernet Hwaddr 00:03:FF:21:9C:F6
        inet6 addr 2001:6888:1F80:2000:203:FFFF:FE21:9CF6/64 Scope:Global
        inet6 addr FE80::203:FFFF: FE21:9CF6/64 Scope:Link
```

**La première adresse correspond à une adresse globale (*valeur 2001::*). Elle est attribué par un routeur.**

**La seconde adresse correspond à une adresse de lien local (*valeur FE80::*). Elle est générée automatiquement.**

# L'adressage IPv6

## ➤ Exemple de configuration IPv6

EUI-48                    00:03:FF:21:9C:F6

Inversion du bit U :

**02**:03:FF:21:9C:F6

Passage en EUI-64 :

**02**:03:FF:**FF:FE**:21:9C:F6

Réécriture au format IPv6 (avec simplification) :

::**203**:**FFFF**:**FE21**:9CF6

2001:6888:1F80:2000:**203:FFFF:FE21:9CF6**

FE80::**203:FFFF:FE21:9CF6**

# L'adressage IPv6

## ▪ Structure d'une adresse de site local

Ces adresses devaient correspondre aux adresses privées IPv4 (172.16.0.0 par ex.).

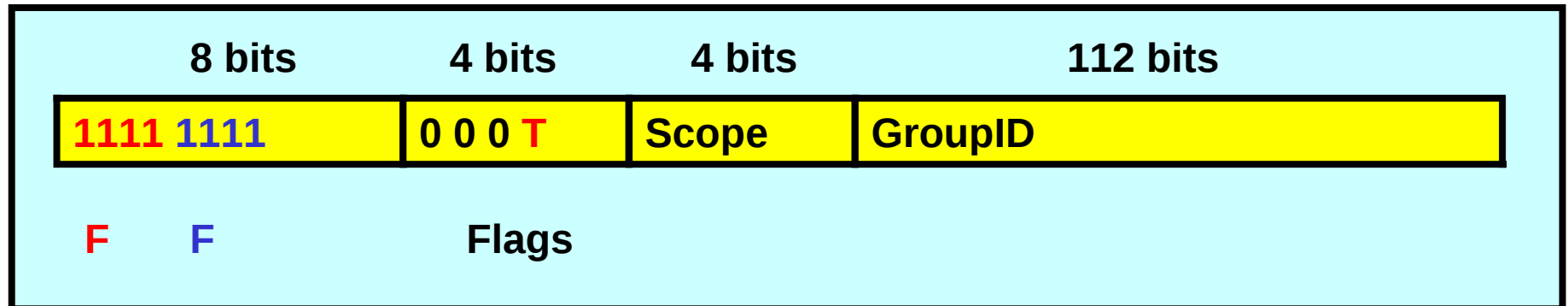
Envisagées dans un premier temps, elles ne se sont pas imposées et seront supprimées dans la version définitive d'IPv6.

La puissance de l'adressage IPv6, supprime la notion de réseau privé et par conséquent les fonctions de translation (NAT-PAT).

# L'adressage IPv6

## ➤ Structure des adresses MULTICAST

*Rappel : Une telle adresse vise plusieurs interfaces.*



**Préfixe : FF00::/8**

# L'adressage IPv6

L'adresse Multicast peut être

Permanente (T = 0) ou Temporaire (T = 1)

Une visioconférence sera par exemple temporaire

L'étendue de la diffusion sera donné par le champs *scope* :

0 = Réservé ; 1 = Nœud ; 2 = Lien ; 5 = Site ;  
8 = Organisation ; E = Global ; F = Réservé

# L'adressage IPv6

## ➤ L'autoconfiguration

### ✓ **Autoconfiguration sans état**

L'adresse de lien est générée à partir des adresses physiques des interfaces. L'adresse globale sera configurée à partir des annonces faites par un routeur en s'appuyant sur ICMPv6.

### ✓ **Autoconfiguration avec état**

Elle fait intervenir le protocole DHCPv6 qui ne fournira aucune donnée de routage. Le serveur DHCPv6 fournira par exemple le serveur DNS.