

Internet Protocol version 6

Adresse et paquet



C'est quoi une adresse IP (v4) ?

Qu'y a-t-il dans l'entête IP et pourquoi ?



Sommaire

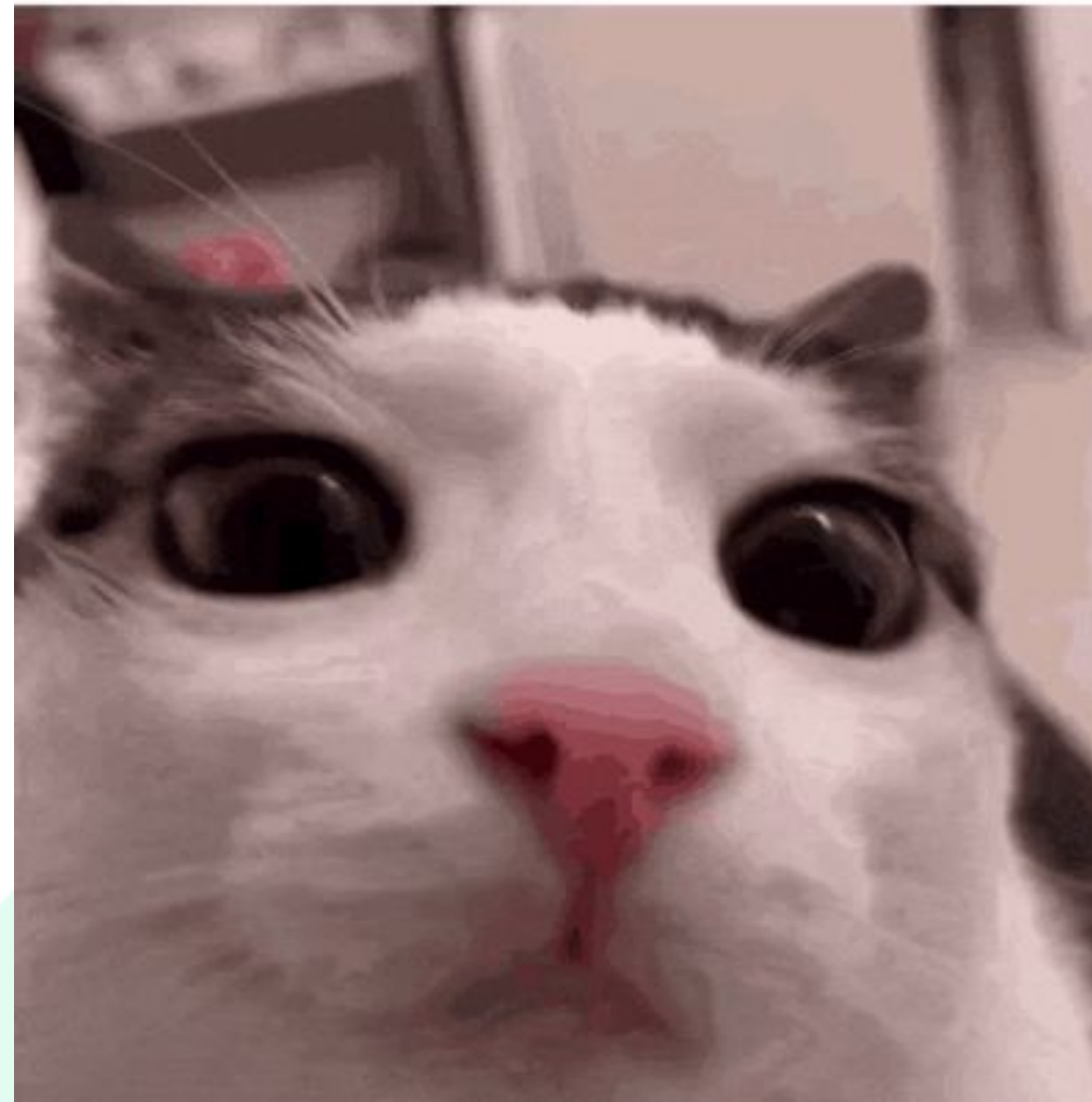
De quoi s'agit-il ?

- 01** Introduction
- 02** Les adresses
- 03** Autoconfiguration
- 04** Le paquet
- 05** Protocoles associés



Introduction

**Introduce
yourself**





Pourquoi une autre version d'IP ?

Why ?

IPv4 n'est plus suffisant.

- IPv4 = 4,3 milliards d'adresses => insuffisant
- Explosion : smartphones, IoT, cloud, 4G/5G, ...
- Le NAT "répare" cette pénurie mais ajoute de la complexité
- Internet prévu pour être global => NAT casse l'end-to-end



Définition

L'approche
encyclopédique

Définition simple :

IPv6 = nouvelle version du protocole IP, avec adresses sur 128 bits.

- Successeur d'IPv4
- Standardisé par l'IETF
- Compatible avec l'ensemble des protocoles modernes (DNS, HTTP, etc.)
- Coexiste avec IPv4 → dual-stack



Objectifs d'IPv6



IP next generation

Remplacer IPv4 :

- Étendre les capacités d'adressage
- Simplifier les en-têtes
- Automatiser la configuration
- Authentification et confidentialité
- Supprimer/diminuer la fragmentation



Déploiement actuel



Où en est-on ?

50% du trafic Google est en IPv6.

Tous les OS moderne supportent IPv6.

Tous les FAI Français attribuent de l'IPv6 (et de l'IPv4).

En France : 85% d'adoption IPv6 (17/05/2025)

[Source statistique Google](#)

[Source statistique Arcep](#)



Les adresses





Les adresses v6

Beaucoup^{beaucoup}
d'adresses

Adresses sur 128 bits ($\approx 3,4 \cdot 10^{38}$)

En pratique entre 10^{17} et 10^{33} adresses disponibles.

3 catégories :

- **Unicast** (une interface)
- **Multicast** : adresses de diffusion (un groupe)
- **Anycast** : adresse de groupe (un parmi le groupe)

Disparition des broadcasts !



Exemple d'adresses



Beaucoup de 1 et de 0

Exemple :

010101010101010101010101010101
010101010101010101010101010101
010101010101010101010101010101
010101010101010101010101010101



Notation



Simplifier les
conversions

Notation hexadécimale par groupes de 16 bits (8 groupes)
séparés par “:” .

Simplifications :

- Omissions des 0 non significatifs (placés devant)
- Omission d'une suite de groupes de 16 bits tous nuls (la plus longue) avec conservation des “:”

Exemples :

2001 : **0**db8 : **0000** : 85a3 : **0000** : **0000** : ac1f : 8001

2001 : db8 : **0** : 85a3 : **0** : **0** : ac1f : 8001

2001 : db8 : **0** : 85a3 : : ac1f : 8001

Plus de détails : [RFC 5952](https://tools.ietf.org/html/rfc5952)

QUIZ : Notations courtes

Donner les notations courtes :

fe80:0000:0000:0000:0000:4cff:fe4f:4f50 ?

=> fe80::4cff:fe4f:4f50

2001:0688:1f80:0020:0203:ffff:00ab:efc1 ?

=> 2001:688:1f80:20:203:ffff:ab:efc1

2001:008b:0000:0000:0b45:0000:0000:00b3 ?

=> 2001:8b::b45:0:0:b3 ou 2001:8b:0:0:b45::b3

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001 ?

=> ::1

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000 ?

=> ::

QUIZ : Notations canoniques

Donner les notations canoniques :

2001:0:0:ffff::1 ?

=> 2001:0000:0000:ffff:0000:0000:0000:0001

2001::1 ?

=> 2001:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001

fe80::4c2d:ffa1::1 ?

=> Notation invalide !



Le préfixe réseau

Découpage réseau

Comme en IPv4, une adresse se découpe en 2 :

- Un préfixe réseau
- Un identifiant d'interface

Taille variable - Similaire à CIDR.

Reprise de la notation CIDR.

Exemples :

```
2001:db8:0:85a3::ac1f:8001/64  
::1/128
```



Adresses particulières

À retenir

[RFC 4291](#) :

- $::1/128$ \Rightarrow Boucle locale (loopback ou ***Node-Local***)
- $::$ \Rightarrow Adresse indéfinie
- $ff00::/8$ \Rightarrow Adresses multicast
- $fe80::/10$ \Rightarrow Adresses unicast lien local (***Link-Local***)
- $fc00::/7$ \Rightarrow Adresses unicast locales uniques (***Unique Local***)
- $2000::/3$ \Rightarrow Adresses unicast globales (***Global Unicast***)



Adresse boucle local (loopback ou Node-Local)



Communication
sur le lien

`::1/128`

- Equivalent à 127.0.0.1 en IPv4
- Utilisée pour des tests et des services locaux sur la même machine



Adresse indéfinie



Communication
sur le lien

::

- Equivalent à 0.0.0.0 en IPv4
- Utilisée pour signifier qu'une adresse n'est pas spécifiée



Adresses multicast



Communication
sur le lien

`ff00::/8`

- Utilisées pour communiquer avec plusieurs hôtes en une seule transmission
- Utilisées dans le routage, la découverte de voisins, etc.



Adresses unicast lien local (Link-Local)

Communication
sur le lien

`fe80::/10`

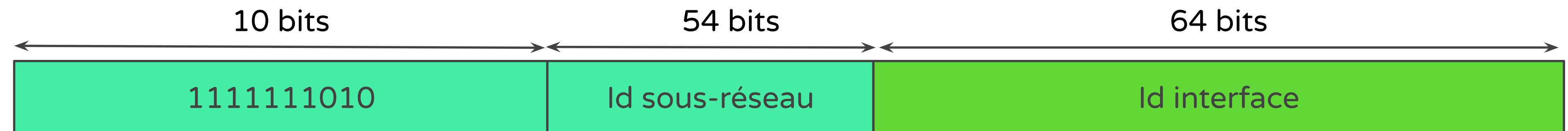
- En pratique : `fe80::/64`
 - Communication avec les interfaces du même lien (L2)
 - Passage routeur impossible
 - Configuration manuelle ou automatique (en général auto)
 - Similaire aux adresses APIPA IPv4 (169.254.0.0/16)
- => adresse obligatoire et indispensable au bon fonctionnement du protocole



Adresses unicast lien local (Link-Local) (suite)



Communication
sur le lien



Le bloc `fe80::/10` donne 10 bits codés en 1111111010.



Adresses unicast locales uniques (Unique Local)

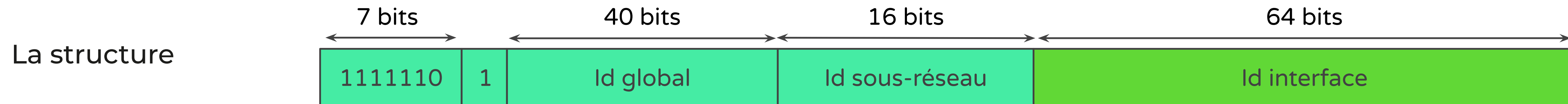
Les adresses
privées

$\text{fc00}::/7$ ([RFC 4193](#))

- En pratique : $\text{fd00}::/8$
- Réservées à des usages privés (réseaux internes)
 - Similaire aux adresses privées IPv4 ([RFC 1918](#))
- Non routables sur Internet mais routables sur réseaux privés
- Facilement identifiable (Filtrage)
- Globalement unique (forte probabilité)
 - Permettre l'interconnexion de site
 - Pas de conflits si routage par erreur
- Similaires aux unicast globales d'un point de vue applicatif



Adresses unicast locales uniques (Unique Local) (suite)



- **1 : 0** réservé à un usage futur
- Id. global unique : Génération aléatoire ([RFC 2086 \(BCP 106\)](#))
 - Rappel : $2^{40} \approx 10^{12} = 10^6 \cdot 10^6$
 - Chance de gagner le gros lot au loto ≈ 1 sur $19 \cdot 10^6$
- Identifiant de sous-réseau : au choix pour découpage interne
- Identifiant d'interface : automatique ou manuel



Adresses unicast globales (Global Unicast)

Les adresses
publiques

2000::/3 ([RFC 3587](#) et [RFC 3177](#))

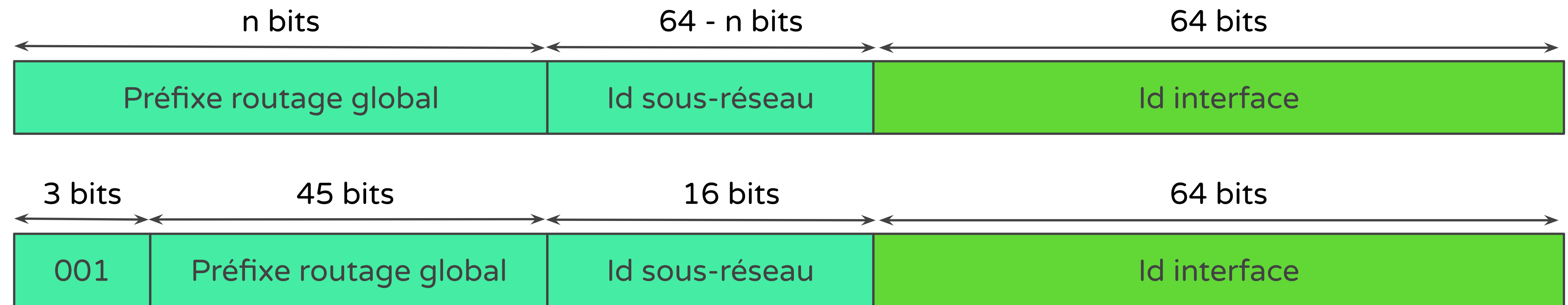
- En pratique 2001::/16
- En hexa sur les 4 premiers nombres hexa : de 0x2000 à 0x3fff
- Réservées à des usages publics
 - Similaire aux adresses publiques IPv4
- Routables sur Internet

Attribution des adresses par l'IANA : [site officiel](#).



Adresses unicast globales (Global Unicast) (suite)

La structure



- Préfixe routage global (48 bits) : Identifiant de site
 - Structure hiérarchique (IANA - RIR - LIR comme pour v4)
- Identifiant de sous-réseau
 - Découpage local (administrateurs de site)
- Identifiant d'interface : automatique / manuel
- Structure TLA/NLA est maintenant obsolète



Politique d'attribution

L'attribution
d'adresse

Recommandation IETF - [RFC 6177](#)

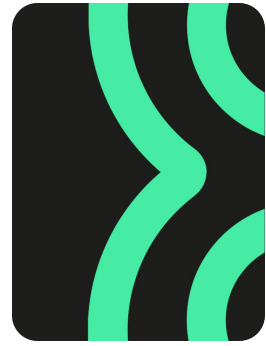
- Un site devrait avoir plus d'un réseau (/64)
- Attribuer systématiquement un /48 n'est plus indiqué

Politique RIPE NCC - [RIPE-738](#)

- Allocation d'un /32 minimum
- Possibilité d'obtenir entre / 29 et /32 sans justification
- Plus de /29 si justifié

IANA - ([référence](#))

- Attribution de /12 à /23 à un RIR



Exemple d'attribution hiérarchique

Exemple
d'attribution

Exemple :

IANA (pour les 5 RIR) : 2000::/3

RIR Eu (RIPE NCC) : 2001:8600::/23

LIR (Orange, SFR, etc.) : 2001:861::/32

Découpage du LIR (ex.: DSLAM) : **2001:861:3140::/48**

Abonné final : 2001:861:3140:**4132::/64**

En réalité : 2001:861:3140:4132:**1c9a:98d4:adf3:b1e4/64**



Synthèse



Tout est regroupé

	Préfixe	Portée	Configuration
Unicast lien local (<i>Link-Local</i>)	fe80::/10 En pratique fe80::/64	Un seul lien (segment de réseau) - Non routable	Automatique par SLAAC
Unicast locales uniques (<i>Unique Local</i>)	fc00::/7 En pratique fd00::/8	Réseau privé local - Routable en interne	Manuelle ou par DHCPv6
Unicast globales (<i>Global Unicast</i>)	2000::/3 En pratique 2001::/16	Global - Routable sur Internet	Manuelle, DHCPv6, SLAAC



Autoconfiguration





Objectifs de l'autoconfiguration

Configuration
automatique
incluse

- Configuration manuelle possible mais pas nécessaire
- SLAAC : Stateless Address AutoConfiguration
- Réseaux locaux :
 - Aucun équipement nécessaire (routeur, DHCP, ...)
- Grands réseaux :
 - DHCP optionnel
 - Configuration minimale des routeurs suffisantes
- Re-numérotation facile (changement de FAI)
 - Adresses multiples
 - Durée de vie des adresses



Le principe - Identifiant d'interface

La partie hôte

Identifiant d'interface de 64 bits (toujours)

Stratégie d'auto configuration de l'identifiant d'interface :

- Tirage au sort (+ détection d'adresse dupliquée) - [RFC 8981](#)
- Dérivée de l'adresse MAC (EUI 64 modifiée) - [RFC 4291](#)
- Cryptographique basée sur des clés publiques - [RFC 3972](#)



Le principe - Préfixe réseau



La partie réseau

Pour lien local :

- Préfixe réseau connu $\text{fe80}::/64$
- Ajout de l'identifiant d'interface
- Détection d'adresse dupliquée : si oui => configuration manuelle



Le principe - Préfixe réseau (suite)

Les RA

Pour les autres adresses :

- Annonces routeurs **RA** (*Router Advertisement*) émises régulièrement
- Possibilité de solliciter une annonce
 - Sur `ff02::2` adresse multicast all-routers
- Dans les RA :
 - Préfixe réseau + information configuration additionnelles

[RA : Aller plus loin](#)



Portée et durée de vie

Évolutivité du
réseau

Un noeud IPv6 a des adresses (lien local, routables, bouclage, locales uniques)

Chaque adresse à une portée (scope) :

- Hôte : Adresse de boucle
- Locale : Adresse lien local
- Globale : Autres

Chaque adresse à une durée de vie :

- Provisoire jusqu'à unicité assurée
- Préférée puis Dépréciée puis invalide
- Objectif : permettre des transitions de configuration réseau en ligne



Le paquet

this dog sniffs packets





L'entête

Plus simple que
v4

Version : comme v4

Traffic Class : équivalent du ToS v4

Flow Label : étiquette de flux

- Permet un traitement spécifique par le réseau (les routeurs)

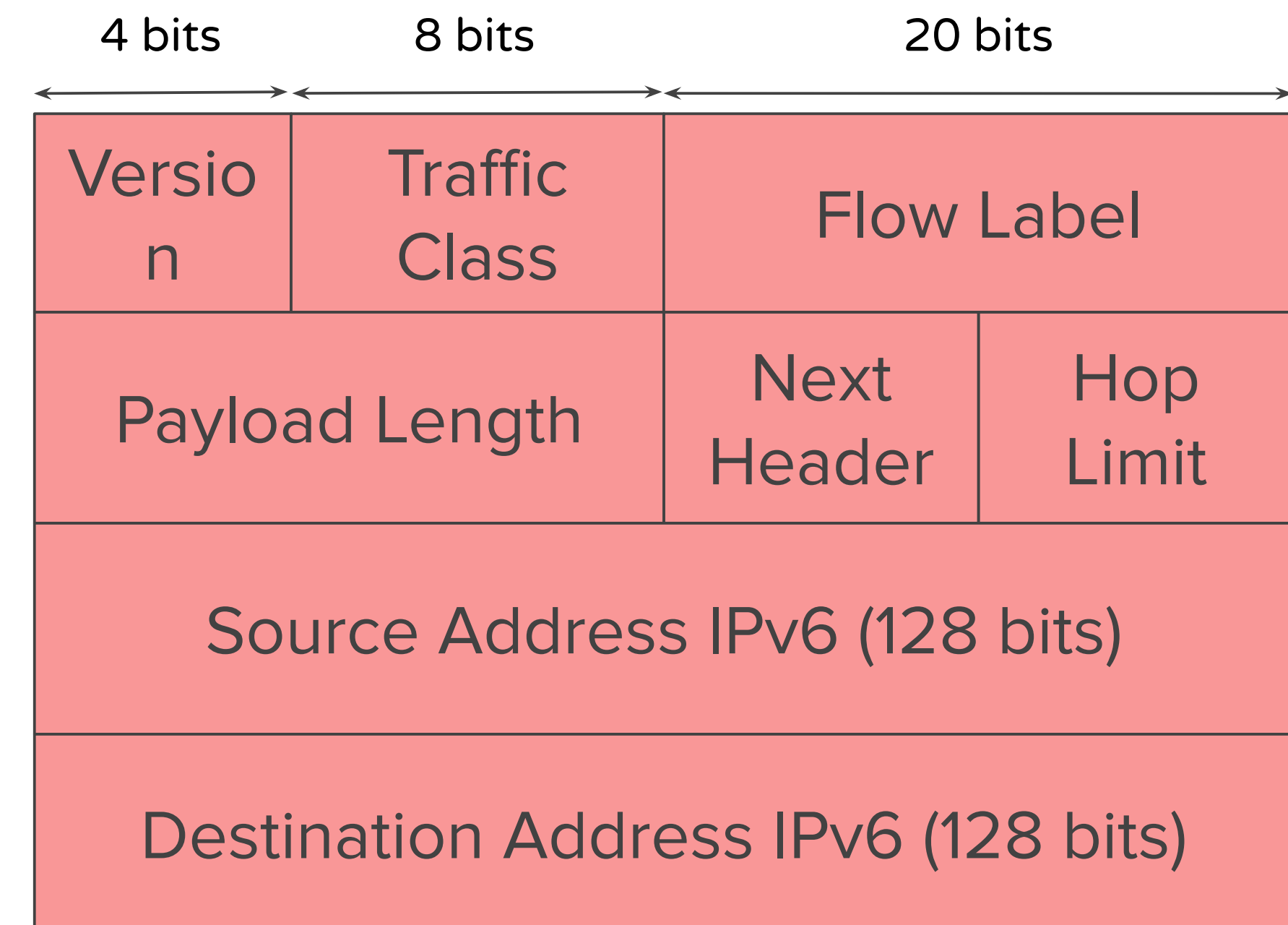
Payload Length :

- Taille charge utile en octets

Next Header :

- Équivalent du Protocol v4

Hop Limit : équivalent TTL v4





La fragmentation en v6

Et la
fragmentation ?

La fragmentation devient optionnelle.

Le principe général étant qu'il faut l'éviter !

Pour ça : **PMTUd** (*Path MTU Discovery* - [RFC 8201](#))

Idée générale :

Quand un routeur doit fragmenter :

- Il drop le paquet
- Il prévient l'émetteur qui ajuste la taille à l'envoi



Protocoles associés



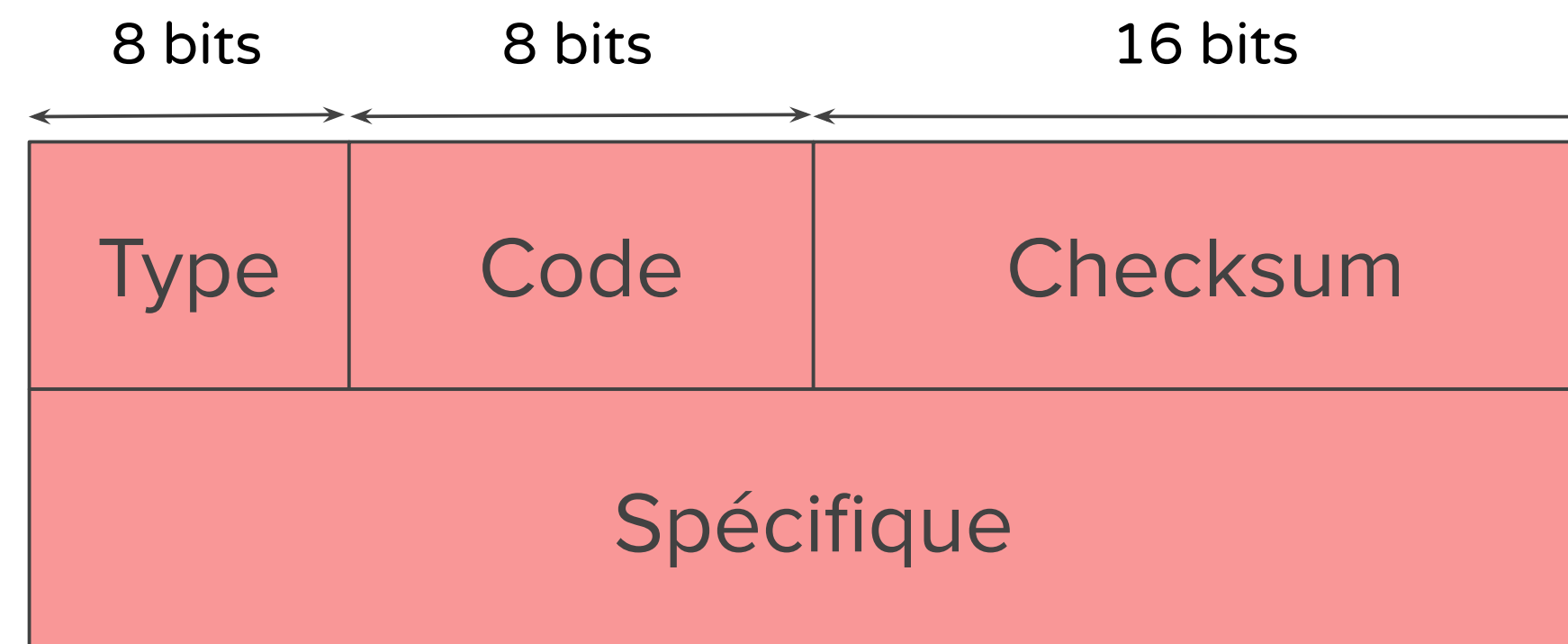


ICMPv6

Le contrôle à la
sauce v6

Internet Control Message Protocol version 6.

- [RFC 4443](#)
- Très proche de ICMPv4
- Regroupe ICMP, ARP et IGMP





ICMPv6 (suite)

Le contrôle à la
sauce v6

Messages d'erreur et de contrôle

Transporté par IPv6 avec numéro de protocole 58 (Next Header = 0x3A)

Support de NDP ([RFC 4861](#)) voir SEND - *Secure NDP* ([RFC 3971](#))

- *Router Advertisement*
- Découverte des voisins (ex-ARP)
- Détection d'adresses dupliquées



DHCPv6

Et le DHCP ?

Grâce à SLAAC : DHCP devient optionnel.

Mais parfois utile (DNS dynamique par exemple).

DHCPv6 - [RFC 3315](#)

- Utilisation d'adresses multicast : FF02::1:2 (multicast DHCP lien local)
- UDP ports 546 et 547



IPSEC

Et la sécurité ?

IPv6 amène des protocoles optionnels pour sécuriser les communications au niveau IP : IPsec

- Authentification, contrôle d'intégrité et confidentialité cryptographique
- Protocole AH, ESP, IKE...

Bonne nouvelle : IPsec utilisable aussi avec IPv4 !

Mais, on en reparlera...



Gestion de la mobilité



Autre nouveauté

MIPv6 - [RFC 6275](#)

Idée général : permettre le maintien de la connexion même
lors de changement de réseaux

Contexte : Mobilité



Gestion de la mobilité (suite)

Autre nouveauté

Principe général :

- *Home Address* : permanente obtenu sur son réseau d'origine
- *Care Of Address* : adresse temporaire obtenue par autoconfiguration sur le réseau actuel
- *Home Agent* : sur son réseau d'origine
 - Intercepte les paquets à destination de la Home Address
 - Réachemine via tunnel vers la Care Of Address



Synthèse IPv4 - IPv6



En résumé

	IPv4	IPv6
Longueur	32 bits	128 bits
Notation	Décimal pointé	Hexadécimal
Séparateur	.	:
Nombre d'adresses	$4,3.10^9$	$3,4.10^{38}$
Configuration	Statique, DHCP	SLAAC, DHCPv6
Sécurité IPsec	Optionnel	Intégré
Broadcast	Oui	Non (multicast et anycast)



En résumé

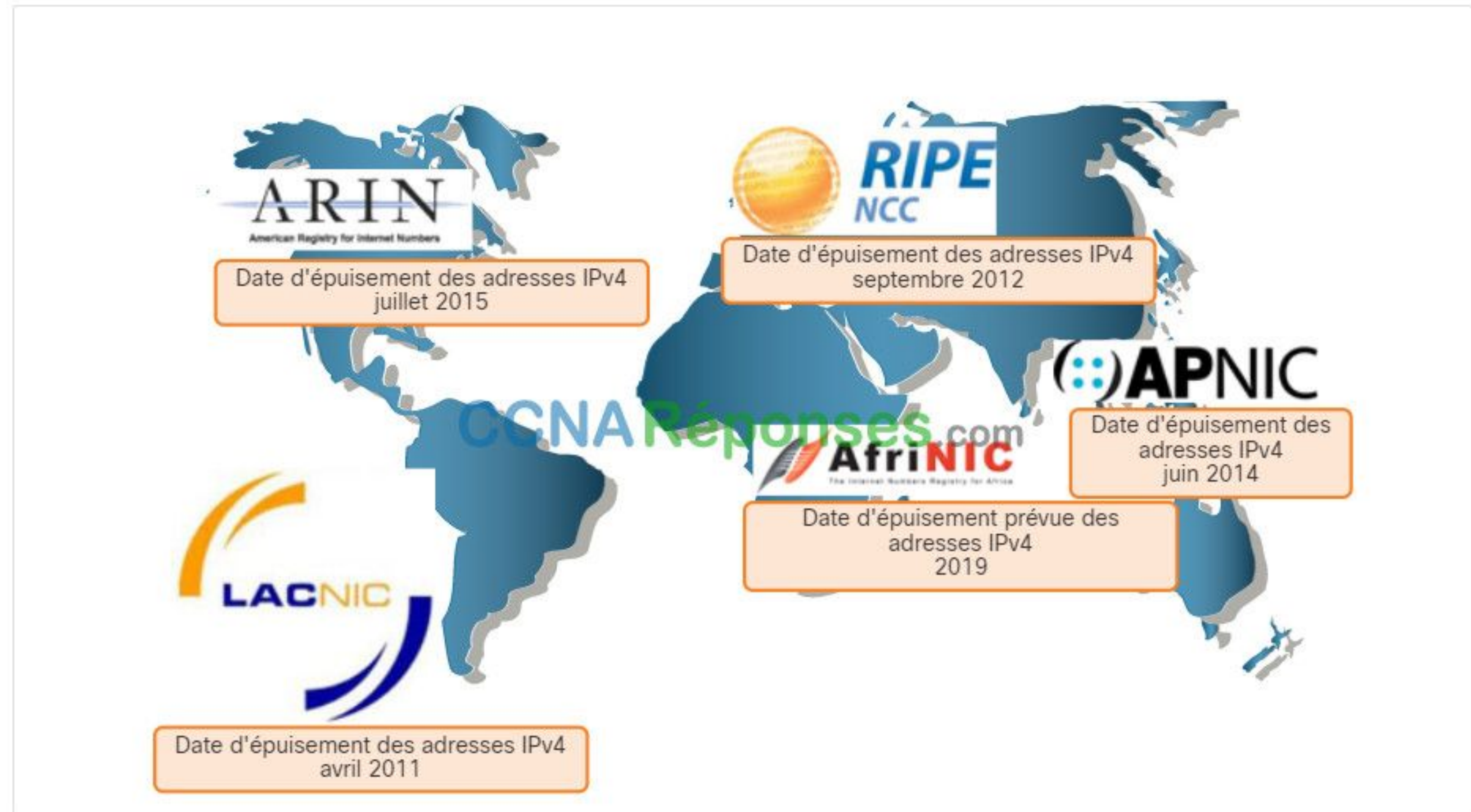
A retenir

- Beaucoup plus d'adresses
- Simplification des paquets
- Facilite la tâche de routeurs
- Internet de demain ... depuis très longtemps (1995)
- À vous de jouer !



En résumé

A retenir



[Source](#)



MERCI

pour votre participation.

C'est à vous maintenant.

Des questions ?

Des remarques ?

