

IPv6

L'objectif de ce cours est de découvrir le fonctionnement du protocole IPv6.

Pourquoi IPv6 ?

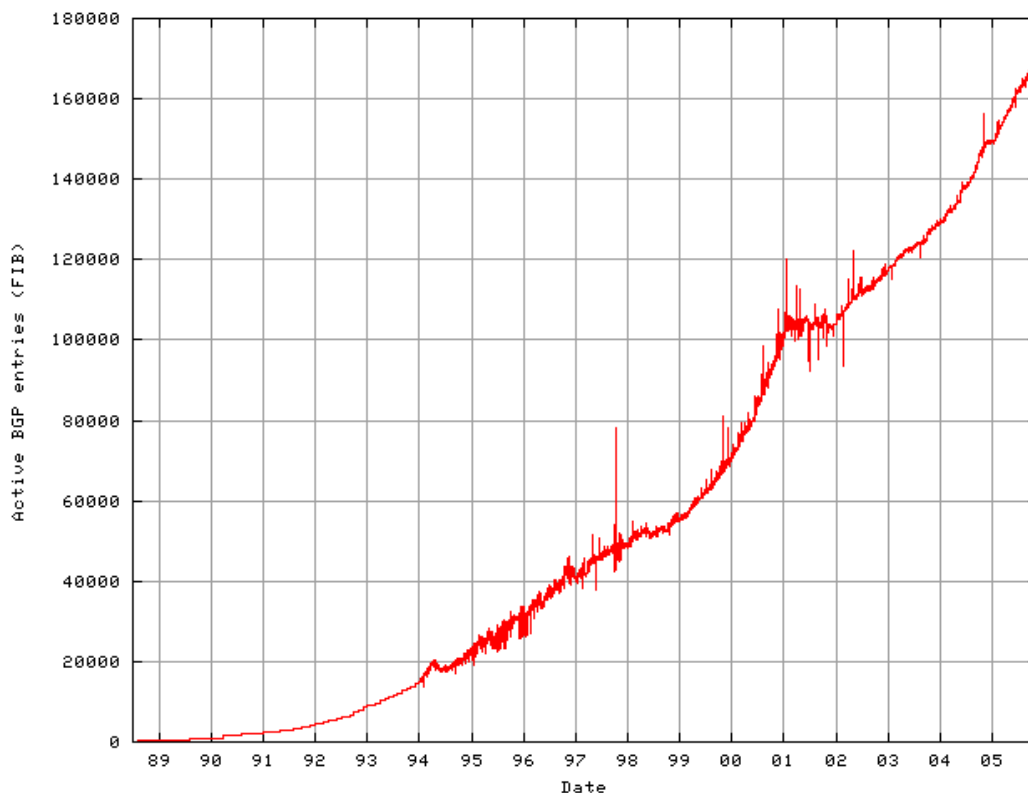
L'immense majorité des matériels actuellement connectés à l'Internet utilise le protocole IPv4. Celui-ci prévoit un maximum théorique de 2^{32} adresses, soit un peu plus de quatre milliards d'adresses différentes. En réalité, le nombre d'adresses IPv4 utilisables est bien moindre.

Expliquez pourquoi.

- Le découpage en classes entraîne un gaspillage d'adresses, surtout pour la classe A.
- Certaines plages sont réservées à des usages particuliers : réseaux privés, multicast...

Ainsi, on parle depuis plusieurs années d'une pénurie d'adresses IPv4, prévue à l'horizon 2011. Cette pénurie peut être compensée par des mécanismes comme la **translation d'adresses (NAT)**, mais cette solution ne fait que repousser l'échéance.

Un deuxième inconvénient lié à l'explosion de l'Internet est l'augmentation de la taille des tables de routage, comme le montre le graphique ci-dessous.



Une autre critique récurrente adressée à IPv4 concerne son manque de **sécurité**. Ce protocole a été conçu avant tout dans un objectif de partage d'informations. Il n'intègre donc aucun mécanisme de chiffrement ou d'authentification.

Comment faire pour sécuriser une communication IPv4 ?

On emploie des techniques qui fonctionnent au-dessus de la couche IP (VPN, SSL...) et obligent à des installations de matériels ou de logiciels.

Enfin, le protocole IPv4 présente des manques dans les domaines de la **mobilité** et de l'autoconfiguration des clients. Ses limites ont conduit à l'adoption en 1996 du prochain standard d'adressage sur l'Internet, nommé **IPv6**. La standardisation d'IPv6 a été conduite par l'IETF (*Internet Engineering Task Force*) depuis 1988.

L'adresse IPv6

Anatomie d'une adresse IPv6

Contrairement à une adresse IPv4 codée sur 32 bits, l'adresse IPv6 utilise **128** bits, soit **16** octets. Cela permet de disposer de 2^{128} adresses différentes, soit environ 340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 456 adresses, c'est-à-dire plus de 667 millions de milliards d'adresses par millimètre carré de surface terrestre... Largement de quoi relier à l'Internet tous les périphériques d'aujourd'hui et de demain.

Voici un exemple d'adresse IPv6: **1FFF:0000:0A88:85A3:0000:0000:AC1F:8001**.

Elle est notée sous forme **hexadécimale** et se décompose en 8 mots de **16** bits, séparés par le symbole ':'.

Cette notation un peu lourde peut être abrégée :

- Au sein d'un mot de 16 bits, les 0 de poids fort (situés à gauche) peuvent être omis. L'adresse ci-dessus peut donc s'écrire **1FFF:0:A88:85A3:0:0:AC1F:8001**.
- On peut également omettre une unique suite de zéros consécutifs, tout en conservant des symboles de séparation (':') de chaque côté de la suite omise. L'adresse ci-dessus peut donc également s'écrire **1FFF:0000:0A88:85A3::AC1F:8001** ou encore **1FFF:0:A88:85A3::AC1F:8001**.

Ecrivez sous forme complète l'adresse **2001:503:BA3E::2:30**.

2001:0503:BA3E:0000:0000:0000:0002:0030.

Il est également possible de noter les deux derniers groupes (soit 32 bits) sous forme décimale, à la manière d'une adresse IPv4.

Reprenons l'exemple de l'adresse précédente. Ses 32 derniers bits sont **AC1F:8001**. Leur traduction en binaire donne 1010 1100 0001 1111 1000 0000 0000 1111. En les regroupant par 8, on obtient l'adresse décimale 172.31.128.1. D'où le résultat **1FFF:0:0A88:85A3::172.31.128.1**.

Ecrivez l'adresse 2001:500:1::803F:235 sous forme « décimale ».

803F:0235 se traduit par 10000000 00111111
00000010 00110101, soit 128.63.2.53.
D'où le résultat 2001:500:1::128.63.2.53.

Types d'adresses IPv6

IPv6 définit trois types d'adresses : **Unicast**, **Multicast** et **Anycast**.

- Une adresse *unicast* identifie une interface (et donc une machine) unique.
- Une adresse *multicast* identifie un groupe d'interfaces pouvant être situées partout sur l'Internet. Un paquet dont l'adresse de destination est *multicast* est acheminé à toutes les interfaces membres du groupe.
- Une adresse *anycast* désigne aussi un groupe d'interfaces, mais un paquet dont l'adresse de destination est une adresse *anycast* est acheminé à un élément du groupe et non à tous, généralement l'élément le plus proche. Cet adressage est expérimental.

On remarque que la notion d'adresse de **broadcast** a disparu : c'est l'adressage multicast qui va jouer ce rôle en IPv6.

Les adresses *unicast* sont destinées à la communication avec une interface unique. L'adressage *unicast* peut se faire de plusieurs manières selon la portée voulue :

- **Lien local** : une adresse "lien local" ou "liaison locale" ne passe pas les routeurs. Sa portée est donc limitée au réseau local (un LAN Ethernet par exemple).
- **Global** : une adresse globale est routable sur l'Internet. Sa portée est donc mondiale.

Préfixe d'une adresse IPv6

Une adresse IPv6 se compose de deux parties :

- Le préfixe.
- L'identifiant de la machine.

Le nombre de bits composant le préfixe est écrit comme en notation CIDR (/x). Généralement, les 64 premiers de l'adresse définissent le préfixe, et les 64 autres identifient l'hôte.

Le préfixe identifie le type d'adresse (local, global, *multicast*, etc.). Une machine, la plupart du temps, a plusieurs préfixes (deux dans la cas d'une machine reliée à un routeur : un préfixe "lien local" et un préfixe "global"). Dans le cas d'une adresse globale le préfixe détermine le réseau d'appartenance de la machine. Une machine multidomiciliée a plusieurs préfixes "globaux".

Les principaux préfixes sont :

- 1111 1110 10 notée en IPv6 **fe80::/10** pour les adresses *unicast* lien local.
- 1111 1111 notée en IPv6 **ff00::/8** pour les adresses *multicast*.
- 1111 1110 11 notée en IPv6 **fec0::/10** et 1111 1110 notée en IPv6 **fc00::/7** sont réservées à des usages particuliers.
- Tous les autres préfixes correspondent à des adresses *unicast* globales. Jusqu'à présent, les adresses globales distribuées utilisent le préfixe **2000::/3**.

Adresses particulières

Il existe entre autres l'adresse de bouclage (loopback) et l'adresse indéterminée.

- **Loopback ::1** (127.0.0.1 en IPv4). Cette adresse n'est jamais transmise sur le réseau.
- **Any ou indéterminée ::** (0.0.0.0 en IPv4). Ne peut être affectée à une destination.

Autoconfiguration

IPv6 permet d'autoconfigurer l'identifiant d'une machine (le plus souvent les 64 derniers bits de l'adresse) à partir de son adresse MAC. Sa construction est dérivée du format EUI-64 (*Extended Unique Identifier*) de l'IEEE. Il s'agit du nouveau standard d'adressage des interfaces sur 64 bits.

La technique pour passer de l'adresse MAC (sur **48** bits) à un identifiant d'hôte sur 64 bits est la suivante :

- Les 24 premiers bits (ou 3 premiers octets) de l'adresse MAC identifient le constructeur. Ils sont repris dans l'identifiant avec inversion du 7ième bit (universal/local bit).
- Les 16 bits suivants ont la valeur FFFE et sont ajoutés à l'identifiant.
- Les 24 derniers bits (ou 3 derniers octets) identifient le numéro de série. Ils sont repris tels quels.

Déduisez l'identifiant IPv6 de l'adresse MAC 00:40:96:A7:C5:D3.

En binaire, les 2 premiers octets sont 00000010, soit 02 en hexadécimal.

On trouve donc l'identifiant 0240:96FF:FEA7:C5D3

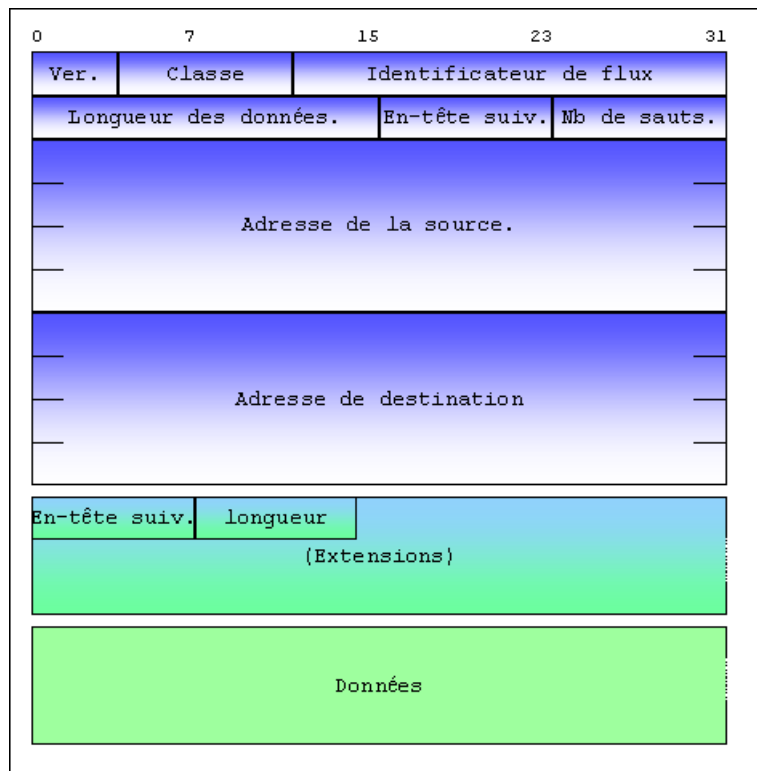
L'identifiant de l'interface est concaténé aux préfixes "lien local" et aux préfixes "globaux" pour former des adresses IPv6 sur 128 bits. Pour construire automatiquement l'adresse "lien local", on concatène le préfixe **fe80::/64** aux 64 bits de l'identifiant de l'interface.

Le protocole IPv6

Structure d'un paquet IPv6

La structure d'un paquet IPv6 a été modifiée pour corriger les points faibles du format précédent et améliorer la rapidité du routage.

Le schéma ci-dessous illustre cette structure.



Les fonctionnalités d'IPv6

Outre la refonte de l'adressage, IPv6 apporte de nombreuses améliorations par rapport à son prédécesseur :

- Possibilité d'autoconfiguration automatique.
- Gestion de la mobilité.
- Sécurité (intégration d'IPSec).
- Algorithmes de routage simplifiés et donc plus performants.
- ...

De nombreux protocoles de la pile TCP/IP ont été améliorés dans une nouvelle version : ICMPv6, DHCPv6, RIPng... Avec IPv6, on peut presque parler d'un "Internet 2.0".

Nouvelle norme, nouveaux usages

IPv6 a été pensé pour répondre aux limitations d'IPv4 et pour rendre possibles de nouveaux usages de l'Internet, en permettant la connexion au réseau d'un nombre illimité de périphériques.

Trouvez quelques exemples.

Les réseaux domestiques (domotique, appareils électroménagers...), les réseaux mobiles, les transports (avion, train...)...

IPv6 en pratique

Après cet aperçu théorique, nous allons voir comment utiliser IPv6 de manière concrète.

Compatibilité

La norme IPv6 étant maintenant bien connue, de nombreux matériels compatibles sortent sur le marché équipements réseau, imprimantes.... Tous les systèmes d'exploitation modernes (Windows XP et Vista, Linux, Mac OS X) supportent IPv6 en plus d'IPv4, grâce à des piles "*dual stack*" (une adresse IPv4 et une adresse IPv6 pour la même carte réseau).



Transition depuis IPv4

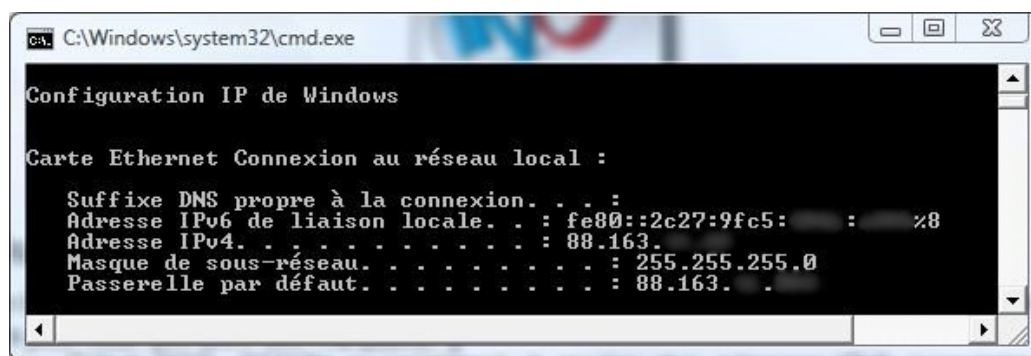
Le basculement vers la nouvelle norme au niveau mondial a commencé depuis plusieurs années. On peut noter quelques faits marquants :

- Début 2008, l'ICANN a commencé à ajouter des adresses IPv6 (enregistrements **AAAA**) à plusieurs des 13 serveurs DNS racines.
- Un nombre croissant de FAI comme Nerim ou Free proposent un accès IPv6.

De toute évidence, la phase de cohabitation entre IPv4 et IPv6 va durer de longues années. Une fois les adresses IPv4 épuisées, les nouveaux venus sur l'Internet se verront attribuer uniquement des adresses IPv6.

Mise en place d'IPv6

La mise en place d'IPv6 est possible si le FAI supporte le protocole. Dans ce cas, l'activation du service provoque l'assignation d'une adresse IPv6 à la machine.



La pile IPv6 est alors fonctionnelle, et on peut utiliser les protocoles et les applications compatibles de manière transparente.

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\>ping 2001:7a8:1:1::76

Envoi d'une requête 'Ping' 2001:7a8:1:1::76 de 2002:58a3:2955:: : avec 32 octets de données :
Réponse de 2001:7a8:1:1::76 : temps=60 ms
Réponse de 2001:7a8:1:1::76 : temps=60 ms
Réponse de 2001:7a8:1:1::76 : temps=68 ms
Réponse de 2001:7a8:1:1::76 : temps=60 ms

Statistiques Ping pour 2001:7a8:1:1::76:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
    Durée approximative des boucles en millisecondes :
        Minimum = 60ms, Maximum = 68ms, Moyenne = 62ms
```

