

ADRESSES IP



(≈ 7 min)

<https://youtu.be/Oc7Ts8tVjyE?t=21>

Lorsque des appareils communiquent sur Internet ou sur un réseau local (chez soi, au lycée, dans une entreprise), ils doivent pouvoir s'identifier.

Une **adresse IP** est un identifiant unique attribué à chaque appareil connecté à un réseau utilisant le protocole Internet. Elle permet à l'information d'aller d'un point A à un point B, comme une adresse postale permet d'acheminer une lettre.

Sur un réseau domestique (box Internet), l'adresse IP attribuée à un appareil peut changer. C'est le serveur qui gère le réseau (souvent la box) qui donne automatiquement l'adresse¹.

L'**IP privée** est utilisée à l'intérieur d'un réseau local, l'**IP publique** pour identifier le réseau sur Internet.

Il existe deux types d'adresse : **IPv4** (*Internet Protocol version 4*) et **IPv6** (*Internet Protocol version 6*).

IPv4

Créée² en septembre 1981 puis déployé en janvier 1983, elle est encore la version la plus répandue³.

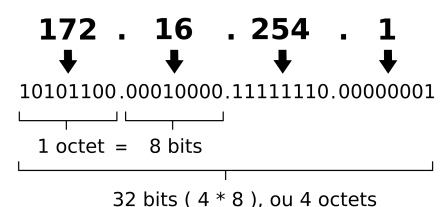
Une adresse IPv4 est codée sur 4 octets : elle est donc représentée sous la forme de quatre nombres entiers séparés par des points. Exemple : 193.43.55.67.

Chacun des nombres représente un octet : c'est donc⁴ un nombre compris entre 0 et 255.

La plage d'attribution d'une adresse IPv4 s'étend de 0.0.0.0 à 255.255.255.255, sachant qu'il existe des contraintes empêchant l'utilisation de certaines adresses (voir plus bas).

4 octets = 32 bits donc on peut théoriquement représenter 2^{32} adresses IPv4, soit **4 294 967 296 adresses !**

Une adresse IPv4 (notation décimale à point)



¹ Via un protocole appelé DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

² Documentation officielle : RFC 791.

³ Source : <https://dnsmadeeasy.com/resources/the-state-of-ipv6-adoption-in-2025-progress-pitfalls-and-pathways-forward>.

⁴ Rappel : 1 octet = 8 bits et $2^8 = 256$. Les nombres entiers entre 0 et 255 permettent bien de coder 256 valeurs.

Certaines plages d'adresses sont spéciales et réservées⁵ :

- la plage allant de 0.0.0.0 à 0.255.255.255 sert à identifier le réseau lui-même et l'adresse spécifique de l'ordinateur qui envoie le paquet sur ce réseau ;
- la plage de 10.0.0.0 à 10.255.255.255 et celle de 172.16.0.0 à 172.31.255.255 sont destinées aux réseaux privés ;
- la plage 127.0.0.0 à 127.255.255.255 sert pour le « loopback », c'est-à-dire que les informations envoyées à ces adresses restent à l'intérieur de l'ordinateur ;
- la plage 169.254.0.0 à 169.254.255.255 est utilisée lorsqu'un ordinateur ne trouve pas de serveur pour obtenir une adresse automatiquement
- d'autres plages sont réservées pour les tests et la documentation, comme 192.0.2.0 à 192.0.2.255, 198.51.100.0 à 198.51.100.255 ou 203.0.113.0 à 203.0.113.255 ;
- certaines plages sont destinées à des usages particuliers : 192.88.99.0 à 192.88.99.255 pour des relais de communication, 198.18.0.0 à 198.19.255.255 pour tester des équipements réseau, 224.0.0.0 à 239.255.255.255 pour envoyer des messages à plusieurs ordinateurs en même temps (« multicast »), et 240.0.0.0 à 255.255.255.254 pour des usages futurs
- 255.255.255.255 est une adresse spéciale pour envoyer un message à tous les ordinateurs d'un réseau local.

Si l'on calcule le nombre d'adresses dans chacune de ces plages :

Plage(s)	Nombre d'adresses
0.0.0.0 à 0.255.255.255	16 777 216
10.0.0.0 à 10.255.255.255	16 777 216
127.0.0.0 à 127.255.255.255	16 777 216
169.254.0.0 à 169.254.255.255	65 536
172.16.0.0 à 172.31.255.255	1 048 576
192.0.0.0 à 192.0.0.255	256
192.0.2.0 à 192.0.2.255	256
192.88.99.0 à 192.88.99.255	256
192.168.0.0 à 192.168.255.255	65 536
198.18.0.0 à 198.19.255.255	131 072
198.51.100.0 à 198.51.100.255	256
203.0.113.0 à 203.0.113.255	256
224.0.0.0 à 239.255.255.255	268 435 456
240.0.0.0 à 255.255.255.254	268 435 456
255.255.255.255	1

En additionnant toutes ces valeurs, on obtient **588 514 561 adresses réservées**.

Cela représente plus d'un huitième de tout l'espace IPv4 !

⁵ Sources : documentations officielles [RFC 5735](#) puis [RFC 8190](#).

IPv5 ?

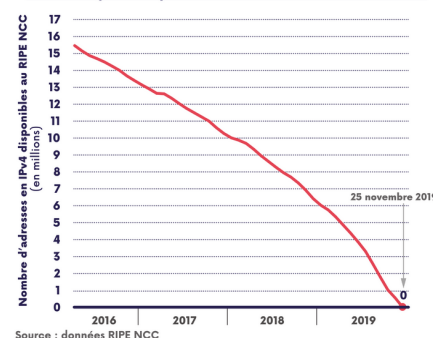
Au début de l'Internet, plusieurs versions expérimentales du protocole IP ont été testées, numérotées de 1 à 3, mais elles n'ont jamais été utilisées à grande échelle.

La version 4, ou **IPv4**, est celle qui a été adoptée pour le réseau mondial. Or le succès d'internet, la diversité des usages et la multiplication des objets connectés ont eu comme conséquence directe l'épuisement progressif des adresses IPv4.

Depuis novembre 2019, le RIPE NCC (le registre régional d'adresses IP, qui alloue les IPv4 pour l'Europe et le Moyen-Orient) est en pénurie d'IPv4.

Les cinq registres internet régional (RIR, de l'anglais *Regional Internet Registry*) sont aujourd'hui en pénurie d'IPv4.

Historique d'épuisement des adresses IPv4



Entre-temps, un protocole expérimental appelé « Internet Stream Protocol », qui a reçu le numéro 5 (**IPv5**), a été développé pour tester la transmission de flux multimédia comme la voix et la vidéo sur Internet, avec un mécanisme de qualité de service. Problème fondamental : IPv5 reposait sur le même adressage 32 bits que le protocole IPv4. Il présentait donc le même handicap qu'IPv4 : à court/moyen terme, toutes les adresses seraient utilisées.

L'usage prévu d'IPv5 pour le streaming temps réel est aujourd'hui obsolète : d'autres solutions, notamment au niveau transport ou application, ont pris le relais, comme le « Real-time Transport Protocol » (RTP) pour la vidéo et la voix.

IPv5 a finalement servi de base au développement de technologies comme le « voice-over-IP » (VoIP⁶).

Pour créer un véritable successeur capable de résoudre le problème de l'épuisement des adresses, les ingénieurs ont conçu **IPv6**, apportant un espace d'adressage beaucoup plus vaste et des améliorations techniques.

Néanmoins, **IPv4 et IPv6 ne sont pas compatibles** : un équipement ne disposant que d'adresses IPv4 ne peut pas dialoguer directement avec un équipement ne disposant que d'adresses IPv6. Le retard de développement d'IPv6 entraîne donc le risque d'une scission d'internet avec l'IPv4 d'un côté et l'IPv6 de l'autre. À titre d'illustration, quand un site web ou une application est hébergée en « IPv6-only », elle n'est alors pas accessible aux utilisateurs qui n'ont qu'une adresse IPv4. Les utilisateurs, particuliers ou entreprises, dont l'accès à Internet ne serait pas compatible en IPv6 se verraient ainsi privés d'une partie des services internet.

Bien que ce ne soit pas encore le cas en France, en Inde, des sites web indiens importants ne sont actuellement plus accessibles qu'en IPv6 et la Chine a planifié l'arrêt complet d'IPv4 en 2030.

Face à cette pénurie d'IPv4 et aux risques encourus, la transition vers IPv6 apparaît comme un enjeu majeur d'innovation, de compétitivité et d'ouverture d'Internet.⁷

⁶ Le protocole VoIP consiste à transformer le signal voix d'un appel en un ensemble de paquets de données numériques. C'est le protocole qui est utilisé lorsque deux personnes s'appellent via un logiciel d'appel en ligne comme WhatsApp, Skype, Signal, Discord, etc.

⁷ Source : [ARCEP](#).

IPv6

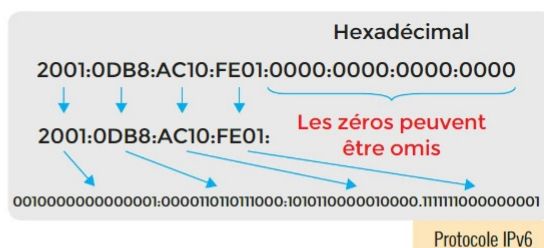
p.16 :



Les **adresses IPv6** sont codées en **hexa-décimal** sur 16 octets (8 parties telles que chaque partie est sur 2 octets). Les 8 parties du protocole IPv6 sont séparées par deux-points « : ».

Exemple : 3ac4:0567:0000:34b6:

0000:0000:c6d4:4300



Système décimal Système de numération à base 10 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Système hexadécimal Système de numération à base 16 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F

IPv6 a été mise en place officiellement⁸ à partir des années 2000.



16 octets = 128 bits donc on peut théoriquement représenter 2^{128} adresses IPv6

soit **340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 456 adresses**

c'est-à-dire environ $3,4 \times 10^{38}$

Si on écrivait une telle adresse avec des nombres décimaux, cela pourrait donner par exemple :

8193:3512:34211:00000:00000:35374:880:29492

Comme cela est trop long à écrire, on a préféré transformer chaque nombre décimal en nombre hexadécimal. C'est la convention, et cela donne :

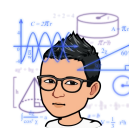
2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334

Et en supprimant les zéros inutiles :

2001:db8:85a3::8a2e:370:7334

IPv4 vs IPv6

Sur Terre, l'ensemble des terres émergées représente environ 148 millions de km^2 , c'est-à-dire $148 \times 10^{12} \text{m}^2$, soit 29 % de la superficie du globe.



Si on divise le nombre d'IPv4 disponible théoriquement par cette surface, cela donne 29 IPv4 / km^2 ou 0,000029 IPv4 / m^2 .

Si on divise le nombre d'IPv6 disponible théoriquement par cette surface, cela donne $2,299 \times 10^{30} \text{km}^2$ (c'est-à-dire 2 299 milliards de milliards de milliards d'IPv6 par km^2), ou $2,299 \times 10^{24} \text{m}^2$ (c'est-à-dire 2 299 milliers de milliards de milliards d'IPv6 par m^2).

Et si l'on considère toute la surface terrestre, c'est 667 millions de milliards d'adresses IPv6 pour chaque millimètre carré de surface terrestre !

⁸ Ses spécifications ont été finalisées dans la [RFC 2460](#) en décembre 1998.