**IPv6**

**IPv6** (*Internet Protocol version 6*) est un protocole réseau sans connexion de la couche 3 du modèle OSI (Open Systems Interconnection).



Lancement mondial d’IPV6

IPv6 est l'aboutissement des travaux menés au sein de l'IETF au cours des années 1990 pour succéder à IPv4 et ses spécifications ont été finalisées dans la RFC 2460 en décembre 1998.

Grâce à des adresses de 128 bits au lieu de 32 bits, IPv6 dispose d'un espace d'adressage bien plus important qu'IPv4. Cette quantité d'adresses considérable permet une plus grande flexibilité dans l'attribution des adresses et une meilleure agrégation des routes dans la table de routage d'Internet. La traduction d'adresse, qui a été rendue populaire par le manque d'adresses IPv4, n'est plus nécessaire.

IPv6 dispose également de mécanismes d'attribution automatique des adresses et facilite la renumérotation. La taille du sous-réseau, variable en IPv4, a été fixée à 64 bits en IPv6. Les mécanismes de sécurité comme IPsec font partie des spécifications de base du protocole. L'en-tête du paquet IPv6 a été simplifié et des types d'adresses locales facilitent l'interconnexion de réseaux privés.

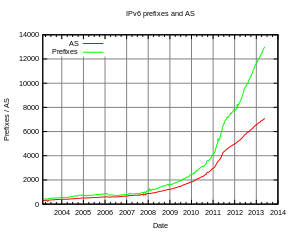
Le déploiement d'IPv6 sur Internet est compliqué en raison de l'incompatibilité des adresses IPv4 et IPv6. Les traducteurs d'adresses automatiques se heurtent à des problèmes pratiques importants (RFC 49661). Pendant une phase de transition où coexistent IPv6 et IPv4, les hôtes disposent d'une *double pile*, c'est-à-dire qu'ils disposent à la fois d'adresses IPv6 et IPv4, et des tunnels permettent de traverser les groupes de routeurs qui ne prennent pas encore en charge IPv6.

En 2011, seules quelques sociétés ont entrepris de déployer la technologie IPv6 sur leur réseau interne, Google2 notamment.

Fin 2012, le déploiement d'IPv6 est encore limité, la proportion d'utilisateurs Internet en IPv6 étant estimée à 1 %3, et ce en dépit d'appels pressants à accélérer la migration adressés aux fournisseurs d'accès à Internet et aux fournisseurs de contenu de la part des registres Internet régionaux et de l'ICANN, l'épuisement des adresses IPv4 publiques disponibles étant imminent.

## Déploiement d'IPv6

### L'Internet IPv6

[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IPv6-as.svg)

Nombre de préfixes et d'AS IPv6 sur Internet, de 2003 à aujourd'hui. À titre de comparaison, il y a environ 43000 AS visibles dans la default-free zone en 2013.

Dans une première phase, les fournisseurs d'accès à Internet utilisent des tunnels qui encapsulent les paquets IPv6 dans des paquets IPv4 (via 6in4 ou GRE) pour traverser les groupes de routeurs qui ne prennent pas en charge IPv6. Lorsque c'est possible, les échanges se font *nativement*, avec IPv4 et IPv6 qui coexistent sur les mêmes liaisons. Pour autant que les routeurs soient mis à jour pour la prise en charge d'IPv6, il n'est pas nécessaire de disposer d'une infrastructure séparée pour IPv6, les routeurs traitant à la fois le trafic IPv4 et IPv6.

### Prise en charge d'IPv6 par le DNS

Depuis juillet 2004, l'ICANN accepte d'intégrer des serveurs de noms avec des adresses IPv6 (*glue records*) dans la zone racine37. Les premiers domaines de premier niveau qui disposent d'un serveur DNS IPv6 sont .kr et .jp, .fr suit peu après38.

En février 2008, l'ICANN a ajouté des adresses IPv6 à 6 des 13 serveurs racine du DNS39 et *i* a été ajouté en 2010. D'autre part, en 2010, 228 des 283 domaines de premier niveau disposent d'au moins un serveur avec une adresse IPv640. Les agents d'enregistrement doivent cependant mettre à jour leurs logiciels pour la prise en charge des délégations vers des serveurs IPv6 et les éventuels *glue AAAA* records41.

Les principaux serveurs de noms comme BINDv9 prennent en charge les records AAAA ainsi que le transport des requêtes sur IPv6.

La taille des paquets DNS en UDP est limitée à 512 octets (RFC 1035), ce qui peut poser des problèmes au cas où la réponse est particulièrement volumineuse. La norme prévoit alors qu'une connexion TCP est utilisée, mais certains pare-feux bloquent le port TCP 53 et cette connexion consomme plus de ressources qu'en UDP. Ce cas se pose notamment pour la liste de serveurs de noms de la zone racine. L'extension EDNS0 (RFC 2671) permet d'utiliser une taille de paquets plus élevée, sa prise en charge est recommandée pour IPv6 comme pour DNSSEC.

### Prise en charge d'IPv6 par les protocoles de routage

Les protocoles de routage comme BGP (RFC 2545), OSPFv3 (RFC 5340), IS-IS (RFC 5308) et MPLS (RFC 4798) ont été mis à jour pour IPv6.

### Prise en charge d'IPv6 sur les couches liaison et transport

Les protocoles TCP et UDP fonctionnent comme en IPv4. Le pseudo en-tête utilisée pour le calcul du code de contrôle est cependant modifié et inclut les adresses IPv6 source et destination. L'utilisation du code de contrôle est obligatoire également pour UDP. Des modifications mineures ont été apportées pour la prise en charge des paquets jumbo (RFC 2675).

Les protocoles de la couche de liaison de type IEEE 802 sont adaptés pour le transport d'IPv6. Au niveau ethernet par exemple, la valeur du champ *type* attribué à IPv6 est 0x86DD (RFC 2464).

Sur les réseaux NBMA (en) comme X.25 ou Frame Relay, des adaptations sont prévues pour permettre le fonctionnement du *Neighbor Discovery*.

Le consortium CableLabs (en) a publié les spécifications IPv6 qui concernent les modems câble dans DOCSISv3.0 en août 2006. Il n'y a pas de prise en charge IPv6 dans la version DOCSIS 2.0. Une version dite *DOCSIS 2.0 + IPv6* existe cependant et ne nécessite qu'une mise à jour micrologicielle42.

Pour les technologies xDSL, la RFC 2472 définit l'encapsulation de IPv6 sur PPP. Le BRAS doit également prendre en charge IPv6.

En général, les équipements qui travaillent sur la couche de liaison, comme les commutateurs ethernet, n'ont pas besoin de mise à jour pour la prise en charge d'IPv6, sauf éventuellement pour le contrôle et la gestion à distance et l'optimisation de la diffusion multicast avec MLD snooping.

Les systèmes d'accès doivent généralement être revus pour IPv6, les outils d'attribution des adresses et les bases de données d'enregistrement des adresses notamment.

### Prise en charge d'IPv6 dans les systèmes d'exploitation et les logiciels

Depuis le début du XXIe siècle, tous les principaux systèmes d'exploitation (GNU/Linux, Mac OS X, Microsoft Windows, BSD, Solaris, HP-UX, etc.) ont été mis à jour pour la prise en charge d'IPv6, et c'est également le cas d'autres systèmes embarqués, tels que Symbian, QNX, Android, Windows Mobile ou Wind River.

Windows Vista prend en charge IPv6 dans sa configuration par défaut, expose les réglages IPv6 dans l'interface graphique sur le même plan que les réglages IPv4, et utilise une nouvelle pile TCP/IP *dual stack* au lieu d'une pile indépendante pour IPv6. Cette prise en charge sert de base à HomeGroup et DirectAccess dans Windows 7.

Au niveau des routeurs, Cisco offre la prise en charge IPv6 depuis 2001 avec IOS 12.2, c'est également le cas des versions récentes de logiciels par principaux vendeurs comme Juniper Networks, Alcatel-Lucent ou Redback Networks.

Certains CPE restent cependant encore incompatibles avec IPv6, ce qui rend nécessaire la configuration de tunnels.

Les applications reliées au réseau doivent être modifiées pour être compatibles avec IPv6. L'ampleur de la mise à jour du code source varie en fonction de l'usage qui est fait des adresses par les applications. Il peut s'agir d'un remplacement simple mais aussi de modifications plus complexes si l'adresse est stockée dans une base de données ou est utilisée dans un contrôle d'accès.

Quand il n'est pas possible de mettre l'application à jour rapidement, des techniques de transition permettent à des applications IPv4 de communiquer avec des clients IPv6 :

* *Bump in the Stack* (RFC 2767)
* *Bump in the API* (RFC 3338) - L'outil IPv6 CARE en fournit une implémentation pour les système UNIX.

De nombreuses applications ont déjà été portées43 C'est en particulier le cas des navigateurs web comme Internet Explorer (depuis la version 7, partiellement pour la version 6), Mozilla Firefox (1.0), Opera (7.20b), Safari et Google Chrome, du client de messagerie Mozilla Thunderbird (1.0), serveur web Apache (1.3.27/2.0.43), du serveur de mail Exim (4.20), etc.

### Déploiement d'IPv6 chez les fournisseurs d'accès à Internet en France

Renater a commencé à expérimenter IPv6 en 1996 avec le réseau G6bone, le pendant français du réseau 6bone mondial qui a démarré la même année. Ce réseau de test utilisait essentiellement des tunnels. Le service pilote IPv6 du réseau Renater 2 offre des connexions natives IPv6 sur ATM en 2002.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Fournisseur d'accès à internet** | **Date de déploiement** | **Longueur du préfixe attribué** | **MTU** | **Notes** |
| Nerim | mars 2003 | /48 | 1500 en PPPoA, 1492 en PPPoE |  |
| Free | décembre 2007 | /61 | 1480 en ADSL dégroupé, non disponible en non dégroupé | 6rd en ADSL, natif en FTTH |
| FDN | novembre 2008 | /48 | 1492 en PPPoE |  |
| SFR | fin 2011 (beta en juin 2011) | /6444 | ? | tunnel L2TP45, clients ADSL uniquement |
| Numericable | début 2012 | ? | ? | DOCSIS 3.046 |
| OVH | mi-2012 | /56 | 1500 en IPoE (dégroupé), 1492 en PPPoE | délégation de préfixe (RFC 3633) par DHCPv647 |
| Orange | prévu pour mi-201448 (tests de Wanadoo en 2005) | ? | ? |  |
| Bouygues Telecom | prévu fin 201249 mais repoussé | ? | ? |  |

### Déploiement d'IPv6 chez les fournisseurs d'accès à Internet en Suisse

Outre l'exploitant des réseaux des universités, Switch, plusieurs opérateurs alternatifs ont déployé IPv6 pour leurs clients résidentiels dès la normalisation du protocole, l'un des plus importants étant Init7.

L'opérateur historique, Swisscom, a mené des expériences de déploiement en 2003 et 2004 dans le cadre de la Swiss IPv6 Task Force dont il assurait la direction, mais seul le réseau international de la société (IP-Plus) a conservé IPv6 en production. En 2011, Swisscom a initié50 un pilote ouvert à tous ses clients pour le déploiement d'IPv6 résidentiel via la technologie 6rd, chaque client disposant d'un /60 pour son usage personnel.

Les autres grands opérateurs suisses, à savoir Sunrise, Cablecom, et Orange n'ont pas encore annoncé officiellement de plans en juillet 2011, mais France Telecom avait annoncé51 en octobre 2009 utiliser la Suisse comme pays pilote pour ses déploiements.

### Déploiement d'IPv6 en Europe

En 2000, le programme 6INIT permet l'interconnexion des réseaux nationaux de la recherche et de l'enseignement (NREN) européens grâce à des PVC IPv6 sur ATM à travers le réseau de recherche européen TEN 15552. En 2003, le réseau GÉANT, qui succède à TEN 155, utilise une double pile (IPv4 + IPv6). Dix-huit des NREN sont connectés nativement en IPv6.

La Commission européenne s'est fixé comme objectif de recevoir des engagements des 100 principaux opérateurs de sites web de l'Union européenne avant la fin de l'année 2008 et a publié un plan d'action53 en mai 2009.

En 2010, le RIPE NCC (Europe) est la région qui annonce le plus grand nombre de préfixes IPv654.

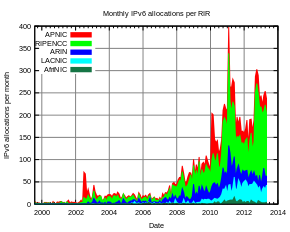
Le projet *IPv6 Ripeness*55 du RIPE vise à observer le déploiement d'IPv6 en Europe en attribuant des étoiles aux registres Internet locaux quand certains indicateurs de déploiement sont atteints. Les étoiles sont attribuées pour chacun des critères suivants :

* une allocation IPv6,
* le bloc d'adresse IPv6 est visible dans la table de routage Internet,
* le bloc fait l'objet d'un enregistrement *route6* dans la base de données du RIPE,
* la zone DNS inverse correspondant au bloc est déléguée.

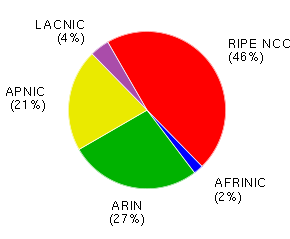
En janvier 2013, 57 % des LIR ont obtenu un bloc d'adresse IPv6, et 19 % ont atteint le niveau le plus élevé de quatre étoiles56.

|  |  |
| --- | --- |
| [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/RIPE-LIR-IPv6-201004.svg/310px-RIPE-LIR-IPv6-201004.svg.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RIPE-LIR-IPv6-201004.svg)  Résultat de l'enquête *IPv6 Ripeness* du RIPE en avril 2010, sur 6748 registres locaux. | [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/85/RIPE-LIR-IPv6-201301.svg/310px-RIPE-LIR-IPv6-201301.svg.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RIPE-LIR-IPv6-201301.svg)  Résultats en janvier 2013 sur 8803 registres locaux. |

### Déploiement d'IPv6 dans le monde

[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rir-ipv6-allocation-rate.svg)

Nombre mensuel d'allocations de blocs IPv6 par chacun des RIR depuis 1999.

[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ipv6-alloc-201001.svg)

Répartition des allocations de blocs IPv6 aux registres Internet régionaux en janvier 2010 (source OCDE). Il y avait environ 4000 allocations à ce moment.

En 1996, le réseau de test 6bone a permis les expérimentations de la technologie IPv6 (RFC 2471). Ce réseau était construit sur des tunnels, et les routes échangées par le protocole BGP4+. Les participants se voyaient octroyer un préfixe /24, /28 ou /32 dans le bloc 3ffe::/1657. Le réseau a été démantelé en 2006 (RFC 3701) au profit de connexions natives.

Aujourd'hui, de nombreux serveurs web acceptent les connexions via IPv658. Google est par exemple accessible en IPv6 depuis mars 200859, c'est également le cas de YouTube et Facebook depuis 2010.

Existent également des serveurs en IPv6 proposant des services courants, tels que FTP, SSH, SMTP, IMAP ou IRC.

En 2009, plusieurs opérateurs mondiaux ont commencé à déployer IPv660,61,62.

Au Japon, NTT commercialise différentes offres de services IPv663 et commercialise également le *Flet's phone*.

Les règlements des marchés publics rendent la prise en charge d'IPv6 obligatoire, notamment dans les États de l'Union européenne et aux États-Unis64.

Aux États-Unis, Comcast a commencé65 en 2010 des tests de diverses technologies autour d'IPv6, sur son réseau de production, en prévision du déploiement définitif et de l'épuisement des adresses IPv4. IPv6 est également utilisé par le département de la défense des États-Unis d'Amérique.

La Chine populaire considère avec intérêt l'IPv6. Elle vise à un début d'utilisation commerciale de l'IPv6 d'ici 2013, et à une utilisation et une interconnexion plus large d'ici 201566. Les adresses IPv6 chinoises ne représentent que 0,29 % des adresses IPv6 mondiales67, en 2011. Alors que la Chine est à la troisième place à un niveau mondial68.

IPv6 s'impose parfois comme unique moyen d'interconnexion avec les terminaux mobiles itinérants en Asie ; il le sera aussi rapidement en Europe quand les anciennes solutions d'interconnexion basées sur l'adressage GSM devront être remplacées par des solutions IP. De plus, l'évolution des usages mobiles allant vers une connectivité IP permanente, il deviendra alors impossible d'adresser un nombre important de terminaux mobiles avec un adressage IPv4 (même avec NAT).

Un rapport de l'OCDE publié en avril 201037 indique que le niveau d'adoption d'IPv6 est encore faible, avec de 0,25 à 1 % des utilisateurs qui font usage d'IPv6. Le trafic IPv6 natif représente 0,3 % du trafic de l'AMS-IX. À la fin de l'année 2009, 1851 numéros d'AS IPv6 étaient visibles, ce nombre ayant doublé en deux ans.

En décembre 2010, Google estime que le nombre d'utilisateurs IPv6 de son service de recherche Internet serait de 0,25 % environ3.

#### Le cas de Wikipédia

Les équipes de Wikipédia préparent cet aspect technique depuis 200869,70,71, après une tentative en 200672. Une page de suivi a été créé pour en suivre l'évolution73 Après une participation de la fondation à la journée de test de 201174. Wikipedia permet à ses utilisateurs de profiter pleinement de ses services à l'aide de l'IPv675,76 lors de la journée de lancement77,78

#### Journée mondiale IPv6

[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_IPv6_launch_logo.svg)

Logo de la journée mondiale du lancement IPv6 du 6 juin 2012.

Le 8 juin 2011 l'Internet Society (ISOC) a organisé une journée mondiale IPv6 pendant laquelle les fournisseurs et les sites ont été encouragés à tester la technologie à grande échelle79. Google, Facebook, Yahoo!, Akamai et Limelight Networks ont participé à cet événement. Google a estimé que 99,95 % des utilisateurs ne seraient pas affectés par ce test80. Des statistiques présentées par Yahoo montrent que 0,022 % des utilisateurs de leur site ont été affectés, tandis que 0,229 % ont utilisé IPv681.

L'Internet Society a annoncé une nouvelle « journée mondiale du lancement IPv6 » pour le 6 juin 201282.

### Freins au déploiement d'IPv6

#### Critiques opérationnelles

Certains, comme Randy Bush, ont critiqué la façon dont la phase de transition vers IPv6 a été élaborée, en indiquant que les difficultés et les coûts de la transition ont été minimisés, que les adresses IPv6 sont distribuées de façon trop généreuse, que le niveau actuel de trafic ne permet pas d'affirmer que les routeurs sont capables des mêmes performances qu'avec IPv4, que l'adaptation des protocoles est incomplète (notamment SNMP et les pare-feu) et que les bénéfices escomptés (en termes d'élimination de NAT et d'agrégation de la table de routage Internet) ont été surestimés83.

D'autre part, certains systèmes d'exploitation qui disposent d'une double pile sans toutefois disposer de connectivité IPv6 fonctionnelle peuvent créer des délais anormaux lors de l'accès à des serveurs qui disposent à la fois d'une adresse IPv6 et d'une adresse IPv484, l'adresse IPv6 étant utilisée en priorité avant de recourir à l'adresse IPv4 après un délai déterminé.

En 2011, la politique de *peering* de certains fournisseurs d'accès aboutit au partitionnement de l'Internet IPv6. Les utilisateurs de Hurricane Electric (AS 6939) ne peuvent pas communiquer avec ceux de Cogent (AS 174) ni ceux de Level 3 (AS 3356) par exemple. Ce problème affecte occasionnellement aussi l'Internet IPv485,86,87.

#### Freins au déploiement

Les freins au déploiement d'IPv6 sont, entre autres, les suivants :

* Pour les équipements anciens :
  + le fabricant a cessé ses activités,
  + le fabricant ne fournit pas de mise à jour pour IPv6 ou réclame des prix élevés pour le faire,
  + la mise à jour logicielle est impossible (le code étant en mémoire morte),
  + l'équipement n'a pas les ressources requises pour le traitement d'IPv6,
  + IPv6 est disponible mais avec des performances dégradées.
* Pour les équipements récents :
  + le prix de vente est plus élevé pour le consommateur,
  + le développement de logiciel compatible IPv6 est coûteux.
* L'indifférence des utilisateurs finaux :
  + les utilisateurs ne manifestent pas d'intérêt à défaut de nécessité,
  + les applications fonctionnent correctement en IPv4 actuellement,
  + la formation à la nouvelle technologie coûte cher.

Concernant le développement de la prise en charge IPv6 chez les fournisseurs de contenu et d'accès, on compare parfois le problème à celui de l'œuf et de la poule88 :

* les fournisseurs d'accès disent qu'il n'y a pas de contenu disponible spécifiquement en IPv6,
* les fournisseurs de contenu disent qu'il n'y a pas de demande.

Selon une étude publiée en octobre 200989, les fournisseurs identifient les points suivants comme les principaux obstacles :

* les coûts,
* la prise en charge par les fabricants,
* l'absence de rentabilité,
* le manque de familiarité.

Les principaux facteurs de développement sont :

* tenir le rôle de précurseur,
* s'assurer que les produits sont compatibles IPv6,
* désir de profiter des avantages d'IPv6 dès que possible,
* prévoir l'épuisement des adresses IPv4.

Concernant les problèmes rencontrés par les FAI qui ont déployé IPv6 :

* le manque de demande de la part des utilisateurs,
* le manque de familiarité avec la technologie.