

# IPv6 prépare l'Inter



Dossier  
réalisé par  
**Philippe Roure**

S. TIMASHOV - M. CHARELAT / FOTOLIA - PHOTOMONTAGE CV

Document : 0026\_PCE194\_V1.ps;Format : (209.90 x 285.04 mm);Date : 13. Jan 2009 - 16:52:00

# net des multitudes

**Le protocole de communication IPv4 est à bout de souffle et ne devrait plus, à court terme maintenant, assurer la continuité du développement d'Internet. Le futur immédiat, c'est IPv6. Les équipements sont prêts, les services se mettent en place.**

L'essor d'Internet va-t-il se ralentir dans les années à venir ? La question peut paraître absurde si l'on admet que la diversification des usages du réseau mondial en voix, téléphonie et télévision et l'extension de son accès au cinquième de la population mondiale sont survenues en quelques années seulement, à l'aide de la technologie actuelle. Mais le débat existe : IPv4 (Internet Protocol version 4), le protocole de communication qui assure l'acheminement de paquets de données entre la quasi-totalité des PC, ne permettra plus à Internet de changer d'échelle pour toucher cette fois la majorité des humains ou créer de nouveaux services. Pour éviter l'asphyxie, il serait urgent de passer à IPv6, développé à partir de 1992-1993 pour succéder à l'actuelle version du protocole, avec l'idée qu'Internet s'étendra un jour à plusieurs milliards d'objets communicants.

L'alerte a été lancée par Geoff Huston, un chercheur australien impliqué dans la gouvernance d'Internet et dont la parole est très écoutée dans ce milieu. Jusqu'alors, il situait l'épuisement des adresses v4 non encore distribuées par l'Iana (organisme gérant leur attribution au plus haut niveau) et les RIR (registres agissant au niveau des grandes régions du monde) vers 2037. Une évaluation fondée sur des hypothèses erronées selon les partisans d'un passage rapide à IPv6 mais dont les opérateurs avaient pu prendre prétexte pour ne pas hâter la transition. En mai, sur son site ([www.potaroo.net/tools/ipv4](http://www.potaroo.net/tools/ipv4)), il livrait des projections

d'épuisement des stocks Iana et RIR pour novembre 2010 et novembre 2011, à supposer qu'il n'y ait pas de changement dans les politiques de distribution d'adresses d'ici là. À cette nouvelle, reprise en boucle sur les forums spécialisés, s'est ajouté un rapport de l'OCDE qui montre, avec des arguments économiques, que la migration vers IPv6 est la seule solution à long terme pour faire fonctionner Internet. Enfin, au cours de l'été, des responsables politiques européens en ont rajouté une couche sur la nécessité de s'y mettre vite sous peine de nuire au développement économique.

Notre enquête montre que beaucoup d'opérateurs et de fournisseurs d'accès français ont mesuré leurs investissements. Aujourd'hui, ils sont en retard sur un pays comme le Japon en termes de services. De plus, dans beaucoup d'écoles d'informatique, IPv6 est mal enseigné. Pourtant, dans le monde de la recherche, les applications sont presque prêtes. Nous sommes allés les voir de près. L'Internet v6 sera peuplé par nombre d'objets autonomes et mobiles. Que fera la société de ces innovations ?

« IPv6, ce n'est pas l'Internet du futur », affirme Thierry Ernst, chercheur à l'Inria. En fait, c'est l'Internet d'aujourd'hui, avec les fournisseurs d'accès Free ou Nerim. Nous nous sommes facilement connectés avec une Freebox à quelques-uns des services v6 existants. L'intérêt réside pour l'instant dans l'apprentissage des particularités de ce protocole, des réflexes à acquérir, notamment concernant la sécurité. ☺

## SOMMAIRE

- L'ÉTAT DES LIEUX p. 28
- IPV6 EN PRATIQUE, C'EST MAINTENANT p. 30
- LARA, LA VOITURE ROBOT IPV6 p. 34



# IPv6 L'état des lieux

**La mutation IPv6 a déjà bien commencé dans le cœur des réseaux d'opérateurs mais trop rarement encore dans les services accessibles aux usagers d'Internet. Le temps presse pourtant car IPv4 arrive maintenant en bout de course.**

Depuis 1981, IPv4 mène la danse. Ce protocole a permis l'évolution des usages d'Internet que l'on connaît et l'explosion des possibilités d'accès. Pourquoi parle-t-on alors de pénurie d'adresses ? Une adresse IPv4 est un nombre codé sur 32 bits, ce qui en limite le nombre maximal théorique à 4.294.967.296. On obtient le nombre d'adresses publiques attribuables à des hôtes (machines du réseau) en enlevant quelques millions d'adresses réservées aux usages privés, spéciaux ou expérimentaux. Ces adresses publiques sont indispensables aux machines devant être jointes depuis n'importe quel point d'Internet, principalement des serveurs. Elles ne peuvent être attribuées qu'une fois, d'où la nécessité d'en tenir le registre. Sur quatre milliards d'adresses, il n'en reste qu'un (milliard) non encore alloué. Et cela justifie une politique de distribution plus restrictive, expose le directeur technique de Nerim, Raphaël Bouaziz. « Dans les années 80, les adresses IP ont été distribuées sans mesure et, longtemps, on n'a pas regardé l'usage qui en était fait. Il y a dix ans, les LIR (registres Internet locaux fournissant des adresses à des tiers) obtenaient des adresses /19 (préfixe de 19 bits pour un bloc de 8 192 adresses). Aujourd'hui, on distribue par petits blocs pour mieux coller aux besoins. Les LIR obtiennent plutôt des /22 (blocs de 1 024), les grands utilisateurs en bout de chaîne, des blocs plus petits encore. Le temps est loin où une université pouvait obtenir un /16. Si la pénurie s'aggrave, les registres pourront

mesurer l'utilisation publique des adresses déjà allouées à une organisation avant de lui en accorder d'autres. D'après Geoff Huston (bgp.potaroo.net), seulement 44 % de l'espace d'adressage est annoncé. » En fait, les premières craintes de pénurie et la planification de mesures palliatives datent du début des années 90, rappelle Mohsen Souissi, responsable recherche et développement à l'Afnic. « À cette époque, les préfixes IP de classe A étaient presque épuisés, ceux de classe B très largement entamés, et l'attribution des adresses de classe C avait commencé. On s'inquiétait déjà de la diminution du stock d'adresses, et l'on redoutait aussi l'explosion de la taille des tables de routage, en raison du très grand nombre des réseaux de classe C qui risquaient d'être utilisés sans aucune agrégation. Deux techniques ont été mises au point pour s'attaquer à ces problèmes. Le CIDR (Classless Inter-Domain Routing, routage inter-domaine sans classe), qui remplace les classes par un adressage agrégé géré par les registres Internet régionaux (RIR) et locaux (LIR, typiquement les fournisseurs d'accès), permet une meilleure attribution des blocs d'adresses (préfixes). Le NAT autorise quant à lui l'emploi de mêmes plages d'adresses (dites RFC 1918) au sein de différents réseaux privés. En ouvrant ces espaces d'adresses privées, le NAT a permis l'exten-

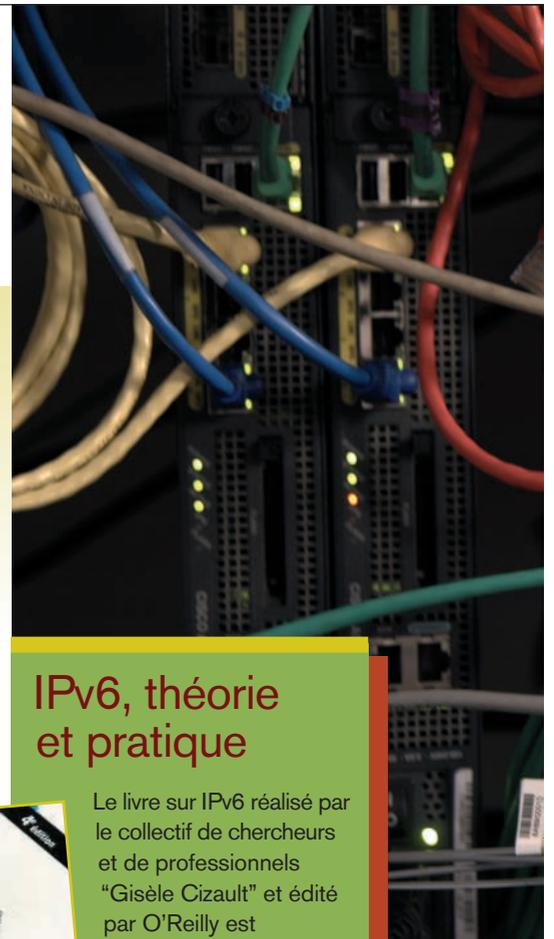
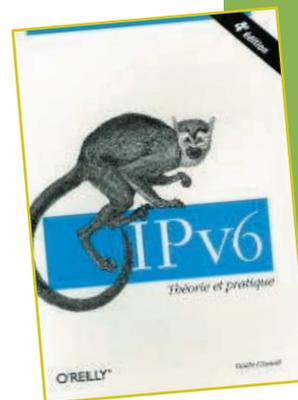
sion rapide d'Internet dans les années 90, mais il a aussi cassé un de ses principes fondateurs, le bout-en-bout, la possibilité de joindre un hôte directement depuis n'importe quel point du réseau, ce qui pose des problèmes croissants aux développeurs d'applications. » IPv6 devrait éloigner le spectre de la pénurie et, à terme, réduire le recours au NAT car il apporte un nombre gigantesque d'adresses valables d'un bout à l'autre du réseau global ( $2^{128}$  adresses en théorie).

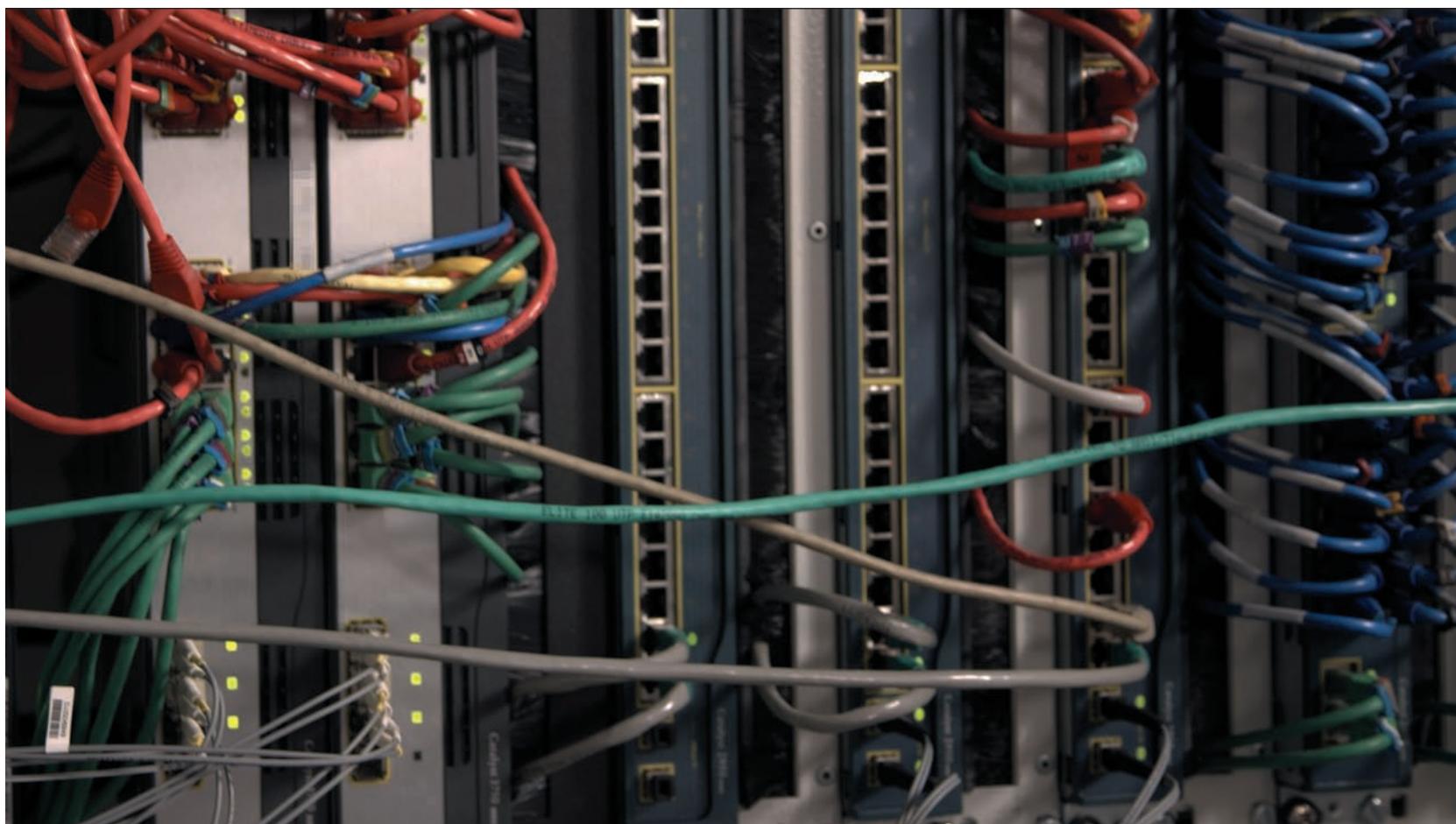
## Y a-t-il vraiment urgence ?

Les appréciations sur l'urgence de passer à IPv6 sont nuancées. « En 2011, il y aura encore des adresses IPv4 disponibles parce que leur distribution a été rationalisée et

## IPv6, théorie et pratique

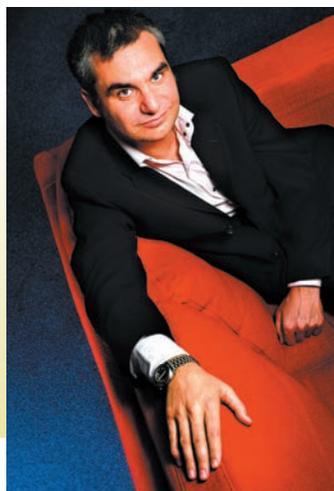
Le livre sur IPv6 réalisé par le collectif de chercheurs et de professionnels "Gisèle Cizault" et édité par O'Reilly est disponible sur Internet (<http://livre.g6.asso.fr>). Le but est d'en faire évoluer le texte pour qu'il soit à jour en permanence.





restera bien contrôlée. Mais il est temps de penser IPv6 comme le protocole Internet par défaut étant donné le temps nécessaire à sa mise en place. C'est un travail qui ne se fait pas en un an. Il n'y a pas d'urgence aujourd'hui mais il est temps de s'y mettre», estime Raphaël Bouaziz, dont l'entreprise, Nerim, propose déjà hébergement et connexions IPv6. Blaise Thauvin, son homologue chez l'hébergeur Amen, est plus pessimiste. « Il est urgent de savoir faire de l'IPv6, parce que les adresses v4 sont déjà rationnées et que les besoins vont augmenter dans les années à venir avec l'utilisation croissante d'IP par les téléphones et les voitures. Aujourd'hui, le

trafic IPv6 est très faible, et il n'est indispensable à personne. Mais il faut être prêt pour le moment où cela décollera. Chez Amen, nous allons former les administrateurs réseau, notamment aux aspects de sécurité d'IPv6, et adapter notre réseau pour fournir des services en v6. »



“ Il est urgent de savoir faire de l'IPv6, parce que les adresses v4 sont déjà rationnées et que les besoins vont augmenter avec l'utilisation croissante d'IP par les téléphones et les voitures. ”

Blaise Thauvin, directeur technique d'Amen

Les investissements pour apporter IPv6 jusqu'à l'utilisateur sous forme de services ont été longtemps retardés. Maintenant, le temps commence à manquer.

Si l'on admet qu'il existe un certain nombre d'incertitudes sur la date exacte de la fin des adresses IPv4, le problème n'est pas pour autant évacué. Une fois le stock épuisé, l'entrée de nouveaux acteurs ou le développement de l'Internet public ne seront possibles qu'en IPv6, à moins que l'on trouve un moyen de recycler les adresses v4 non annoncées en limitant les effets de bords. Dans le rapport de l'OCDE sont évoquées quelques hypothèses à ce sujet. L'une d'entre elles évoque l'émergence

d'un marché parallèle alimenté par les organisations possédant les anciennes classes A ou B. Un recyclage anarchique n'irait pas sans présenter quelques risques, parmi lesquels l'inflation des tables de routage, les problèmes techniques et juridiques de changement de numérotation des réseaux, la spéculation, etc.

La plupart des routeurs bon marché - des petits serveurs Nas - ne comprennent pas IPv6. Les boîtiers des fournisseurs (ici une Freebox) peuvent être mis à jour à distance avec un système compatible.

## IPv6 EN PRATIQUE, C'EST MAINTENANT !

Nerim et Free proposent des connexions IPv6 jusqu'à l'abonné. Avec Nerim, il faut utiliser un routeur compatible ; avec Free, la Freebox joue le rôle d'un routeur IPv6. Il suffit d'activer l'option dans l'interface d'administration Web. La Freebox est, par défaut, un pont en IPv4 et un routeur en IPv6. Il est plus simple d'avoir le même type de réseau dans les deux protocoles et de configurer la Freebox comme un routeur NAT IPv4. On pourra ainsi placer un commutateur derrière la Freebox pour y connecter les diverses machines. Chaque abonné bénéficie non pas d'une adresse IPv6 mais d'un préfixe, un début d'adresse fixe d'une longueur de 60 bits chez Free, de 48 bits chez Nerim. Les appareils situés derrière le routeur disposent des bits restants pour former leur adresse IP. Pour Free, on peut créer quatre sous-réseaux de 64 bits (un seul actuellement, quatre

lorsque l'interface d'administration de la Freebox sera mise à jour). Chez Nerim, on dispose de 65 536 sous-réseaux de 64 bits, un préfixe qui conviendra à une belle organisation. Un sous-réseau de 64 bits (on parle d'un /64) contient plus de 18 milliards de milliards d'adresses mais ne peut être subdivisé en plus petits sous-réseaux. Les stations et le routeur doivent être sur le même lien - sans routeur intermédiaire - pour bien fonctionner. Lorsque l'on branche sur ce réseau un ordinateur avec un OS prêt pour IPv6, il acquiert d'abord une adresse valable sur le lien (Link-local), qui lui sert à contacter un éventuel routeur. Celui-ci répond aux sollicitations par un message contenant les éléments nécessaires à l'autoconfiguration, comme le préfixe du réseau. La station construit son adresse IPv6 valable globalement avec le préfixe et l'adresse MAC de sa carte réseau. On

peut imposer une allocation de l'adresse par DHCPv6 (en configurant un serveur) ou en utilisant d'autres données que l'adresse MAC, qui peut poser des problèmes de préservation de la vie privée (cette adresse est unique, donc caractéristique d'une machine).

Avec IPv6, il n'est plus nécessaire de faire du NAT, chaque station du réseau peut être jointe directement, sur chacun de ses ports. Un filtre de paquet n'en est pas moins nécessaire. « Avec IPv4, on est obligé de faire du NAT, qui va de pair avec un routeur pare-feu. Avec v6, beaucoup oublieront le pare-feu. C'est comme la formation des adresses v6 avec les adresses MAC, le comportement par défaut n'est pas très sûr », estime Nicolas Monnet, administrateur système indépendant. Un conseil : lisez de la documentation avant de vous lancer...



### CONFIGURATION DE MA FREEBOX

Si vous utilisez un autre serveur mail sortant que celui fourni par Free, ou si vous hébergez un serveur de mail, vous devez désactiver l'option suivante.

Pour la majorité des utilisateurs, il est plus sûr de ne pas modifier cette option.

Blocage SMTP sortant  Activer

Activer le support IPv6. Cette option ne fonctionne qu'en zone dégroupée.

Support IPv6:  Activer

Après avoir coché l'option IPv6 dans la console Web d'administration de la Freebox, on redémarre. Les OS doivent alors hériter d'une adresse globale leur permettant d'accéder aux sites IPv6.

```
albiere@X31: ~
Eichier  Édition  Affichage  Terminal  Onglets  Aide
<AF>=Utilisez '-6|-4' ou '-A <af>' ou '--<af>'; défaut: inet
Liste les familles d'adresses possibles (supportant le routage):
inet (DARPA Internet) inet6 (IPv6) ax25 (AMPR AX.25)
netrom (AMPR NET/ROM) ipx (Novell IPX) ddp (Appletalk DDP)
x25 (CCITT X.25)
albiere@X31:~$ netstat inet6
Connexions Internet actives (sans serveurs)
Proto Recv-Q Send-Q Adresse locale Adresse distante Etat
tcp6 0 0 2a01:e35:2e1e:f5f:51633 2001:4860:0:1001::6:www ESTABLISHED
tcp6 0 0 2a01:e35:2e1e:f5f:40524 www.wide.ad.jp:www TIME_WAIT
tcp6 0 0 2a01:e35:2e1e:f5f:51632 2001:4860:0:1001::6:www ESTABLISHED
```

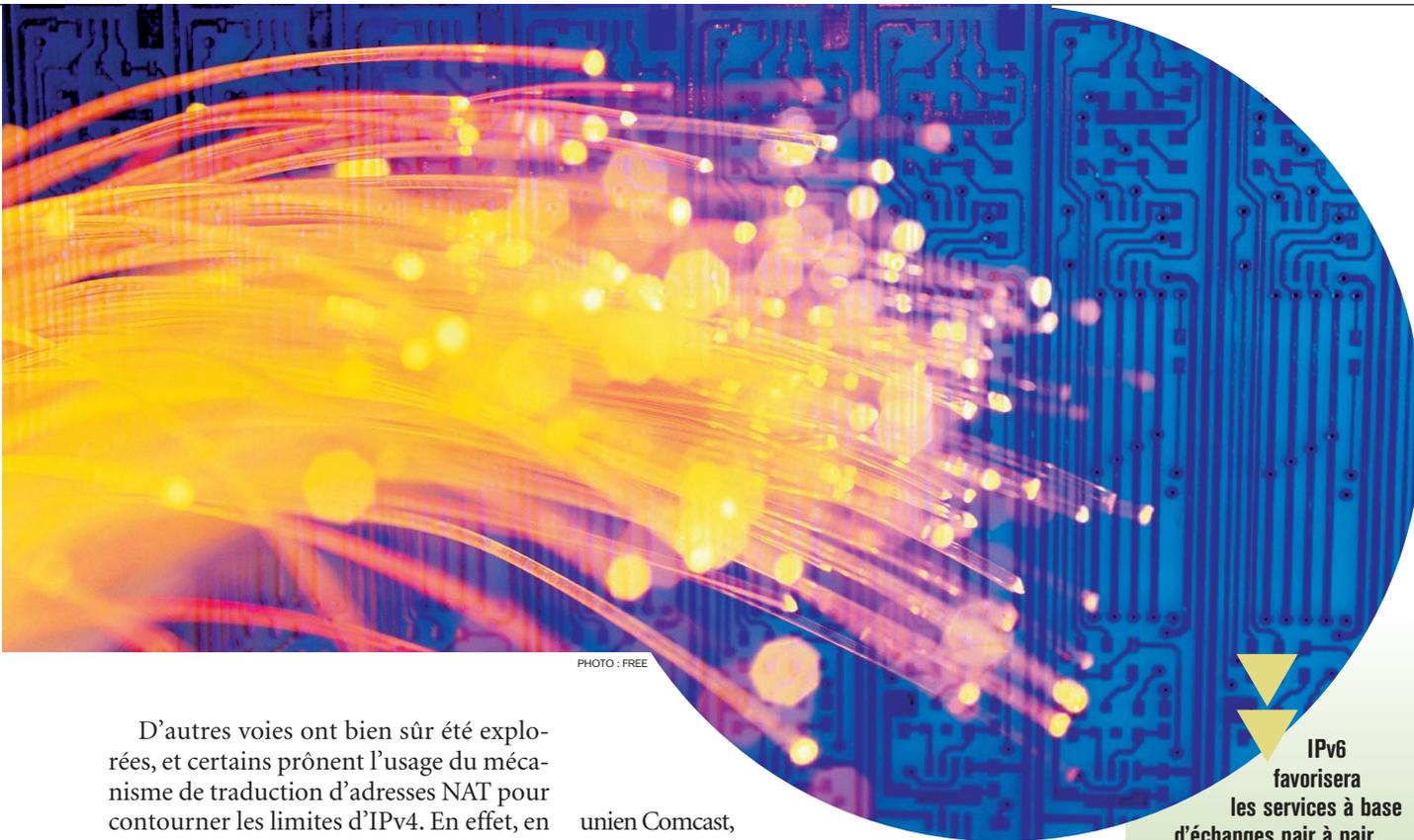


PHOTO : FREE

D'autres voies ont bien sûr été explorées, et certains prônent l'usage du mécanisme de traduction d'adresses NAT pour contourner les limites d'IPv4. En effet, en permettant à de nombreux ordinateurs d'un réseau privé de partager une seule adresse publique, il semble à première vue remplir les conditions nécessaires.

### Pourquoi pas le NAT ?

Mais le NAT trouve aujourd'hui sa limite avec les applications requérant l'ouverture de connexions depuis un serveur, ou depuis un autre pair, ou celles utilisant les adresses des hôtes dans leurs données : programmes de messagerie, téléphones (Skype, GTalk, Blackberry), jeux en ligne, logiciels multimédias, de stockage distribué, de distribution de fichiers ou de flux vidéo. Pour bien fonctionner, ils doivent recourir à diverses astuces alambiquées et ont parfois besoin d'un proxy sur la passerelle NAT. Le code nécessaire à la traversée des passerelles NAT rend plus complexes les pare-feu et les applications concernées, ce qui lèse la sécurité et le développement. D'après Microsoft, le coût additionnel serait de l'ordre de 10%. Erik Kline et Lorenzo Colitti, de Google, estiment en outre que le NAT omniprésent empêche le fonctionnement optimal des applications Ajax. Enfin, le NAT ne permet pas la création de réseaux de plus de 16 millions d'adresses, ce qui est trop peu pour un gros câblo-opérateur comme l'états-

unien Comcast, qui requiert un bloc de 100 millions. La solution consistant à créer des réseaux NAT en cascade, emboîtés comme des poupées russes, ne ferait qu'aggraver les problèmes de fonctionnement du réseau et de codage des applications, limitant ainsi les possibilités d'innovation.

Il reste que c'est peut-être une technique de la famille NAT qui sera utilisée pour relier les ordinateurs uniquement IPv6 (dépourvus d'adresses v4), à la part d'Internet qui n'a pas entamé la migration (toujours sous IPv4). En effet, IPv6 n'a pas été pensé pour être rétro-compatible : il devait se déployer bien avant qu'il y ait pénurie d'adresses IPv4. Les mécanismes de transition ne couvrent donc pas le cas où les adresses IPv4 sont épuisées avant l'essor d'IPv6. De nouveaux mécanismes de traduction v6-v4 sont en cours d'étude à l'IETF, l'instance où sont élaborés les standards techniques du Net.

### Pourquoi tant de retard ?

Alors que l'échéance d'épuisement des adresses IPv4 se rapproche, on a l'impression d'une impréparation générale. Des entreprises dont le métier est le réseau, opérateurs internationaux ou historiques,

IPv6 favorisera les services à base d'échanges pair à pair, comme la distribution de vidéos, la sauvegarde en ligne, etc. Le mariage avec la fibre optique jusqu'au client, porteuse de débits symétriques, est évident.

ont rendu compatibles IPv6 leurs cœurs de réseau mais plus rarement la connexion à l'abonné. Mis à part Renater (depuis 2001), Nerim (2002) et Free (fin 2007), aucun fournisseur d'accès français ne propose IPv6. Parmi les hébergeurs, on ne compte que Nerim, OVH et Free. Côté gestionnaires DNS, IPv6 est supporté par une bonne partie des opérateurs de la racine DNS et des opérateurs de domaines de premier niveau (Top Level Domain) tels que l'Afnic (gérant le .fr) qui a intégré IPv6 dès 2002. Les bureaux d'enregistrement, les hébergeurs et titulaires de noms de domaine peinent à suivre. Depuis le mois de février, Google a ouvert son moteur de recherche en v6 (<http://ipv6.google.com>) mais aucun autre de ses services. Pourquoi une progression si lente ? Existe-t-il des blocages ? Mohsen Souissi, de l'Afnic, donne des éléments de réponse. « Il y a six ans, les systèmes d'exploitation étaient immatures

dans la prise en charge d'IPv6, et des fabricants d'équipements de réseaux s'étonnaient de recevoir des demandes de produits pour IPv6. Aujourd'hui, les systèmes y sont passés, même Windows avec Vista. Quant aux équipements, les offres commerciales existent, mais elles sont moins nombreuses, et les fonctions ne sont pas toujours à parité, principalement en ce qui concerne les pare-feu ou les répartiteurs de charge. Un produit, par exemple, pourra avoir une fonction réalisée par le matériel en IPv4 et par le logiciel en IPv6. Elle sera moins performante. Cela dit, j'estime que les fournisseurs d'accès ou les hébergeurs ne peuvent plus tirer prétexte de ce moindre choix de matériels pour repousser encore les investissements nécessaires au déploiement d'IPv6. »

Pour Rani Assaf, directeur technique de Free, les équipements v6 ne sont en effet pas au même niveau. « Ce qui manque vraiment aujourd'hui ce sont les loadbalancers (répartiteurs de charge) supportant IPv6. Linux Virtual Server (LVS) ne le fait pas encore, et Cisco vient tout juste de sortir une carte qui le supporte. » Free a pourtant déployé partiellement IPv6. Chez Amen, où l'on n'est toujours pas passé à v6, on rencontre plusieurs difficultés, dont la disponibilité d'équipements réseau compatibles ou l'offre de connexions internationales. « Pour un Cisco qui supporte v6 depuis longtemps, d'autres le proposent en option payante. Et l'offre de transit IPv6 n'est pas très large. Les opérateurs à petits prix (Cogent, Lambda Net) ne le font pas. Il faut aller chez Telia ou Above Net, et c'est deux à trois fois plus cher », note Blaise Thauvin, le directeur technique d'Amen. Et quand les services



Rares sont les services IPv6. Google ne propose que son moteur de recherche.

existants, ils ne sont pas toujours au même niveau que pour IPv4. Chez Claranet, les demandes de connexion de transit peuvent traîner en longueur, de même que les dépannages chez OVH. Les procédures ne sont pas rodées. Dernier obstacle potentiel, les boîtiers de connexion pour l'abonné. Si la plupart des routeurs bas de gamme, petits serveurs Nas, points d'accès Wi-Fi ignorent IPv6, les boîtiers d'opérateurs dont le logiciel est mis à jour régulièrement le prennent en charge, au moins potentiellement. Car, du côté des opérateurs, il y a peut-être un manque d'allant, d'après Paul Rolland, directeur technique de Witbe, société d'étude sur la qualité des réseaux. « La plupart des opérateurs ne voyant pas de demande venir ne sont pas poussés à anticiper la lame de fond. C'est une logique à court terme et une erreur à moyen terme. En reportant les investissements, ils ne seront pas en position pour créer de nouveaux services. Si le cœur réseau de la plupart des opérateurs est passé sans trop de difficulté à IPv6, il n'en est pas de même pour les milliers de DSLAM et d'équipements dits "de collecte". IPv6 est alors une formidable opportunité pour revoir une architecture de débits asymétriques qui convient moins à Internet qu'au Minitel. »

### À quoi servira IPv6 ?

Il n'est pas évident, actuellement, d'affirmer ce que pourrait être un Internet tirant parti des possibilités d'IPv6. Et ce ne sont pas les quelques services Web ou FTP accessibles en v6 aujourd'hui qui y aideront. Plusieurs caractéristiques de ce protocole pourraient susciter une vague d'applications et d'usages nouveaux : son nombre immense d'adresses publiques, ses mécanismes intégrés pour la sécurité, l'auto-configuration des hôtes, leur mobilité d'un réseau à l'autre, et des possibilités d'extension prévues au sein même du protocole. L'abondance d'adresses publiques, en particulier, devrait entraîner une vague d'innovations en rétablissant le principe du bout-en-bout, la capacité de se connecter à un hôte depuis un point quelconque

du réseau. « IPv6 a plusieurs fois été "vendu" comme indispensable à une killer application que l'on a cru un moment reconnaître dans la vidéo ou la domotique et qui aurait fait espérer un retour rapide sur investissement. Il n'y a toujours pas de killer application, mais IPv6 repousse les limites de ce que l'on considère comme possible et stimule l'imagination. Avec le rétablissement du principe du bout-en-bout, les applications de pair à



“ IPv6 est une formidable opportunité pour revoir une architecture de débits asymétriques qui convient moins à Internet qu'au Minitel. ”

Paul Rolland, directeur technique de Witbe

pair pourront foisonner et progresser. Des laboratoires travaillent actuellement sur des protocoles et algorithmes pour les améliorer », explique Mohsen Souissi.

Débarassé des contraintes d'IPv4, un Internet v6 s'ouvrirait à d'autres applications. IPv6 rendrait possible les réseaux de capteurs à une échelle suffisante pour la gestion du trafic routier, la logistique des marchandises, les mesures de pollution, la diffusion d'alertes, la surveillance météo ou celle des séismes. « Au Japon, les trains Shinkansen s'arrêtent automatiquement en cas d'alerte de tremblement de terre. C'est

un système propriétaire fermé. Basé sur IP, il pourrait être étendu à d'autres services, par exemple pour fermer automatiquement le gaz dans les appartements. IPv6 est nécessaire à ces échelles », relève Thierry Ernst. Ce chercheur travaille sur la mobilité IPv6 appliquée aux véhicules. L'horizon, c'est la voiture robotique (lire ci-dessous).

Moins futuristes sont les applications d'IPv6 au téléphone ou à l'ordinateur mobiles. Sans la nécessité du NAT, les programmes de messagerie gagneraient en simplicité. « Aujourd'hui, avec des réseaux derrière un NAT, les systèmes comme le

Blackberry exigent de l'opérateur des adaptations non standard et complexes. Quant aux messageries instantanées, elles ne supportent pas le changement d'adresse consécutif à une interruption de connexion », note Nicolas Monnet, administrateur système indépendant. En IPv6, les terminaux pourraient avoir un accès direct et non restreint à Internet et être accessibles avec des protocoles P2P, XMPP (Jabber) ou SIP (téléphonie). Mais tous les services imaginables, grands utilisateurs de données, n'auront de raison d'être que couplés à des tarifs raisonnables. Les opérateurs ont-ils vraiment intérêt à voir l'arrivée d'IPv6? ☞

## Lara, la voiture robot pilote IPv6

**Visite d'un laboratoire de l'Inria (Institut national de la recherche en informatique et en automatique) où des applications d'Internet v6 sont en préparation, dont une dans le monde de l'automobile.**

L'Internet avec IPv4 est limité aux ordinateurs et aux terminaux mobiles. Il est petit, relativement à ce que pourrait être un Internet IPv6, qui a des adresses à foison et une meilleure capacité à prendre en charge des hôtes mobiles. Alors qu'IPv4 empêche de concevoir des systèmes impliquant des flottes d'autobus ou de vélos, des étiquettes de marchandises, des capteurs de pollution, bref, d'imaginer un Internet étendu à des objets, IPv6 y incite. La recherche française, impliquée depuis l'origine dans la conception de ce protocole, est en pointe sur son potentiel. À l'Inria de Rocquencourt, près de Versailles, on planche dessus. Nous y avons été reçus par Thierry Ernst, ingénieur de recherche sur le projet Lara, La Route automatisée, et président du comité de pilotage de la Task Force France, qui promeut IPv6, notamment auprès des politiques. Il a suivi avec attention une actualité favorable à IPv6, les annonces de l'épuisement prochain du

stock d'adresses v4 ou les déclarations d'Éric Besson sur les objectifs d'utilisation d'IPv6 par les administrations, lors de la réunion de l'Icann en juin. Il se réjouit aussi qu'un fournisseur d'accès grand public, Free, propose IPv6 en standard. Mais il note une certaine frilosité du côté des industriels, dont les investissements sont pourtant nécessaires au financement de la recherche appliquée. Un exemple en est 6Wind, pionnier des routeurs IPv6, reconverti aujourd'hui dans les services IPv4.

« Au Japon, on trouve davantage de partenaires industriels pour financer les recherches et développer le code. C'est le cas dans le domaine des capteurs », note Thierry Ernst. Dans le laboratoire, on croise des étudiants japonais et



**Un véhicule capable de rouler en convoi, relié aux autres voitures par des communications sur IPv6.**

l'on voit des matériels en provenance de leur archipel. Ici et là traînent une caméra IP Panasonic, une station météo Weathernews Inc, des capteurs de position, de température, d'humidité, conçus par le projet Wide. Ces objets

reliés au réseau ne sont que des éléments de systèmes, encore à l'état de prototypes, qui nécessitent IPv6. « IPv4 bride certaines



applications ou services comme les objets domestiques IP. Le lapin Nabaztag, par exemple, ne pourrait être vendu en masse, à cause du manque d'adresses. D'autres applications ne sont tout simplement pas imaginables en IPv4. Dans le monde de l'automobile, lorsque l'on pense IP, c'est IPv6.

L'automobile, justement, c'est le sujet du projet Lara, La Route automatisée, mené avec l'école des Mines de Paris. L'idée de confier une part du pilotage à des automatismes provient d'un constat : la voirie est mal utilisée, la conduite humaine exigeant une distance de sécurité et provoquant des embouteillages. « L'objectif est d'avoir des véhicules en pilotage automatique capables de se coordonner. Nous avons réalisé un train de voitures circulant à faible vitesse pare-chocs contre pare-chocs. On pourrait l'imaginer allant à 200 km/h. Nous travaillons ici à rendre IP compatible avec les contraintes du temps réel qui s'imposent pour les communications entre véhicules », explique-t-il. Avant de conduire toutes seules, les voitures IPv6 devraient pouvoir assister le conducteur, l'avertir des embouteillages, des dangers, alerter les secours ou permettre à un dépanneur d'établir un télédiagnostic. Cela sera possible d'ici quelques années, assure le chercheur. « C'est

**Thierry Ernst, ingénieur de recherche sur le projet Lara, présente la voiture de demain, truffée d'ordinateurs et de routeurs IPv6 pour une route plus sûre.**

simple à déployer. Il suffit d'une passerelle IP-3G, Wimax ou Wi-Fi reliée au bus Can, en lecture seule. » L'idée de mobilité des hôtes, absente du protocole IPv4, a été prise en compte dès la conception

d'IPv6. La mobilité des sous-réseaux a été étudiée plus récemment avec Nemo (Network Mobility). Elle sera nécessaire dès lors que les véhicules embarqueront plusieurs équipements pourvus d'une adresse IP, tels que les divers capteurs ou les systèmes récréatifs. Tous ces appareils parleront IPv6, par souci de ne pas multiplier les réseaux incompatibles. Mais pour décrocher son permis de conduire, IP nécessite d'autres adaptations. Le projet Geo-



net devrait lui ajouter la notion de position géographique, une capacité nécessaire à la diffusion de messages à destination d'autres véhicules circulant sur une portion d'une route particulière, par exemple pour qu'une voiture puisse signaler un danger à toutes les suivantes.

À l'extérieur du laboratoire, une voiture aux couleurs de Lara, mais d'apparence banale, est garée. L'ouverture des portières montre des petits ordinateurs en réseau et des capteurs, dont un laser détecteur d'obstacle dont on voit l'emplacement sous la calandre. Cette voiture préfigure les ITS (systèmes de transport intelligents), capables d'échanger des informations entre eux. « Les véhicules sont eux-mêmes des routeurs OLSR (mode Ad-Hoc). Ils captent des informations sur les autres véhicules de la flotte, sur l'état de la route et les fusionnent avec celles qu'ils détiennent déjà », explique Thierry Ernst. Grâce à la cybernétique et à IPv6, l'intelligence viendra-t-elle à la conduite ?

En attendant la réponse, d'autres applications basées sur les réseaux de capteurs pourraient voir le jour. Petits comme un paquet de cigarettes, ces appareils transmettent diverses données suivant leur conception : coordonnées GPS, température, humidité... Au Japon, des automates de vente sont surveillés à distance, via des réseaux IPv6. Peut-être celui-ci s'invitera-t-il d'abord dans nos domiciles, dans nos objets familiers, sans bruit. Il serait temps de réfléchir aux usages d'IPv6, y compris ceux que l'on ne souhaite pas voir advenir. ●