

# IPv6 : le point sur les mythes et les réalités

■ Bernard TUY, Bernard.Tuy@urec.cnrs.fr  
CNRS / UREC

■ Luc SACCAVINI, Luc.Saccavini@inrialpes.fr  
INRIA Rhône-Alpes

*Après une brève introduction sur l'évolution de l'Internet qui montre la perte de transparence observée au niveau de l'adressage IP(v4) due aux pare-feu, à l'utilisation d'adresses privées et aux allocations dynamiques d'adresses IP (cf. NAT, PPP, DHCP), on indique en quoi cette perte de transparence pose problème.*

*Puis sont présentées très sommairement les caractéristiques techniques d'IPv6 dans le but de montrer en quoi IPv6 peut être une réponse aux problèmes précédemment évoqués.*

*L'exposé continue sur la situation d'IPv6 notamment en matière de standards et d'implémentations.*

*Pour terminer, sont présentées les perspectives de migration IPv4->IPv6, les schémas possibles et leurs avantages et inconvénients.*

## ■ Introduction

C'est aux JRES de Chambéry, en 1995, qu'avait été présenté pour la première fois à notre communauté, le protocole IPv6.

Depuis lors, « quelques » progrès ont été réalisés... concernant la standardisation du protocole mais aussi ses implantations et même son déploiement.

A l'heure où certains ont enterré IPv6 et ses promesses avant qu'il ait eu le temps de naître, ou beaucoup d'autres se demandent s'il sera un jour déployé pour du trafic opérationnel en voyant se rapprocher l'échéance de la pénurie d'adresses IPv4, il nous semble important de faire un point de la situation.

On ne cherchera pas à donner de directions impératives, mais à montrer ce qu'il est déjà raisonnable de mettre en œuvre et de pointer les manques, qui devraient être comblés dans les mois qui viennent B du moins, l'es-père t-on ! à en juger par l'intense activité des groupes de travail de l'IETF, notamment celui en charge des mécanismes de transition (NGtrans).

## ■ Point sur la standardisation des protocoles IPv6

Entre fin 1998 et début 1999 plus de vingt RFC ont été publiés sur IPv6 dont 14 avec le statut de standard (proposé ou projet). Cela représente 14 % des RFC standards publiés en une année par l'IETF, et cela montre aussi l'état de maturité important qu'a atteint le processus de standardisation d'IPv6. On peut regrouper en 4 grandes catégories l'ensemble de ces documents :

- La définition du protocole IPv6 : Il est défini dans le RFC2460, que complètent les RFC2461 (Neighbor Discovery), RFC 2462 (Autoconfiguration), RFC2463 (ICMPv6), RFC2473 (Tunneling), RFC2675 (IPv6 Jumbograms), RFC2374 (plan d'adressage), et RFC2526 (Anycast).
- Le routage qui est défini par les RFC2080 (RIPng) et RFC2545 (BGP4+).
- L'adaptation à la couche liaison : le transport des datagrammes IPv6 est standardisé sur l'essentiel des protocoles de niveau 2 par les RFC2464 (Ethernet), RFC2467 (FDDI), RFC2470 (Token Ring), RFC2491 (Non Broadcast Media Acces), RFC2492 (ATM), RFC2497 (Arcnet), RFC2590 (Frame Relay).
- La transition IPv4 -> IPv6 : C'est le point chaud du processus de standardisation. Un grand nombre de propositions B souvent complémentaires les unes des autres B existent, néanmoins peu d'entre elles ont atteint une maturité suffisante pour obtenir le statut de standard. On peut citer les RFC1933 (Transition pour routeurs), RFC2428 (FTP extensions pour IPv6), RFC2529 (IPv6 sur IPv4 sans tunnels).



L'autoconfiguration des interfaces réseau, la multi-domiciliation (multihoming) des sites, et la mobilité des machines sont des fonctionnalités majeures dans cette nouvelle version du protocole IP. Le travail de standardisation touche à sa fin pour ces fonctionnalités. De même, pour rendre l'autoconfiguration complète, la mise à jour dynamique et sécurisée du DNS (RFC2535 à 2539, et RFC2673) est en cours d'achèvement. Cette évolution du DNS doit aussi intégrer les standards IPsec sur la sécurisation au niveau IP (RFC2401, RFC2406 à 2408).

Certaines fonctionnalités manquent encore, c'est notamment le cas du routage multicast inter-domaine. L'échéance pour le moment n'est pas prédictible, bien que des équipes travaillent depuis plusieurs mois sur une version IPv6 de PIM.

## ■ IPv6 pourquoi ?

A l'origine les architectes d'Internet ont développé les protocoles de la suite TCP/IP en respectant un modèle dit « de bout en bout » où, schématiquement, l'intelligence est concentrée aux extrémités du réseau sur le client et le serveur. Ce modèle étant le seul à pouvoir prendre en compte un réseau sans administration globale et de dimension planétaire (les arguments détaillés sont développés dans le RFC1958). La notion de transparence est fortement associée à ce modèle, elle se traduit principalement par l'unicité des adresses IP, et leur invariance au cours du transport des datagrammes dans le réseau.

L'apparition du concept d'Intranet a considérablement perturbé le modèle de bout en bout par la segmentation qu'il introduit sur la connectivité globale de l'Internet. Les problèmes se produisent essentiellement quand il y a un mélange Intranet/Internet. Dans ce cas, la mise en place de NAT (traducteurs d'adresses), pare-feu, et autres relais d'applications, réduit volontairement la transparence avec un double objectif : d'une part on veut une amélioration de la sécurité, d'autre part on veut pouvoir disposer d'un espace d'adressage important en ne « consommant » qu'un petit nombre des adresses publiques (officielles) de l'Internet.

Autant ces solutions temporaires (CIDR, NAT...) ont permis d'attendre une solution plus définitive B le déploiement d'IPv6 ? B autant il est dangereux de vouloir les pérenniser en leur ajoutant sans cesse des verrues supplémentaires (il y en a déjà beaucoup dans la pile des protocoles IP).

De plus, cela freine aussi le déploiement d'IPv6. Ce sujet est amplement développé dans le document en cours d'élaboration : <ftp://ftp.imag.fr/archive/IETF/internet-drafts/draft-carpenter-transparency-04.txt>.

En effet la contradiction avec le modèle de bout en bout ne permet pas de bénéficier des améliorations technologiques qu'apportent (de façon native) la suite des standards IPv6 comme :

- Un espace d'adressage illimité, permettant de prendre en compte de nouvelles catégories d'équipements comme les téléphones.
- L'autoconfiguration, contribuant à diminuer le travail d'administration des machines.
- La gestion de la mobilité qui se développe fortement.
- La sécurité, avec IPsec qui traite cette question au niveau IP, est en conformité avec le modèle de bout en bout ce qui permet d'assurer cette indispensable fonctionnalité sans nuire à la connectivité globale des machines.

Enfin, dernier volet B de taille B dans cet inventaire des enjeux de l'Internet : la réduction de l'espace d'adresses disponibles en IPv4 est une réalité que personne ne songe plus à nier.

L'explosion des besoins en la matière, que ce soit pour adresser les équipements de pays dits émergents (que l'on songe au développement actuel de l'Internet en Chine) ou simplement pour installer une pile protocolaire IP dans chaque téléphone, voiture... ne permet plus d'éluder la transition de IPv4 vers autre chose.

Cet autre chose, du moins dans la démarche des concepteurs d'IPv6, ne vient pas tout remplacer, mais assurer une coexistence pacifique et opératoire avec IPv4. Il est même fort probable que la collaboration entre les ressources des deux mondes sera de longue durée.

## ■ Réalisations

S'il suffisait de regarder les applications disponibles et les implantations dans les équipements qui sont les nôtres aujourd'hui pour décider de migrer vers IPv6... beaucoup d'administrateurs systèmes et réseaux auraient déjà sauté le pas !

On ne cherchera pas à dresser ici une liste exhaustive de ces réalisations (ce serait fastidieux et de toute façon incomplet), mais à titre d'exemples on citera dans chacune des catégories d'équipements, les faits majeurs.

### Les Postes de travail

A tout seigneur tout honneur : la plupart des Unix intègrent aujourd'hui une pile IPv6 (FreeBSD, NetBSD, Linux, Ultrix, HP-UX... Solaris...). Dans le monde Windows il existe un code IPv6 également qui est en deuxième génération. Ce code n'est disponible que pour Windows NT et Windows 2000.

Il n'est pas actuellement prévu de code pour Windows 95 et Windows 98. Dans le monde Apple, il semble B sauf mauvaise information B que l'on en soit rester aux déclarations d'intention...

## **Routeurs**

Là encore, la plupart des constructeurs annoncent B au moins B une version intégrant une pile IPv6 dans le système d'exploitation de leurs équipements. On retrouve les partenaires majeurs pour notre communauté : Cisco, 3COM, Digital, Telebit...

La compatibilité de ces versions avec celles en exploitation est bonne, puisqu'on peut citer l'exemple de l'Inria Rhône-Alpes, qui utilise l'une de ces versions sur son routeur d'entrée de site !

## **Applications**

La plupart de nos applications préférées ont fait l'objet d'un portage. Pour les programmeurs, il faut se souvenir que le portage est la plupart du temps très simple et nécessite peu de temps... Les RFC 2292 et 2553 présentent l'API pour IPv6, ils sont complétés par un Internet-Draft (Advanced Socket API for IPv6).

Les applications majeures comme SMTP, HTTP serveurs et clients, telnet, ftp, Xwindow... ont été portées depuis plusieurs années déjà.

La bonne façon de procéder est d'inventorier les applications critiques et de vérifier qu'un portage a été réalisé sur IPv6. Si ce n'est pas le cas, il faudra se tourner vers les techniques de transition (cf. plus loin) pour savoir s'il est possible de travailler quand même avec cette (ces) application(s) dans un contexte réseau IPv6, ou B mieux B de contacter les personnes ad hoc pour que le portage puisse être réalisé.

## **Déploiements**

### **Réseaux IPv6 de tests**

Le 6bone a été le premier réseau de tests à sortir des frontières nationales, en interconnectant, dès le mois de juillet 1996, trois réseaux IPv6 expérimentaux : Wide au Japon, UNI-C au Danemark et le G6-bone en France. Depuis, cet Internet version 6 n'a cessé de grandir : aujourd'hui, il regroupe quelques 460 sites répartis dans 42 pays.

En France, le G6-bone est un réseau IPv6 expérimental regroupant aussi bien des sites académiques qu'industriels depuis décembre 1995. Ce réseau est architecturé autour de points d'interconnexion régionaux (PIX) sur lesquels les sites de tests viennent se connecter. Une présentation plus détaillée est en ligne sur <http://www.ipv6forum.com/navbar/globalsummit/slides/html/bernard.tuy/index.htm>

D'autres initiatives, plus récentes, tentent d'approcher les conditions d'un réseau opérationnel de transport natif IPv6. C'est notamment le cas de 6REN (Research and Education Networks), une initiative pour déployer de l'IPv6 dans le monde. Pour ne pas se restreindre à l'Amérique du Nord, une initiative similaire est en cours chez l'opérateur japonais IJ (Internet Initiative Japan).

Enfin, une tentative européenne de déploiement d'IPv6 est en préparation dans le contexte de TEN-155, le backbone européen fédérant les réseaux nationaux de la recherche.

### **Le Forum IPv6**

Parallèlement à ces déploiements régionaux et intercontinentaux, l'IPv6 Forum a été lancé pour promouvoir le déploiement d'IPv6 « hic et nunc ». Ce forum n'a pas pour mission d'être une instance de standardisation de la pile protocolaire IPv6 mais bien un lieu de formation, d'information et d'encouragement des initiatives qui permettront un usage efficace des implantations et des méthodes de transition entre IPv4 et IPv6.

Ce Forum regroupe actuellement plus de 60 compagnies appartenant aux différents métiers de l'informatique et des télécommunications. On en retrouvera la liste, ainsi que les objectifs et moyens du Forum IPv6 sur <http://www.ipv6forum.com>

## **■ L'adressage des équipements**

Actuellement il existe deux plans d'adressage : celui du 6bone, que la grande majorité des sites/organisations/réseaux qui utilisent IPv6 ont adopté, et le plan d'adressage B dit B officiel qui vient juste de voir



le jour. Pour pouvoir s'y repérer, savoir quel adressage choisir et à qui demander un préfixe IPv6, les lignes qui suivent tentent de faire un point rapide.

### **Adressage de tests**

Il faut tout d'abord se souvenir que l'adressage dans IPv6 est complètement hiérarchique. On parle de préfixe (héritage de CIDR) plutôt que d'adresse réseau.

Un préfixe est découpé en 4 parties qui découlent les unes des autres, de la partie la plus haute à la partie la plus basse on trouve : le Top Level Aggregator (TLA), le Next Level Aggregator (NLA), le Site Level Aggregator (SLA) et l'Identifiant d'Interface (IID). Ce schéma prévaut dans les deux plans évoqués plus haut.

Un TLA est alloué à un transporteur (carrier) ou un « conglomérat » de prestataires IP. Un NLA est alloué à un Prestataire IP particulier qui alloue à son tour un SLA à ses usagers. Un préfixe SLA équivaut à l'espace d'adressage d'un préfixe de longueur 16 en IPv4 (soit # 2 E+16 préfixes pour organiser le site (campus...)).

La page [http://www.6bone.net/6bone\\_pTLA\\_list.html](http://www.6bone.net/6bone_pTLA_list.html) liste les préfixes qui ont été alloués aux sites de tests.

Parallèlement, l'ISI a établi une base de données des ressources IPv6 à la mode RIPE (enregistrement des préfixes, inet6num ; des sites de tests, ipv6-site ; des contacts techniques...). On peut consulter les enregistrements de cette base de données à l'URL : <http://www.6bone.net/whois.html> ou recueillir des informations qu'elle contient avec `whois -h whois.6bone.net`. Cette base de données est actuellement maintenue par Qwest.

En France, l'AFNIC (le NIC France) fait partie du groupe G6 et a développé une interface HTML qui permet d'enregistrer les nouvelles ressources IPv6.

Une copie de cet enregistrement est conservée localement, une autre est envoyée à Qwest pour mettre la base mondiale à jour.

### **Adressage officiel**

Les 3 Regional Internet Registries (RIR) que sont ARIN pour les Amériques, APNIC pour la zone Asie-Pacifique et RIPE-NCC pour l'Europe, ont été saisis par leurs groupes de travail IPv6 et par les groupes ad hoc de l'IETF d'une demande concernant la mise à disposition d'adresses IPv6 officielles.

La principale difficulté à surmonter était de mettre en place une procédure d'allocation qui soit commune aux trois Registries et qui définisse des critères d'allocation suffisamment précis pour éviter des demandes qui ne recouvrent pas effectivement des besoins opérationnels.

Une autre difficulté a été d'obtenir de la part d'IANA B l'autorité en matière d'allocation des ressources de l'Internet B en train de disparaître ou de ICANN B son successeur B pas encore en place, l'enregistrement et l'allocation des TLA à chacun des 3 Registries.

Ces procédures sont désormais consignées dans le RFC 2450 et l'allocation des adresses IPv6 officielles a effectivement commencé pendant l'été 1999 : sur les 10 demandes qui ont été reçues par le RIPE-NCC, 6 remplissaient les critères d'attribution, 3 en provenance des prestataires commerciaux et 3 du monde académique. Dans le même intervalle de temps, ARIN a alloué 2 préfixes et APNIC 3.

En France, Renater s'appuyant sur le G6 sera amené prochainement à faire une demande de préfixe officiel IPv6 (cf. « Ipv6 dans le contexte Renater-2 » ci-après).

## **■ Les mécanismes de déploiement et de transition vers IPv6**

Dès l'origine de la réflexion (1995) sur le problème du déploiement d'IPv6, une migration brutale de l'ensemble des machines de l'Internet d'IPv4 vers IPv6 a été écartée. Le principal travail de l'IETF autour d'IPv6 se focalise actuellement sur les solutions possibles au problème de la transition en douceur vers IPv6. La variété des cas de figure a produit, dans un premier temps, un très grand nombre de propositions et il est apparu clairement qu'aucune ne pouvait répondre à la totalité des problèmes posés. Un premier travail de taxinomie de ces idées conduit à les classer en deux grandes catégories.

### **Machines avec une double pile IPv4 et IPv6 et tunneliers**

Historiquement, l'idée de machine à double pile réseau a déjà été employée par les constructeurs de machines non Unix pour les faire migrer vers le monde TCP/IP (Apple, Novel, etc.). Dans notre cas, cette approche permet au début de mettre en place des relais d'applications entre les domaines IPv4 et IPv6 ainsi que les tunnels qui en encapsulant les paquets IPv6 dans des paquets IPv4 permettent de donner une connectivité globale aux nuages de machines IPv6. Puis au fur et à mesure du renouvellement du parc, on fait migrer les postes

clients d'un monde à l'autre. Dans tous les cas de figure les relais d'applications restent indispensables pour les machines qui ne pourront pas avoir de double pile ou qui ne pourront pas migrer (imprimantes, machines en fin de vie, etc.). Ces mécanismes de double pile et d'encapsulation sont ceux qui sont le plus largement utilisés dans les réseaux IPv6 aujourd'hui. Néanmoins, ils présentent l'inconvénient majeur d'avoir à utiliser des adresses IPv4 pour tous les équipements et de gérer le plan de routage IPv4 en plus de celui d'IPv6.

### Dispositifs de traduction d'adresses IP

En général, globaux pour un site, ces dispositifs permettent à des machines à pile unique IPv6 ou IPv4 de communiquer entre elles par l'intermédiaire d'une machine qui va traduire au mieux les en-têtes des paquets IP d'un protocole vers l'autre. Les principales propositions de ce type sont SITT (Stateless IP/ICMP Translator) qui donne une méthode de traduction d'adresses IPv4/IPv6, NAT-PT (Network Address Translation -Protocol Translation) basé sur un équipement permettant d'établir une passerelle IPv4/v6, SOCKS64 qui étend les fonctionnalités de SOCKS (voir RFC1928) en relayant les connexions de machines IPv4 vers des machines IPv4 ou IPv6.

On pourra consulter le document (en cours d'élaboration) sur les mécanismes de transition en : <ftp://ftp.imag.fr/archive/IETF/internet-drafts/draft-ietf-ngtrans-introduction-to-ipv6-transition-02.txt>.

### ■ IPv6 dans le contexte Renater-2

La mise en œuvre de Renater-2 sur une infrastructure ATM permet de transporter nativement des protocoles qui étaient jusque là encapsulés dans IPv4 (comme le multicast IP ou IPv6).

La demande de connectivité IPv6 dans notre communauté n'est pas suffisamment importante pour justifier le déploiement d'un service IPv6 par l'opérateur de Renater-2.

Il est cependant proposé, dans le cadre d'un projet pilote, de redéployer le réseau du G6-bone sur l'infrastructure de Renater-2 et d'offrir une connectivité IPv6 native à tous les sites qui voudront se raccorder.

Parallèlement, la renumérotation de tous les participants à ce réseau sera réalisée avec un préfixe IPv6 officiel. Ce service devrait en outre mettre en œuvre un système dit de "tunnel broker", qui permet à tout un chacun de raccorder automatiquement ses équipements IPv6 au réseau du G6, sans avoir à joindre un responsable. Le dernier volet de ce projet est la mise en œuvre d'outils de supervision du réseau pilote de façon à assurer un service le plus près possible des conditions opérationnelles.

### ■ Conclusion

L'année 2000 devrait être un bon cru pour IPv6 !

La plupart des constructeurs vont proposer des mises à jour de leurs systèmes d'exploitation qui intégreront B au moins partiellement B les protocoles IPv6.

Les mécanismes de transition de IPv4 vers IPv6 sont en cours d'achèvement de standardisation et d'implémentation. Il devient des lors important de commencer à prévoir B si ce n'est une migration, du moins B une cohabitation/collaboration d'équipements IPv4 et IPv6. Un document résumant quelques éléments de stratégies possibles pour rendre cette cohabitation harmonieuse et efficace B à un surcoût minimal de travail pour les administrateurs B est en cours de discussion à l'IETF. Cette étape est d'une importance assez capitale pour éviter les déconvenues.

### ■ Bibliographie

IPv6 : de la théorie à la pratique. 2<sup>e</sup> édition, 06/1999. O'Reilly éditeur : le livre rédigé B en français ! B par le G6.

<http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html> : le site officiel de tout ce qui est référencé sur IPv6 (RFC, Internet Drafts, implantations...).

<http://www.6bone.net> : pour tout savoir sur les réseaux IPv6 existant, les sites y participant...

<http://www.ipv6forum.com> : l'initiative de promotion de IPv6 dans le monde.

<ftp://ftp.imag.fr/archive/IETF/internet-drafts/draft-ietf-ngtrans-introduction-to-ipv6-transition-02.txt> : analyse des propositions de mécanismes de transition d'IPv4 vers IPv6, et études de cas.



