

Propriété et Communs

Les nouveaux enjeux de l'accès et de l'innovation partagés

Séminaire international - Paris 25-26 avril 2013

*Épuisement et marchandisation
d'une ressource commune dans l'Internet :
le cas des adresses IP*

Philippe Barbet

Épuisement et marchandisation d'une ressource commune dans l'Internet : le cas des adresses IP

Philippe Barbet¹

Résumé

Le fonctionnement du réseau Internet est fondé d'une part sur l'articulation de technologies et de ressources non marchandes et d'autre part sur des relations entre acteurs et des ressources marchandes d'autre part. Ainsi, les adresses et les protocoles de connexion permettant aux réseaux constitutifs de l'Internet de communiquer entre ne sont pas marchands. En revanche, les relations entre les réseaux formant l'Internet sont souvent marchandes. Cette contribution est centrée sur l'analyse du processus de marchandisation de l'une des ressources essentielle, et historiquement non marchande, du réseau Internet : l'espace des adresses. Elle montre que cette marchandisation des adresses résulte de l'existence, peut être temporaire, d'un épuisement de la ressource et qu'elle remet en cause les fondements du réseau. Cette évolution remet d'une part en question les modalités historiques de gestion d'une ressource considérée comme commune. D'autre part, elle risque de conduire à une fragmentation et à une fragilisation du réseau Internet.

Introduction

Le réseau Internet a toujours entretenu des relations complexes avec l'économie de marché. L'infrastructure du réseau a été construite sur une base non marchande (pour des besoins militaires et universitaires à l'origine) et sa gestion est encore aujourd'hui basée sur l'utilisation de ressources communes non marchandes (les adresses IP² et le standard de d'interconnexion TCP/IP³ notamment). En revanche, les relations entre les propriétaires des réseaux interconnectés qui constituent l'Internet sont marchandes et ont fait l'objet de nombreuses analyses économiques⁴.

¹ Philippe Barbet, Université Paris13, Sorbonne Paris Cité, Centre d'Economie de Paris Nord, CNRS, (UMR 7234) F-93430 Villetaneuse, France

² Les adresses IP (Internet Protocol) permettent de localiser chaque matériel connecté au réseau Internet.

³ Le standard d'interconnexion TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) reprend l'ensemble des protocoles utilisés pour le transfert des données sur Internet.

⁴ Les articles séminaux consacrés à l'économie de l'interconnexion de l'Internet ont été publiés au début des années 2000 : citons en particulier Cremer, Rey, et Tirole (2000) Besen, Milgrom, Mitchell,

Enfin, la croissance très rapide et mondiale du réseau repose essentiellement sur le développement d'activités marchandes comme le commerce électronique. Le réseau Internet apparaît donc comme un exemple d'articulation réussie entre ressources communes non marchandes d'une part et privées et marchandes d'autre part (Mueller 2011). En particulier, la normalisation technique de l'Internet qui passe par le protocole TCP/IP a permis de connecter des réseaux publics et privés et à permis de laisser se développer des innovation aux extrémités du réseau. Le modèle de coopération qui s'est développé par la création d'associations comme l'IETF (*Internet Engineering Task Force*), l'IAB (*Internet Architecture Board*) ou l'ISOC (*Internet Society*) était très différent de celui, essentiellement intergouvernemental de l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) et de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) par le caractère non-territorial, pragmatique et communautaire des travaux et des décisions (Massit-Folléa 2012).

Cet article montre que cet équilibre est remis en question et en particulier que l'une des composantes essentielles de l'infrastructure du réseau devient marchande. Les adresses IP ont toujours été considérées comme une ressource devant être gérées sans considérations économiques et assimilées à un « common pool ». Toutefois, en 2011, la Cour de Justice de l'Etat du Delaware aux Etats-Unis, qui met en liquidation certains actifs de la firme canadienne Nortel, a autorisé la vente d'un bloc d'adresses IP (soit 666 624 adresse) détenu par cette dernière à Microsoft pour la somme de 7,5 millions d'euros. Cette décision est importante puis qu'elle officialise le fait que les adresses IP sont des actifs qui peuvent être appropriées et qu'elles peuvent donc faire l'objet d'une transaction marchande. Il s'agit d'une rupture majeure avec la logique historique de la gestion des adresses IP qui étaient considérées depuis l'origine de l'Internet comme des ressources communes allouées à des acteurs du réseau mais non appropriables. Nous montrerons que cette marchandisation résulte essentiellement de contraintes liées à l'épuisement de cette ressource essentielle au fonctionnement du réseau Internet. Nous précisons dans un premier temps les modalités historiques de distribution des adresses dans un environnement basée par l'abondance. Dans un second temps, nous précisons les enjeux liés à la raréfaction des adresses disponibles et nous présentons les enjeux de l'émergence d'un marché de revente des adresses.

and Srinagesh (2001), Fors et Hansen (2001), Giovannetti (2002), D'Ignazio and Giovannetti (2006) et Economides (2006). Ces travaux analysent la formation, la stabilité et l'efficacité de liaisons bilatérales entre acteurs en compétition pour assurer la connectivité totale du réseau Internet.

1- Définition et modalités historiques de la distribution d'une ressource abondante.

Dès le début de l'Internet, et comme pour tout réseau de communication, ont été mis en place des protocoles permettant d'identifier par une adresse unique les matériels reliés au réseau.

Une adresse IP, dans sa version la plus commune actuellement (soit le protocole dit IPv4) est un nombre composé de 4 numéros allant de 0 à 255 comme par exemple 215.236.02.123

Chaque adresse IP est composée de deux parties distinctes.

- Les nombres situés à gauche (Préfixe) désignent le réseau contenant les ordinateurs.
- Les nombres situés à droite (Host) désignent les ordinateurs de ce réseau.

S'est rapidement imposée la nécessité de disposer d'un registre (comparable à un annuaire téléphonique) des adresses permettant de localiser les ordinateurs reliés à Internet. La distribution et la gestion du registre des premières adresses allouées ont initialement été assurées bénévolement par des ingénieurs rattachés à l'Information Science Institute (ISI) de l'University of Southern California (USC). Le protocole utilisé permettait de répondre à une demande d'adresses relativement faible et la question d'une possible rareté n'était pas prise en compte. En conséquence, les premiers demandeurs ont été dotés d'un nombre très important d'adresses (les blocs d'adresses) dont elles n'utilisaient qu'une très faible partie.

Les premiers blocs d'adresses ont été alloués au Département de la Défense (DoD) des Etats-Unis, à de grandes entreprises américaines ayant des contrats avec ce Département et enfin à quelques universités⁵. Ces demandeurs ont reçu les premiers blocs d'adresses⁶ distribués dits de classe A (2^{24} adresses soit environ 16,7 millions d'adresses par bloc). Ces allocations initiales, faites de manière très informelle et sans véritable contrôle de leur utilisation, sont appelées aujourd'hui les «legacy allocations ». Progressivement, et pour accompagner la croissance de la demande d'adresses émanant de réseaux plus petits, ont été alloués des blocs moins importants dits de classe B (2^{16} adresses) et classe C (2^8 adresses) (Edelman 2009).

⁵ Il s'agit pour les universités du Massachusetts Institute of Technology et de Stanford, des firmes Hewlett Packard, Motorola, General Electric, Halliburton et enfin des agences du Département de la Défense. Source : Mueller M. et Kuerbis B. (2008).

⁶ L'allocation de blocs d'adresses contiguës était justifiée par des contraintes de routage des informations sur le réseau Internet que nous examinerons plus avant.

Le développement du réseau Internet et le besoin croissant d'adresses a induit deux évolutions fondamentales, l'une technique et l'autre organisationnelle. Au niveau technique, le protocole initial de gestion du registre des adresses est devenu inadapté. Un nouveau protocole appelé IPv4 (Internet Protocol version 4) s'est imposé progressivement et est devenu en 1981 le standard de base de l'adressage sur Internet : il est encore largement utilisé en 2013. Le standard IPv4 repose sur un système de codage de 32 bits qui permet l'allocation de plus de 4 milliards d'adresses. Ce nombre a longtemps été considéré comme largement suffisant avant d'une part la diffusion mondiale de l'Internet et, d'autre part et plus récemment, le développement de l'Internet mobile.

La principale évolution organisationnelle a consisté, en 1991, à décentraliser géographiquement la distribution des adresses avec la création des Registres Internet Régionaux (RIR)⁷. Depuis cette date, les RIR allouent les adresses sur une base continentale sous la responsabilité de l'ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*)⁸ et par l'intermédiaire de l'IANA (Internet Assigned Numbers Authority)⁹.

L'IANA est devenu un département de l'ICANN chargé de coordonner un certain nombre d'éléments techniques essentiels au fonctionnement du réseau Internet. En particulier, l'IANA est chargé de la maintenance et de la gestion du fichier original (appelé fichier racine) des noms de domaine. L'IANA assure donc l'affectation des blocs d'adresses disponibles aux RIR.

L'architecture institutionnelle de l'allocation des adresses IP est donc aujourd'hui la suivante (figure 1).

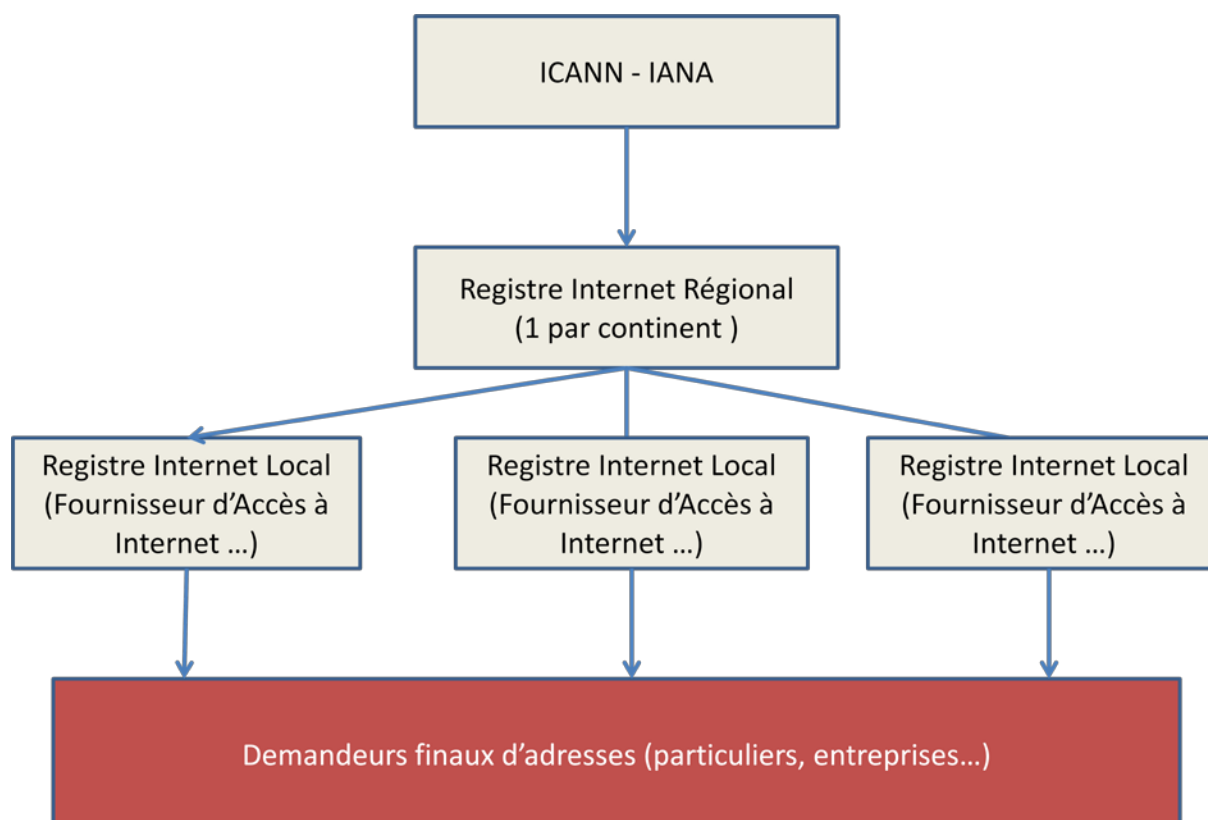
⁷ Le premier RIR a été créé en 1991 pour l'Europe (RIPE-NCC) et le second en 1995 pour la zone Asie-Pacifique (APNIC), ils sont gérés par des associations à but non lucratif. En 1997 avec la création de l'ICANN, l'administration des adresses IP aux Etats-Unis passe du public au privé avec la création d'un RIR pour l'Amérique du Nord (ARIN) géré par une organisation non gouvernementale. Deux autres RIR sont ensuite créés pour l'Amérique Latine (LACNIC) et l'Afrique (Afrinic).

⁸ L'ICANN est une entreprise privée à but non lucratif de droit californien. Elle a été créée en 1998 et elle est constituée de personnes représentant l'ensemble du monde de l'Internet qui œuvrent pour le maintien de la stabilité, la sécurité et l'interopérabilité de l'Internet.

⁹ L'IANA, créée dans les années 70, est une des plus anciennes organisations qui contribuent au fonctionnement du réseau Internet. L'IANA a pour rôle de "préservé les fonctions de coordination centrale de l'Internet dans l'intérêt de la communauté". Aujourd'hui, il ne s'agit plus d'une organisation en tant que telle mais d'une fonction intégrée à l'ICANN.

Figure 1

Architecture de l'allocation des adresses Internet



En matière d'allocation des adresses, l'IANA distribue des blocs d'adresses à chacun des 5 RIR en fonction de leurs demandes. Les RIR allouent les adresses dont ils disposent aux organisations qui ont besoin d'adresses sur leur territoire : les Registres Internet Locaux (Local Internet Registry ou LIR). Ces multiples registres locaux et en particulier les Fournisseurs d'Accès à Internet (Internet Service Providers ou ISP) louent les adresses à leurs abonnés qui sont les utilisateurs finaux des adresses. Les Registres Internet Locaux justifient généralement leurs demandes d'adresses par l'augmentation de leur base d'abonnés.

Les adresses allouées par les RIR le sont en contrepartie d'un paiement basé sur le recouvrement des coûts : les RIR sont des organisations à but non lucratif et n'ont pas pour vocation la profitabilité de leur activité. Ainsi, le plus gros réseau américain paie à l'ARIN (le RIR pour l'Amérique du Nord) la somme de 18 000 \$/an pour bénéficier des millions d'adresses qu'il utilise (Edelman 2009). Les ressources en adresses sont considérées par l'IANA comme des «ressources publiques partagées» et les RIR comme des «stewards» (intendants). Les adresses sont donc bien

affectées aux utilisateurs finaux et non pas vendues : les utilisateurs n'ont donc, dans cette logique, aucun droit de propriété sur les blocs d'adresses qui leur sont alloués.

La création des RIR a conduit à une rationalisation de la distribution de l'allocation des adresses IP sur une base régionale mais rappelons qu'un nombre important d'adresses (entre 30 et 45%) avaient déjà été allouée avant la création des RIR : les « legacy allocations ». Or les règles d'allocations des adresses antérieures à la création des RIR étaient moins contraignantes, ce qui a, comme nous le montrerons plus avant, des conséquences sur la gestion actuelle de la rareté des adresses.

L'espace des adresses IP est une ressource virtuelle dont l'utilisation est allouée (comme le spectre hertzien) et qui peut faire l'objet d'une réallocation. La gestion des adresses s'apparente à celle d'une ressource commune (common pool) bien que les caractéristiques techniques de la ressource se rapprocheraient plutôt des biens privés. La ressource est quantitativement limitée par le protocole en vigueur. Les adresses doivent être uniques dans un réseau et il y a donc rivalité dans l'usage : une adresse affectée à un ordinateur ne peut pas l'être à un autre. Par ailleurs, l'exclusion est possible mais pas de manière entièrement stricte. Il est en effet techniquement possible d'allouer la même adresse à plusieurs ordinateurs reliés au réseau. L'exclusivité des adresses repose sur l'acceptation par les opérateurs du réseau Internet d'un registre comme unique instrument de coordination (Mueller 2011). Le registre des adresses IP s'assure que les blocs d'adresses sont bien affectés de manière exclusive et qu'il sert bien de base aux différents réseaux dans les opérations de routage des messages.

Le fonctionnement de la gestion des adresses sous la forme d'un common pool ne relève donc pas des caractéristiques propres de la ressource. Cette forme répondait d'une part à la nécessité de respecter l'allocation des adresses par blocs pour faciliter les opérations de routage. D'autre part, elle était conforme à toute l'histoire du réseau Internet qui repose sur une construction communautariste du réseau animée essentiellement par des ingénieurs. Cette communauté a toujours été très opposée à l'introduction de droits de propriété intellectuelle, à la marchandisation et encore plus à tout risque de spéculation concernant les adresses. Cette approche est toutefois remise en cause notamment par l'existence d'un épuisement de la ressource comme nous le verrons dans le point suivant.

2 - L'épuisement de la ressource et les principales réponses.

La question de la disponibilité des adresses IP est devenue importante depuis quelques années. Pourtant, dès 1992, elle avait été soulevée par des spécialistes du fonctionnement du réseau¹⁰.

¹⁰ Pour Z. Wang, J. Crowcroft et ceci dès 1992, "Address space exhaustion is one of the most serious and immediate problems that the Internet faces today." in "A Two-Tier Address Structure for the Internet: A Solution to the Problem of Address Space Exhaustion" (IETF Network Working Group, Request For Comment 1335, May 1992)

L'espace des adresses IP (comme les fréquences hertziennes pour les télécommunications) est une ressource virtuelle dont la dimension est finie à un moment donné (Mueller 2010). La taille de l'espace des adresses est fixée par les standards techniques qui définissent le protocole internet IPv4.

Le protocole internet largement utilisé actuellement (IPv4) date de 1981 et permet la distribution d'environ 4,3 milliards d'adresses uniques qui ont été divisés en 256 grands blocs de 16,777,216 adresses. Le nombre d'adresses à distribuer est en voie d'épuisement et, le 3 février 2011, L'IANA a annoncé qu'elle avait distribué les cinq derniers blocs d'adresses disponibles de manière égalitaire aux cinq RIR. Les ressources en adresses sont considérées comme épuisées lorsque l'on commence à distribuer le tout dernier bloc disponible¹¹, l'année 2012 est donc celle de l'épuisement officiel de cette ressource.

L'épuisement des adresses est un phénomène qui a été planifié et un certain nombre de mesures techniques ont permis de reculer ce phénomène qui reste néanmoins inéluctable. La plus couramment utilisée est la mise en place d'un mécanisme de « traduction d'adresse réseau (Network Address Translation ou NAT) » qui crée des adresses IP internes multiples au sein d'un réseau intranet (donc des machines qui ne sont pas reliées directement à l'internet), ce qui constitue une limite à leur connectivité (Weber et Heinrich 2011).

Dans le cas par exemple d'un réseau d'entreprise ou d'université, une seule adresse Internet existe pour communiquer avec l'extérieur et les adresses internes peuvent être identiques à celles déjà utilisées sur le réseau Internet. On distingue ainsi les adresses « publiques » et donc uniques dans le monde et des adresses « privées » qui ne sont uniques qu'au sein de l'intranet et qui ne sont donc pas visible sur le réseau internet. Le système NAT permet de réserver l'utilisation des adresses publiques aux machines qui sont directement reliées au réseau Internet. Toutefois le nombre d'adresses publiques augmente régulièrement et de façon importante avec la multiplication des objets communiquant avec le réseau : smartphones notamment aujourd'hui mais dans le futur tout ce qu'il est convenu d'appeler «l'internet des objets»¹².

Les solutions plus pérennes permettant de lutter contre la rareté des adresses internet reposent essentiellement sur deux stratégies. La première est essentiellement économique et institutionnelle et passe par une utilisation plus rationnelle des ressources existantes dans le contexte du protocole internet actuel

¹¹ L'IANA (Internet Assigned Numbers Authority) a alloué le 27/01/2011 le dernier bloc d'adresses IPv4 disponible. Les 16 millions d'adresses disponibles ont été réparties équitablement entre les 5 RIRs. Source : <http://www.telecom-reseaux.net/reseaux/le-dernier-bloc-dadresses-ipv4-a-ete-alloue-708>

¹² Ce sont des biens (comme des réfrigérateurs) qui se connectent par Internet à des grandes surfaces pour engager automatiquement un processus de réapprovisionnement.

(IPv4). La seconde est technique et elle repose sur la diffusion d'un nouveau protocole (IPv6) qui permettrait la mise à disposition d'un nombre pratiquement illimité d'adresses. Ces deux stratégies ne sont pas indépendantes dans la mesure où il existe une incompatibilité technique entre les deux protocoles IPv4 et IPv6. Il y a donc une articulation complexe à mettre en place entre ces deux stratégies que nous présentons successivement.

La rationalisation de l'utilisation des adresses existantes

La rationalisation de l'utilisation des adresses existantes repose sur un certain nombre de modifications dans les modalités de gestion des adresses notamment par les RIR. Les RIR sont autorégulés et ont des politiques différentes en matière d'allocation et surtout de transfert des adresses non utilisées (Weber et Heinrich 2011). On constate toutefois que les contraintes auxquelles ils sont soumis restent proches.

Une gestion plus rationnelle des adresses pourrait passer par la récupération par les RIR des adresses allouées non utilisées (Mueller et Kuerbis 2008). Ce problème dit de la « réclamation » des adresses est particulièrement complexe car les RIR n'ont pas la possibilité de contraindre les organisations à rendre les adresses non utilisées (notamment celles détenues par les « legacy holders »). De plus, les RIR n'ont en général pas d'informations suffisantes sur qui utilise ou non les adresses. Par ailleurs, les organisations qui détiennent des adresses non utilisées n'ont aucune incitation à les rendre au RIR puisqu'elles ne leur coûtent rien alors que si elles décident de les rendre, elles subiront des coûts d'administration dans leur interaction avec les RIR et un possible coût d'opportunité car elles pourraient éventuellement en avoir besoin dans le futur ou les revendre en cas de généralisation de la marchandisation de la ressource.

La prise en compte des besoins au sens économique du terme pour la distribution de nouveaux blocs plutôt que technique pourrait également permettre de répondre à la rareté des adresses mais elle nécessiterait une modification profonde du fonctionnement des RIR. Jusqu'à présent, les RIR distribuent les adresses aux organisations qui en font une demande pour des « besoins justifiés » sans considération de valorisation économique. Avec l'épuisement de la ressource, la notion de besoin justifié pourrait intégrer une dimension relative en intégrant la valeur économique relative des besoins exprimée par les organisations qui demandent des adresses. Il pourrait être envisagé le transfert d'adresses pour les besoins les moins importants vers des besoins plus importants et mettre en concurrence différentes applications qui demandent des adresses.

Une alternative pourrait être de passer par des processus de type « concours de beauté » avec des jugements faits par des experts pour déterminer quelles utilisations sont les plus valorisantes comme pour la gestion du spectre hertzien mais ces procédures sont complexes et longues et les acteurs de l'Internet n'y sont pas habitués. Ces deux processus de régulation plus économique de la rareté des

adresses supposent une modification profonde du statut et des modes de fonctionnement des RIR. La rationalisation économique des modalités d'allocation des adresses deviendra peut être inutile si les évolutions techniques permettent de lever la contrainte de rareté.

Le relâchement de la contrainte de rareté avec le protocole IPV6

Le problème de la rareté des adresses IP peut techniquement être résolu de manière durable par la généralisation du protocole dit IPV6 qui met à disposition un nombre beaucoup plus important d'adresses grâce à un codage à 128 bits au lieu de 32 bits dans l'IPV4. Le nombre d'adresses disponibles avec l'IPV6 est de 2^{218} soit 340 milliards de milliards de milliards de milliards d'adresses¹³.

La rareté des adresses disparaît de fait avec le passage au protocole IPv6 mais le problème qui se pose est celui des modalités de transition entre les deux systèmes. Les deux protocoles sont incompatibles et l'opérateur qui passerait au nouveau standard serait coupé du reste du réseau. La transition entre les deux systèmes est donc un enjeu majeur dans le domaine de l'adressage car il faudrait imaginer la coexistence, pendant un certain temps, de deux réseaux Internet.

Dès à présent, il existe des technologies permettant de fonctionner avec les deux systèmes (double pile ou dual stack), ce qui permet à ceux qui adoptent le nouveau protocole IPV6 de fonctionner avec le système existant IPV4. Dans ce cas, l'équipement possède une adresse IPV6 et une adresse IPV4 qui communiquent directement entre elles et de manière séparée avec le réseau internet. Ce système permet une transition aisée entre les deux protocoles mais il ne règle pas la question de la rareté des adresses IPv4 à court terme puisqu'il mobilise une adresse dans ce protocole.

Le protocole IPv6 aurait dû être mis en place en 1985 et compte tenu des multiples avantages annexes qu'il comporte au niveau notamment de la sécurité et de la souplesse de fonctionnement qu'il permet, on peut être étonné des résistances fortes qui freinent le passage à ce nouveau protocole. Un certain nombre d'acteurs de l'internet résistent à la mise en place d'IPv6 essentiellement pour des raisons de coûts. C'est en partie le cas des Fournisseurs d'Accès à Internet, ce qui explique la pression existante sur la demande d'adresses IPv4.

La configuration actuelle de l'Internet est très différente pour le passage à l'IPv6 que pour le passage à l'IPv4 car la transition s'effectue dans un environnement marchand et doit donc être économiquement justifié. Or, force est de constater n'y a pas de demande solvable de la part des utilisateurs finaux pour passer au nouveau système et l'adoption de ce nouveau protocole nécessite pour l'ensemble des offreurs l'existence d'avantages de type économique. Un offreur déploiera la nouvelle infrastructure si le rapport avantage/coût est positif et clairement identifié.

¹³ <http://www.cornu.eu.org/texts/ipv6-et-adressage>

Le passage rapide entre les deux protocoles sera sans doute favorisé par une impulsion dirigiste des Etats. Ainsi, le gouvernement des Etats-Unis s'est engagé à finaliser la comptabilité avec l'IPv6 de l'ensemble des sites et services en lignes de l'administration entre 2012 et 2014. La Commission Européenne demande aux Etats-Membres de faire du secteur public le principal vecteur de passage à IPv6 en faisant migrer les sites web et les services d'administration en ligne.

Cette nécessaire impulsion étatique illustre bien l'interdépendance entre les logiques privées et de marchandisation d'une part et la nécessité de l'intervention publique d'autre part dans la régulation des l'adressage dans le réseau Internet. La logique de marchandisation des adresses en cours risque de fragiliser le réseau et de retarder des évolutions technologiques indispensables. Les acheteurs d'une ressource rare comme les adresses IPv4 seront sans doute peu enclins à soutenir le passage à une technologie (IPv6) permettant de réduire la rareté et donc conduisant à la dévalorisation des adresses

3- La marchandisation des adresses et ses principales conséquences

L'épuisement d'une ressource techniquement exclusive et rivale conduit nécessairement à poser la question de la marchandisation. L'architecture institutionnelle et les principes de base de l'allocation des adresses ne permettent pas, à priori, la marchandisation de cette ressource. Toutefois, comme nous le verrons, les RIR n'ont pas les moyens de récupérer effectivement les adresses non utilisées pour les réallouer vers d'autres usages et un marché des adresses est en train d'émerger. Cette marchandisation comporte en outre des risques de fragmentation des blocs d'adresses et donc une complexification et une fragilisation des opérations de routages des informations dans l'Internet. Ces deux points sont successivement abordés.

Les RIR et le déficit de la marchandisation

La rareté des adresses conduit naturellement à s'intéresser à l'utilisation optimale de la ressource existante. Les modalités historiques de distributions des adresses ont conduit à des dotations très importantes pour des organisations qui n'utilisent pas toutes les adresses qui leur ont été allouées.

La rationalisation de l'utilisation des adresses existantes repose sur un certain nombre de modifications dans les modalités de gestion des adresses notamment par les RIR. Les RIR sont autorégulés et ont des politiques différentes en matière d'allocation et surtout de transfert des adresses non utilisées (Weber et Heinrich 2011), toutefois, on constate que les contraintes auxquelles ils sont soumis restent proches.

Une gestion plus rationnelle des adresses devraient passer par la récupération par les RIR des adresses allouées non utilisées (Mueller et Kuerbis 2008). Ce problème dit de la « réclamation » des adresses est particulièrement complexe car les RIR

n'ont pas la possibilité de contraindre les organisations à rendre les adresses non utilisées (notamment celles détenues par les « legacy holders ») et elles n'ont en général pas d'informations suffisantes sur qui utilise ou non les adresses. Par ailleurs, les organisations qui détiennent des adresses non utilisées n'ont aucune incitation à les rendre au RIR puisqu'elles ne leur coûtent rien alors que si elles décident de les rendre, elles subiront des coûts d'administration dans leur interaction avec les RIR et un possible coût d'opportunité car elles pourraient éventuellement en avoir besoin dans le futur ou les revendre en cas de marchandisation de la ressource.

Une utilisation économiquement plus rationnelle des adresses non utilisées, notamment par les « legacy holders » pourrait précisément passer par une marchandisation des relations entre offreurs et demandeurs. Les organisations qui ont des adresses non utilisées pourraient les vendre à celles dont les besoins ne sont pas satisfaits. Ce processus classique de marchandisation d'une ressource rare se heurte à la culture de l'Internet et des RIR qui est assez éloignée de la valorisation de l'économie marchande. Par ailleurs, le problème est que les adresses ne sont pas des propriétés privées au sens légal et qu'il n'existe pas de mécanisme pour obliger le retour des adresses non utilisées.

Pourtant, comme nous l'avons vu plus avant avec la vente à Microsoft des adresses de Nortel, commence à émerger un marché de la revente des adresses et des sites se présentent désormais comme des places de marché de revente. Le site TradeIPv4.com se présente officiellement comme une place de marché confrontant l'offre et la demande d'adresses (Bastide 2011).

Un marché de la revente risque de se développer dans les régions qui ont été le moins bien servi lors de l'allocation des premiers blocs d'adresses. La situation est à cet égard très inégalitaire puisque les USA bénéficient en moyenne de 4 adresses par habitant contre 2 pour les européens et moins pour les autres zones. Un marché de la revente pourrait conduire à une situation paradoxale dans laquelle les pays du Sud sous-dotés à l'origine seraient dans l'obligation de racheter des adresses aux pays du Nord mieux dotés.

La marchandisation des adresses pose également un problème juridique puisque les adresses non utilisées ne peuvent pas être vendues mais elles devraient être restituées aux RIR qui devraient les redistribuer. Il existe toutefois un vide juridique dans la mesure où cette procédure ne concerne que les adresses distribuées après la création des RIR et exclue donc les « legacy allocations » réalisées avant. Une procédure de restitution des adresses aux RIR pour les « legacy application » a été mise en place mais Nortel ne l'avait pas signé, ce qui explique que l'opération de vente à Microsoft ait pu être réalisée.

Les risques de complexification et de fragilisation du routage

La revente des adresses peut avoir des conséquences sur le fonctionnement même du réseau car elle peut conduire à une fragmentation des blocs d'adresses. L'allocation des adresses par blocs permet de savoir que toutes les adresses ayant des numéros contigus correspondent à des destinataires géographiquement proches. Un détenteur d'adresses pourrait revendre une partie de ses adresses, celles qu'il n'utilise pas, à un demandeur et ainsi de suite, ce qui conduirait à une désagrégation des blocs d'adresses qui pourrait affecter le fonctionnement du réseau.

Le cheminement des informations dans le réseau (routage) est facilité par l'existence de ces allocations par blocs puisque l'on peut, comme pour les codes postaux, opérer plusieurs tris successifs pour atteindre les destinations des paquets d'informations. Le routage est le processus automatisé qui optimise le cheminement des informations entre ces différents réseaux. Le routage met en relations les principaux acteurs économiques du réseau physique de l'internet : des opérateurs de l'épine dorsale du réseau aux Fournisseurs d'Accès à Internet.

Un routeur est un des éléments d'un réseau informatique assurant le transfert d'informations entre des réseaux indépendants. Les informations transmises par paquets circulent sur Internet entre un point (origine) et un autre (destination) en transitant par un nombre, qui peut être important, de réseaux indépendants¹⁴.

La structure des adresses IP joue un rôle central dans le processus de routage car la communication entre les réseaux repose sur des informations contenues dans une partie de l'adresse. Les adresses IP sont constituées de deux parties : l'adresse du réseau (prefix) auquel est relié l'ordinateur et l'adresse spécifique de l'ordinateur connecté (host) Le processus de routage au sein de l'internet ne tient compte que de la partie « prefix » de l'adresse. Pour chaque prefix, le protocole de routage conserve l'information lui donnant le meilleur chemin et les meilleures alternatives pour aller vers n'importe quel autre « prefix », l'ensemble de ces informations est réunie dans la « table de routage » qui contrôle les mouvements de chaque paquet d'information entrant vers la prochaine étape de son voyage dans les réseaux pour atteindre son destinataire. Chaque routeur est donc en relation constante avec les autres routeurs, ce qui permet à chacun de savoir comment atteindre les dizaines de milliers de réseaux existant dans le monde. Le système repose sur la confiance envers les informations données par les autres réseaux sur leur capacité à faire transiter de l'information.

Les relations entre les routeurs sont actuellement basées sur un protocole appelé Border Gateway Protocol (BGP). Les relations de confiance qui existaient au début du développement de l'Internet avec un nombre limité de réseaux sont devenues plus difficiles à tenir avec la multiplication des réseaux et donc des routes possibles.

¹⁴ Le trajet moyen d'un message passe par environ 6 réseaux indépendants et 15,6 routeurs (Salamatian 2012).

L'activité de routage est caractérisée par l'existence d'externalités. Le comportement d'un routeur peut occasionner des coûts (externalité négative) ou des bénéfices (externalité positive) aux autres routeurs et au système de routage en général. La stabilité du routage par l'intermédiaire du BGP est un bien commun dont aucun des acteurs qui participe à ce bien commun n'est entièrement responsable.

Le problème est qu'une externalité initialement positive peut devenir négative. L'augmentation du nombre de réseaux connectés augmente la taille et la valeur du réseau (externalité positive) mais elle conduit également à une multiplication du nombre de routes possibles et donc à une complexification des tables de routage qui peuvent dépasser les capacités de traitement des routeurs et donc nécessiter de nouveaux investissements (externalité négative).

La croissance du nombre de routes et des tables de routage n'est pas limitée par une autorité centrale et les réseaux ne peuvent pas refuser de laisser passer des informations car cela conduirait à priver un internaute abonné à un FAI de se connecter au réseau, ce qui pourrait conduire à des plaintes.

Une réponse technique à l'augmentation de la taille des tables de routage et à la complexité de cette activité essentielle au bon fonctionnement du réseau Internet est l'agrégation des routes. Le mécanisme d'agrégation des routes sur Internet a été introduit au milieu des années 90 avec la forte croissance de l'Internet. Elle consiste à prendre des mesures en amont du routage en allouant aux réseaux des blocs d'adresses contigus, ce qui permet que les messages soient adressés vers un bloc d'adresses plutôt que vers une adresse particulière, ces messages sont ensuite redirigés à l'intérieur du bloc d'adresses. Il s'agit d'un système assez proche de celui du code postal qui dirige le courrier vers un département puis une ville. Cette technique permet de réduire le nombre de routes et donc de rendre les tables de routage moins complexes. Lors de sa mise en place, l'agrégation des routes a permis de faire passer le nombre de routes disponibles de plus de 65 000 à 35 000.

La marchandisation des adresses conduira inéluctablement à une désagrégation des blocs et donc à une augmentation des routes qui rendra le routage plus complexe et plus fragile. Il est donc important que les RIR et l'IANA gardent un contrôle centralisé de la distribution de la ressource en adresses.

Conclusion

L'épuisement de l'une des ressources essentielle au fonctionnement du réseau internet : les adresses IP, a ouvert la porte à leur marchandisation. Il s'agit d'une évolution importante car les adresses ont toujours été gérées comme une ressource commune sur des bases non marchandes. Le mécanisme initial d'allocation des adresses reposait sur l'existence d'une ressource abondante allouée, sans droit de propriété, aux acteurs de l'Internet qui pouvaient justifier d'un besoin. L'émergence d'un marché des adresses suppose, au moins implicitement, que les adresses sont devenues la propriété des entités auxquelles elles avaient été allouées, ce qui est

contradiction avec les règles de fonctionnement de l'Internet. Par ailleurs, dans la mesure où les allocations initiales ont favorisé les réseaux et les firmes des pays occidentaux et notamment les États-Unis, la marchandisation fait émerger des rentes de raretés au détriment des derniers entrants dans le développement de l'Internet. Enfin, nous avons montré que la marchandisation des adresses conduit inéluctablement à une fragmentation des blocs d'adresses et à une complexification et à une fragilisation du réseau.

Bibliographie

- Bastide A. (2011) Une place de marché pour les adresses IPv4
<http://www.indexel.net/article/une-place-de-marche-pour-les-adresses-ip-v4-3353.html>
- Besen, S., Milgrom, P., Mitchell, B., & Srinagesh, P. (2001). Advances in routing technologies and Internet peering agreements. *The American Economic Review*, 91(2), 292–296.
- Jean-Sebastien Bedo J.S, Colombier N, M'Chirgui Z. et Pénard T. (2010) *Que nous apprend la topologie du réseau Internet sur la structure de marché et les stratégies d'acteurs de l'Internet ?*
<http://www.strategieaims.com/Aims08/aims08com/CHIRGUIZM%20AIMS2008.pdf>
- Cizault G. 2005) *IPv6 théorie et pratique* ed. O'Reilly. quatrième édition, Novembre 2005
- Crémer, J., Rey, P., & Tirole, J. (2000). Connectivity in the commercial Internet. *Journal of Industrial Economics*, 48(4), 433–472.
- D'Ignazio, A., & Giovannetti, E. (2006). From exogenous to endogenous economic networks: Internet applications. *Journal of Economic Surveys*, 20(5), pp 757–796.
- Economides, N. (2006). 'The economics of the internet backbone' in S. Majumdar, I. Vogelsang, & M. Cave (Eds.), *Handbook of telecommunications economics*, Vol. 2. North Holland: Amsterdam.
- Economides, N., & Tag, J. (2007), "Net neutrality on the Internet: a two-sided market analysis", *Net Institute*.
http://www.stern.nyu.edu/networks/Economides_Tag_Net_Neutrality.pdf
- Edelman B (2009) *Running Out of Numbers: Scarcity of IP Addresses and What To Do About It* Working Paper 09-091 Harvard Business School
- Giovannetti, E. (2002). Interconnection, differentiation and bottlenecks in the Internet. *Information Economics and Policy*, 14(3), pp 385–404.
- Giovannetti E. (2008) Peering and roaming on the Internet. *Telecommunications Policy* 32 (2008) pp 1–3
- Lippert S. Et Spagnolo G. Internet peering as a network of relations
Telecommunications Policy 32 (2008) 33–49

Massit-Folléa F.(2012) La gouvernance de l'Internet. Une internationalisation inachevée. *Le Temps des médias* 2012/1 (n° 18) Page 29-40

Mueller M. (2008) *Scarcity in IP addresses: IPv4 Address Transfer Markets and the Regional Internet Address Registries*. Internet Governance Project. School of Information Studies, Syracuse University <http://internetgovernance.org>

Mueller M. et Kuerbis B. (2008) *Regional Address Registries, Governance and Internet Freedom* 26 November 2008. Internet Governance Project. School of Information Studies, Syracuse. <http://internetgovernance.org>

Mueller M. (2010) Critical resource: An institutional economics of the Internet addressing-routing space, *Telecommunications Policy*, Volume 34, Issue 8, September 2010, Pages 405-416

Mueller M. et Kuerbis B. (2010), *Building a new governance hierarchy:RPKI and the future of Internet routing and addressing*, Internet Governance Project. School of Information Studies, Syracuse. <http://internetgovernance.org>

OCDE (2007) *Espace d'adressage internet : considérations économiques à la gestion d'IPv4 et au déploiement IPv6*, document de référence DSTI/ICCP(2007)20/FINAL

Salamatian K. (2012) *L'architecture de l'Internet, un enjeu majeur de la cyberstratégie* Compte-rendu de l'intervention dans le cadre de la Chaire Castex, 15 mars 2012 – Ecole Militaire – PARIS

Weber H. et Heinrich I. (2011). *IP address allocation through the lenses of public goods and scarce resources theories*. 8:1 SCRIPTed 69, <http://www.law.ed.ac.uk/ahrc/script-ed/vol8-1/weber.asp>