

LE MODÈLE INTERNET EN QUESTION (ANNÉES 1970-2010)

Francesca Musiani, Valérie Schafer

Métropolis | « Flux »

2011/3 n° 85-86 | pages 62 à 71

ISSN 1154-2721

Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://www.cairn.info/revue-flux-2011-3-page-62.htm>

Pour citer cet article :

Francesca Musiani et Valérie Schafer, « Le modèle Internet en question (années 1970-2010) », *Flux* 2011/3 (n° 85-86), p. 62-71.

Distribution électronique Cairn.info pour Métropolis.

© Métropolis. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.



Le modèle Internet en question (années 1970-2010)

Francesca Musiani, Valérie Schafer

INTRODUCTION

Dans *Internet Architecture and Innovation*, van Schewick (2010) souligne que des décennies de recherches sur les processus d'innovation (par exemple, Akrich, 1998; Callon, 1991) ont permis de mieux comprendre comment les changements du droit, des normes, des prix influencent le contexte économique de l'innovation et les décisions des innovateurs. Mais il manque encore, selon elle, une compréhension fine de la manière dont l'architecture technique influence l'innovation: "That such a technical structure may have economic consequences at all is a relatively recent insight [...] Most people still think of architectures as technical artifacts that are relevant only to engineers" (van Schewick, 2010, pp. 2-3). Rien n'est pourtant plus vrai dans le cas de l'Internet. En effet, en choisissant de placer l'intelligence non pas au cœur du réseau mais à sa périphérie, aux deux bouts de la communication (*end-to-end*), ses concepteurs ont assuré un développement continu d'innovations: ainsi, lors du développement de nouvelles formes de codage de l'information (l'entreprise Real Networks créant par exemple le premier protocole de flux audio en 1995 (1)), les inventeurs n'ont qu'à diffuser des outils de lecture (dans le cas choisi, les lecteurs RealAudio). Ils peuvent alors expérimenter, développer leur produit dont la longévité est arbitrée par le succès public (Schafer, Le Crosnier, 2011, p. 40).

Le cloisonnement des disciplines a pu faire considérer les architectures techniques comme des artefacts « pertinents seulement pour les ingénieurs » (van Schewick, 2010, p. 2). Cependant, pour analyser les technologies de l'information et de la communication et les médias « en réseau », l'Internet en particulier, les *software studies* et les *critical code studies* ont récemment relevé le défi de l'interdisciplinarité (Fuller, 2008) en s'appuyant sur des travaux passés en sociologie des sciences et des techniques, qui ont exploré les qualités sociales et politiques des infrastructures (Star, 1999). En outre, certains auteurs,

croisant l'informatique, la sociologie, le droit et les *Science & Technology Studies* (STS), montrent qu'une approche méthodologique et une étude innovantes des architectures, intégrant les liens entre celles-ci et les pratiques, est possible (Agre, 2003; Braman, 2011; Elkin-Koren, 2006; Star, Bowker, 2002). Les modifications d'architectures ont non seulement des causes mais aussi des conséquences économiques, politiques et sociales, et c'est bien de ces allers-retours constants et de ces enjeux dont il est question lorsque la modélisation du réseau et la gestion des flux sont mises en débat, comme c'est le cas actuellement autour des questions liées à la neutralité de l'Internet.

Cet article se propose de montrer comment le « modèle Internet » – entendu comme un écosystème en évolution constante, sous l'effet du développement du Web, de ses usages commerciaux et grand public, des (re)compositions de la chaîne de valeur Internet – pose, depuis le développement d'Arpanet à la fin des années 1960, des questions de modélisation et de gestion des flux. Celles-ci voient par exemple s'opposer, autour de la qualité de service ou de la facturation, le monde des télécommunications et celui de l'informatique. Au cours des années 1980, le modèle Internet est conceptuellement très différent des réseaux sûrs et soignés sur le plan technique, que souhaiteraient développer les opérateurs. Il est doté d'une architecture ouverte, distribuée, qui n'hésite pas à revendiquer le *best effort*, la perte ou la redondance de paquets d'informations, qui privilégie le *running code* plutôt que des protocoles fondés sur l'œcuménisme et la robustesse technique développés au sein des organismes de normalisation traditionnels. Internet voit ses principes fondateurs peu à peu érodés à partir des années 1990, au profit d'outils permettant davantage de gestion des flux et de sécurité. Les analogies, notamment spatiales, permettant de décrire l'évolution d'Internet ne manquent pas: passage d'un modèle horizontal à un modèle vertical, d'un modèle *bazar* à un modèle *cathédrale* (2), « minitéli-

sation » ou « broadcastisation » de l'Internet, marche forcée vers un « Internet civilisé », balkanisation, transformation de *Netville* en de propres *suburbs* aseptisées... Internet, interconnexion de plus de 50 000 réseaux différents, peut-il survivre à la volonté croissante de gestion et de contrôle de ses flux, à une reconfiguration de son modèle, liée à son succès ?

DES PRINCIPES FONDATEURS PEU À PEU ÉRODÉS

Yves Devillers – un des acteurs de l'introduction d'Unix, des messageries UUCP (3), des News puis de l'Internet à l'Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (Inria) dans les années 1980-1990 – se souvient que les ingénieurs d'étude et les chercheurs, qui les premiers utilisèrent le « réseau des réseaux » en France, devaient user d'ingéniosité pour « faire voler le cochon » (*make the pig fly*). Si Yves Devillers reconnaît que parfois « c'était un goret qui volait », en comparaison des outils développés par le monde des télécommunications, soignés, minutieux, il conclut avec un sourire que « tout le monde l'acceptait » (Entretien V. Schafer/Yves Devillers, 5 avril 2011).

Best Effort et bout-en-bout versus qualité de service

Les choix fondateurs à la base du modèle d'Arpanet, puis de l'Internet, assurent à la fois le succès, la pérennité et la capacité d'adaptation du « réseau des réseaux », tout en suscitant nombre de critiques. La constitution d'un réseau fondé sur l'ouverture et l'hétérogénéité heurte notamment les constructeurs informatiques dans les années 1970, alors que le cadre de réflexion dominant est celui des architectures propriétaires, dans lesquelles les réseaux ne supportent que les machines d'un seul constructeur (par exemple *Systems Network Architecture* d'IBM). De plus, le choix d'un réseau distribué dans lequel l'intelligence est placée « en périphérie », ainsi que celui des datagrammes, va heurter la conception que le monde des télécommunications se fait de la modélisation des réseaux de communication.

Le choix même de la commutation de paquets suscite la défiance. Le découpage des messages numériques en paquets de données remonte aux années 1960, aux travaux distincts de Paul Baran à la Rand Corporation et du professeur Léonard Kleinrock à UCLA (Université de Californie) aux États-Unis et de Donald Davies en Grande-Bretagne. Les idées de Paul Baran sont restées au stade conceptuel et son système de « la patate chaude (4) », conçu dans le contexte de la guerre froide, a été abandonné face aux réticences de la Défense Communications Agency à mettre en œuvre le projet et aux craintes de ce pion-

nier de le voir réaliser dans un sens qui ne lui conviendrait pas (Hafner, Lyon, 1999, p. 77 ; Serres, 2000, pp. 430-431). Si Paul Baran est souvent présenté comme le père de la commutation de paquets, les premières expériences sont menées par l'équipe du britannique Donald Davies au National Physical Laboratory, qui réalise une « expérience maison », reposant sur un seul nœud. Celle-ci démarre en 1967 et le réseau prend le nom de *Mark I* (5). A la fin des années 1960 et au début des années 1970, la commutation de paquets reste encore une voie de recherche risquée : « Packet switching was a risky choice for the Arpanet; using this novel technique would increase the uncertainty and complexity of the system design and hence the project's chances of failure » (Abbate, 1999, p. 47).

Surtout, quand en 1974 Vinton Cerf et Robert Kahn, qui participent aux travaux sur Arpanet, définissent ce qui deviendra le protocole TCP/IP (*Transport Control Protocol, Internet Protocol*) permettant d'interconnecter non plus seulement des ordinateurs de constructeurs différents, mais des réseaux de nature différente, jetant les bases de l'Internet, ils font le choix d'un mode de commutation de paquets reposant sur les datagrammes. Ceux-ci ont été conceptualisés en France, dans le cadre du projet Cyclades, développé à l'Institut de recherche en informatique et automatique à partir de 1971 par Louis Pouzin et son équipe (Schafer, 2007a). Avec les datagrammes, les paquets sont acheminés de façon autonome au niveau de chaque nœud de commutation. Les inconvénients de ce modèle – notamment le fait qu'en cas de surcharge le réseau puisse refuser temporairement l'entrée des paquets d'une certaine classe – sont jugés acceptables en raison des bénéfices à retirer d'un tel mode d'acheminement, flexible, rapide, permettant une meilleure optimisation de la gestion de flux par rapport, par exemple, à une réservation de ligne pour le transfert de données (commutation de circuits). Le contrôle de trafic n'est pas entièrement fiable, mais les informaticiens estiment que les taux de perte sont minimes.

L'opposition aux datagrammes prend sa source dans le milieu des télécommunications et trouve un écho particulier en France, dans le conflit qui oppose le réseau Cyclades et les projets RCP puis Transpac (6), développés conjointement par le Centre national d'étude des télécommunications et le Centre Commun d'Étude de Télévision et de Télécommunications (CCETT). La controverse porte sur la manière dont les paquets qui constituent un message doivent circuler au sein des artères de communication. En effet, alors que les ingénieurs de

Cyclades soutiennent les datagrammes (routage adaptatif des paquets), les télécommunicants sont favorables aux circuits virtuels: les paquets d'un même message suivent une même route (Schafer, 2007b). Ce sont deux conceptions de la modélisation des réseaux qui s'opposent.

« Si on laisse les paquets se diriger tous seuls sans maîtriser leur acheminement, on va en retrouver qui tournent en rond, au milieu des circuits » (Entretien V. Schafer/Alain Profit, 4 février 2003). Les télécommunicants considèrent le principe du *best effort* comme incompatible avec un réseau public: selon eux, l'asservissement sélectif des sources de données, la connaissance des communications, ainsi qu'une indication de leur débit utile, permettent de résoudre les problèmes de dimensionnement et de congestion du réseau. « En résumé, on peut dire que les choix techniques retenus pour Transpac découlent principalement de la priorité donnée aux exigences du service public telles que les conçoivent les responsables des télécommunications » (Libois, 1997). Pour Rémi Després, qui développe Transpac au CCETT, le choix est clair: les datagrammes ne sont pas en mesure de permettre une qualité de service et un modèle simple de facturation (Entretien V. Schafer/Rémi Després, 4 mars 2003). Les informaticiens considèrent au contraire que le « modèle télécom » est un modèle « ceinture et bretelle », guidé à la fois par une vision de câbliers et par le souci de ne pas perdre la mainmise sur les réseaux – dont ils maîtrisent, dans la France du monopole, les infrastructures. Les chercheurs en informatique dénoncent la tradition de liaisons point à point des PTT, liée au modèle téléphonique, et le réflexe du *Not Invented Here* qui ferait rejeter par le corps des Télécommunications toute idée exogène. Ces enjeux trouvent à l'échelle européenne et internationale des échos virulents et voient les télécommunicants s'unir au niveau international autour de X25. Cette norme reposant sur les circuits virtuels est définie en 1976 au Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, tandis que le projet Cyclades s'éteint en 1979 (Pouzin, 2000). Toutefois, alors que Transpac assure en France, à partir de 1978, le succès des circuits virtuels et supporte dans les années 1980 le trafic Minitel, les datagrammes poursuivent leur route outre-Atlantique, dans TCP/IP.

“Rough consensus and running code”

Un autre aspect fondamental d'Arpanet, prolongé dans Internet, celui des architectures ouvertes et des systèmes hétérogènes qui permettent d'inclure une diversité de matériels, recueille plus

d'intérêt de la part des Européens. Ils sont conscients que ce peut être un moyen de trouver leur place dans des réseaux où les matériels américains, notamment produits par IBM, menacent de largement dominer le marché. Comme le rappelle Louis Pouzin, le choix d'un réseau ouvert dans Cyclades est aussi pragmatique: « [...] À partir du moment où l'on voulait promouvoir la CII (7), il fallait faire de l'hétérogène car il n'y avait pas de monopole; il fallait bien admettre qu'il n'y aurait pas que la CII dans un réseau, qu'il y aurait forcément un certain nombre de machines IBM parce que ce sont eux qui mangeaient le marché, et il fallait bien admettre aussi que des gens ont des *Control Data*, des *Burroughs* (8) » (Entretien V. Schafer/Louis Pouzin, 12 novembre 2002). Un grand programme de normalisation connu sous le nom d'interconnexion de systèmes ouverts (OSI) est lancé dans l'enthousiasme, en 1977, au plan international, au sein de l'International Organization for Standardization.

Si Systems Network Architecture (SNA) d'IBM, Cyclades ou le premier Arpanet adoptent des modèles en couches – dont l'origine intellectuelle est à chercher chez le Hollandais Edgser Dijkstra et sa machine THE – l'OSI va systématiser ce modèle, définissant sept couches distinctes reposant « sur un découpage fonctionnel hiérarchique tel qu'une entité de couches ne voit pas la complexité de l'architecture sur laquelle elle repose, mais seulement l'ensemble des services fournis par la couche qui lui est immédiatement inférieure » (Elie, Bayard-Richard, 1988). On voit ainsi apparaître la possibilité d'empiler des protocoles, permettant modularité et fonctionnalité: les avantages de cette présentation sont notamment la limitation du nombre d'interfaces qu'un élément du modèle doit connaître et la possibilité de modifier les services et les fonctions d'une couche de données, sans modifier les couches adjacentes.

Stabilisé dès 1982, le modèle de référence de base de l'OSI est officiellement publié en 1984. Toutefois, une prolifération de normes *de facto*, en particulier TCP/IP, la tentation de normes transitoires, enfin la lenteur et la complexité du processus de normalisation, viennent à bout de l'effort œcuménique. L'OSI, en voulant fédérer, devient une « tour de Babel ». Pour Vinton Cerf, c'est essentiellement la lenteur du processus de normalisation qui a été dommageable: “It's just that they are taking a lot of time. So I don't think that we would have seen the kinds of applications that are emerging now and available to us had ARPA not made such a major investment in packet switching (9)”.

Aussi, les pionniers d'Internet restent effacés dans la définition de l'OSI. Pour l'historienne Abbate (1999, p. 173), le fait que les protocoles TCP/IP viennent des États-Unis et d'un organisme extérieur aux organes officiels de normalisation les rendait « politiquement inacceptables ». De plus, Vinton Cerf aurait regretté qu'il y manque une couche Internet et la reconnaissance des circuits virtuels dans l'OSI aurait été aussi un obstacle. Deux autres hypothèses peuvent être suggérées : on peut se demander si la perfectibilité progressive d'un système et une résolution pragmatique des *bugs* ne sont pas partie intégrante d'une culture informatique qui choisit des modes de diffusion plus souples et plus rapides, pour un projet qui se développe sur des bases de recherche et hors de l'économie marchande. Ensuite, les *Requests For Comments* mises en place par Stephen Crocker – système de documentation technique et de réflexion collective créé dès 1969 pour permettre une participation large et plus informelle des ingénieurs à l'élaboration des protocoles – peuvent mieux répondre au mode opératoire d'une équipe, dont une des caractéristiques est la souplesse et la réactivité. Une normalisation de fait, une démarche guidée par la technique, le code, présentée comme apolitique, souple, évolutive semblent guider l'évolution et la modélisation de l'Internet des premiers temps ou au moins nourrir l'imaginaire de ses concepteurs. Lors du 24e anniversaire de l'*Internet Engineering Task Force* en 1994, David Clark a cette formule célèbre : "We reject kings, presidents and voting. We believe in rough consensus and running code". Un chant du cygne alors qu'en 1994 déjà, l'Internet commence à se massifier sous l'effet du succès du Web ?

Du Best effort à la prioritarisation, d'un modèle horizontal à un modèle client/serveur : Internet, « victime » du Web et de son succès ?

Aux origines de l'Internet, le principe de décentralisation gouverne la circulation des transmissions. Ses principaux usagers, les chercheurs, ont conçu des modes de diffusion des données et de facturation extrêmement pragmatiques et parfois techniquement un peu précaires : diffusion des News de sites en sites par inondation, tables de routage complexes, facturation des usages en constante évolution et approximative reposant, dans le cas français comme européen, sur le bon vouloir de centres pionniers et d'une communauté d'intérêt. Cependant, ce modèle ne va pas résister au développement grand public et au passage à l'Internet commercial et commercialisé dans les années 1990.

En particulier, l'introduction du *World Wide Web* à partir de 1990 (Berners-Lee, 2000) conduit à la diffusion d'architectures du type client-serveur. Le navigateur *Web* et d'autres applications, qui émergent dans les premières phases de la commercialisation, se basent sur un protocole où le client amorce une connexion à un serveur connu, en télécharge des données et se déconnecte. L'organisation de la recherche d'informations, depuis le service fourni par Netscape jusqu'au modèle Google, en passant par les portails (Yahoo!, AOL, MSN) joue aussi un rôle essentiel. En même temps, des sites comme eBay et Amazon contribuent à l'explosion du commerce électronique ; en 1998 les accords de Genève confirment la volonté soutenue par Bill Clinton que les droits de douanes ne s'appliquent provisoirement pas aux transactions commerciales effectuées par les réseaux électroniques. L'introduction en bourse de Netscape en 1995, suivie par d'autres *start-up* (Yahoo!, eBay, Amazon) et l'augmentation de la valeur du NASDAQ (valeurs technologiques), marque la fin des années 1990, avant l'éclatement de la bulle spéculative en 2000 et la crise boursière qui s'ensuit.

Des services comme les réseaux sociaux, les outils de messagerie, les applications de stockage de contenus numériques se basent ensuite sur des modèles techniques et économiques dans lesquels les utilisateurs demandent des services à de puissants serveurs qui stockent de l'information et/ou gèrent le trafic. C'est une façon simple et directe de mettre en place nombre d'applications.

Même si le trafic Internet fonctionne sur le principe de la distribution généralisée, il prend de plus en plus la forme d'une concentration autour des serveurs qui donnent accès aux contenus. L'explosion commerciale de l'Internet dirige rapidement une grande majorité de son trafic vers le paradigme *downstream*, propre de la télévision et des médias traditionnels. L'augmentation importante des spams, et la présence toujours plus importante de protocoles gourmands en bande passante compromettant le bon fonctionnement de l'Internet en tant que « ressource commune » (Ostrom, 1990), amènent à des interrogations sur la nature coopérative du réseau, tandis que naissent des mesures de gestion qui érodent la symétrie du réseau (10) : le déploiement de pare-feu, l'augmentation des adresses IP dynamiques et la popularité de la *Network Address Translation* (ou « traduction d'adresse réseau »).

Parallèlement, le *best effort* recule au profit d'une prioritari-

sation, à la fois « conditionnelle » et « active » (Curien, Maxwell, 2011, pp. 43-44). Si la première ne suscite que peu de réactions, puisqu'elle permet de résoudre des problèmes de congestion, la seconde est davantage critiquée: en plaçant des paquets volontairement en tête de file ou au contraire en discriminant et ralentissant certains d'entre eux, elle pose la question de la neutralité d'Internet, actuellement source de vives controverses. Les affaires portées devant la justice se sont multipliées, depuis l'historique affaire Comcast en 2007 (le câblo-opérateur américain est accusé de ralentir le trafic BitTorrent) jusqu'aux récents démêlés de Cogent et Orange à propos du ralentissement par l'opérateur français des flux liés à MegaUpload. Peut-on ralentir des trafics fortement consommateurs de bandes passantes, liés à des usages pair-à-pair (*peer-to-peer*, P2P) ou de téléchargement de contenus lourds? Est-il opportun ou possible de favoriser des données, par exemple celles pour lesquelles un éditeur de contenus aurait payé des marges arrières à un fournisseur d'accès à Internet?

Dans une logique de réponses aux congestions et de qualité de service, des solutions paradoxales apparaissent. Tel est le cas du développement des *Content Delivery Networks* (CDN), par exemple d'Akamai, matériels stockant des contenus très demandés par les internautes au plus près d'eux, afin d'en faciliter l'acheminement. Certes les CDN permettent, en « rapprochant » les données des usagers, de résoudre des problèmes de congestion, mais ils peuvent constituer une menace pour le modèle Internet, « puisque ce sont les plus gros acteurs, ou les plus rentables, qui peuvent avoir un meilleur accès, tant en latence qu'en débit, à l'internaute final (11) ».

INTERNET À L'ÉPREUVE DE LA PRIORITARISATION, DU CONTRÔLE ET DE LA GESTION DES FLUX

La concentration autour de serveurs donnant accès aux services et contenus, le nombre grandissant d'applications consommatrices de bande passante, la confiance croissante dont les utilisateurs investissent le « réseau des réseaux » pour des applications et usages qui entraînent de nouveaux critères de sécurité, résultant en pare-feu qui divisent l'Internet en réseaux ou régions qui s'autoalimentent et se suffisent à eux-mêmes, ou encore les changements d'échelle de l'Internet (Minar, Hedlund, 2001) créent des défis de durabilité. De nombreux acteurs du secteur IT (Technologies de l'Information), à commencer par les entreprises, s'interrogent sur le mode d'organisation des services et la structure du réseau, et identifient des

problèmes spécifiques qui mettent à l'épreuve l'architecture Internet dans son scénario de « concentration » actuel. En cherchant les meilleures solutions, certains se retournent vers l'Internet d'il y a quinze ou vingt ans.

Modéliser le trafic Internet pour mieux le contrôler

Une bonne gestion des flux d'information, à la base d'un service de qualité à l'utilisateur final d'un réseau Internet désormais pleinement globalisé, passe à la fois par les procédures de contrôle de la circulation des informations et par la quantité et la pertinence des logiciels et des équipements matériels nécessaires. Pour réunir ces deux conditions, le monde de la recherche à la fois académique et industrielle œuvre à mieux comprendre les propriétés du trafic que les réseaux de communication, à commencer par l'Internet, doivent supporter, et ce depuis des années (12). C'est la gestion même de ces réseaux, et peut-être leur durabilité à moyen terme, qui en découlera: « Les leçons qu'on apprend de ces systèmes sont instructives, et pourraient nous aider – nous, les concepteurs d'applications – à empêcher la mort de l'Internet », note à ce propos un développeur (Entretien de F. Musiani avec un développeur d'une application pour le stockage distribué de données numériques, janvier 2010).

Toutefois la modélisation du trafic se heurte à des difficultés: la modélisation par des lois statistiques classiques, qui suffisaient jusqu'aux années 1990, est devenue insuffisante en raison du « caractère décentralisé, stochastique [...], non linéaire [...], complexe » (Baccelli, 2005) d'un réseau très étendu et impliquant des interactions entre et avec de nombreux intermédiaires. Les raisons de cette complexification sont à chercher dans l'utilisation de nouveaux protocoles de routage et de contrôle des transmissions, qui ont donné lieu à l'extension potentiellement indéfinie et indéfinissable du réseau (Baccelli, 2005, p.3), tout en apportant des variations – et des tensions – aux « protocoles coopératifs » TCP et IP (Minar, Hedlund, 2001, p.13). Ainsi Claude Kirchner, délégué général à la recherche et au transfert pour l'innovation à l'Inria, évoquait les travaux de l'Institut sur la réalisation d'un outil de mesure de la neutralité: « Internet [...] a grossi jusqu'à interconnecter des milliards de machines, et aujourd'hui, on ne comprend plus son comportement dans sa globalité. À une plus petite échelle seulement, on le comprend encore. Or, la neutralité des réseaux s'appuie sur la connaissance que l'on a de ces réseaux. Est donc née l'idée de concevoir des outils qui nous permettent d'observer Internet:

quels protocoles sont utilisés, quelles sont les vitesses de communication, quels sont les grands pôles d'échange, quelles routes prennent quels flux, etc.? [...] L'idée, c'est de permettre de mieux comprendre cet objet que nous avons créé, à des fins de recherche. Un peu comme si on construisait un télescope pour observer le ciel. En observant le ciel, on est capable de développer des modèles de l'univers. En matière de neutralité, cela peut être des modèles de gestion de trafic » (Entretien accordé à *L'Expansion*, 10 novembre 2010).

Ces difficultés de mesure servent les propos de ceux qui profitent d'un certain flou pour mettre en avant des risques de saturation du réseau, problème clairement identifié sur les mobiles, en raison des allocations limitées de ressources hertziennes, moins prouvé sur l'Internet fixe. La question a par exemple été soulevée lors de la publication à l'été 2011 d'un document de la Fédération Française des Télécommunications (FFT) par le site OWNI, faisant craindre la fin de l'Internet fixe illimité en France (13). Si cette possibilité a rapidement été démentie par les principaux membres de la FFT et d'autres fournisseurs d'accès Internet (FAI), elle engageait le débat sur la consommation exponentielle de bande passante, stigmatisant au passage les « Net Goinfres ». Surtout, elle soulevait, au-delà de la question purement tarifaire et de la possibilité d'un Internet à la carte, celle de la limitation d'accès à certains protocoles. Le document prévoyait en effet des options sur les services P2P ou de News, qui sont pourtant parmi les usages et applications historiques de l'Internet: ne serait-ce pas faire du « réseau des réseaux » une « super autoroute de l'information » ultra-rapide (appuyée bientôt sur la fibre), de plus en plus verticalisée et organisée comme un média de diffusion?

Ce virage n'est toutefois pas une fatalité, alors que des recherches visant à prendre en compte l'évolution possible de l'Internet et la répartition du trafic sont actuellement en cours. Parmi elles, le *cloud computing* et le modèle *peer-to-peer* sont des alternatives sérieuses. Le choix d'un inconnu de plus en plus omniprésent, le nuage, ou des qualités *evergreen* d'une ancienne technologie qui replonge dans la topologie de l'Internet pré-commercial, mettant à profit les « marges » du réseau, ne sont pas sans conséquences pour l'Internet.

Peer-to-peer ou/et cloud computing: l'avenir plus ou moins nuageux de l'Internet

Depuis que la naissance de Napster leur a donné visibilité auprès du grand public en 1999, les réseaux P2P ont été consi-

dérés presque exclusivement comme une menace pour l'industrie des contenus numériques. L'usage principal de ces réseaux par le public étant le partage non autorisé de fichiers musicaux ou vidéo, le problème du droit de propriété intellectuelle, du droit d'auteur notamment, s'est imposé en tant que cadrage médiatique et politique prédominant des réseaux P2P et de leurs usages (Elkin-Koren, 2006). Cependant, dépassant les limites de l'argument qui consiste à assimiler P2P et piratage (Musiani, 2010a, 2010b), certains cherchent dans ce modèle des réponses aux questions qui touchent à la répartition de la bande passante, à l'équilibre du trafic, à l'efficacité de distribution.

Nombre d'applications construites sur modèle P2P nées au cours de la dernière décennie utilisent en effet l'Internet de la même façon qu'il avait été conçu: comme un moyen de communication entre machines qui partagent des ressources l'une avec l'autre, entre égaux. Ce modèle de réseau ne doit pas sa nouveauté à son concept: l'innovation réside dans son passage à l'échelle et ses implémentations particulières (Minar, Hedlund, 2001). Les concepteurs d'applications courantes cherchent à apprendre des systèmes Internet distribués, ou avec d'importantes composantes distribuées, comme Usenet ou le Domain Name System; en d'autres cas, ils souhaitent inverser, modifier ou reconfigurer les changements auxquels l'Internet a fait face dans sa phase de commercialisation et d'ouverture au grand public, afin d'adapter ou de réadapter le réseau à de nouvelles applications P2P. Se sont ainsi développés des services tels que Skype (14), le logiciel de voix sur IP (VoIP) qui entraîne de véritables reconfigurations du marché traditionnel de la téléphonie, ou des projets européens à large échelle tels que P2P-Next (15), qui voient des partenaires industriels comme Pioneer ou BBC collaborer avec le monde de la recherche universitaire, en premier lieu l'université technique de Delft, afin de développer un système de streaming vidéo sur technologie P2P.

Avec des services tels que Google ou Facebook, chaque fois qu'un usager exécute une recherche ou met un album photo en ligne pour le montrer à ses amis, des données sont envoyées à des serveurs et téléchargées avant de rejoindre leur destinataire prévu, contribuant à constituer le scénario de concentration évoqué. En revanche, mettant à profit le potentiel décentralisateur du P2P, d'autres modèles d'applications plus récents visent à répondre aux mêmes exigences du point de vue de l'utilisateur final, mais en se basant sur une architecture technique différente. Naissent donc des alternatives aux géants de la recherche et du partage en ligne, tels que Faroo (16), un moteur

de recherche P2P dont le principe fondateur est la détection des préférences personnelles et des affinités entre les usagers, et de nombreux prototypes de réseau sociaux décentralisés, dont Diaspora* (17) est actuellement l'exemple le plus médiatisé, mais pas le seul (Musiani, 2010c). Les implications sont multiples en termes de performance technique, mais aussi pour redéfinir des concepts tels que la sécurité et la *privacy*, reconfigurer les emplacements des données et des échanges, les frontières entre l'utilisateur et le réseau, les outils à disposition. En somme, le P2P peut avoir un impact sur l'attribution, la reconnaissance et la modification de droits entre utilisateurs et fournisseurs des services (Musiani, 2010a, 2010b).

Si les modèles P2P offrent des nouvelles pistes d'exploration et de maintien des équilibres au sein de l'écologie Internet, les grands acteurs du marché IT actuel posent des conditions. Un *P2P turn* est-il encore possible, alors que le *cloud computing* semble prendre le dessus, renforçant donc un modèle économique et technique dans lequel l'utilisateur final sollicite de puissants centres de serveurs qui stockent l'information et gèrent le trafic sur le réseau ?

Bien que la définition même de *cloud* soit actuellement l'objet de vives controverses (une revue spécialisée a réuni plus de vingt définitions différentes du concept (18)), ce modèle indique généralement que le fournisseur propose l'infrastructure physique et le produit logiciel, abritant ainsi à la fois les applications et les données dans un lieu inconnu de l'utilisateur (le fameux « nuage », *cloud* en anglais) et interagit avec ce dernier grâce à une interface client (Musiani, 2011). On s'achemine dans ce cas vers un modèle de déportation sur des serveurs distants de traitements informatiques traditionnellement localisés sur le poste utilisateur.

Toutefois, le nuage décentralisé est aussi envisageable. Celui-ci serait conçu pour répartir la puissance de calcul et les ressources du nuage entre les terminaux de tous les utilisateurs/contributeurs (Musiani, 2011) – dans la voie décrite par le professeur Eben Moglen, inspirateur de Diaspora*, pour lequel, en l'état, le *cloud* signifie seulement que « des serveurs ont gagné [davantage de] liberté. Liberté de bouger. Liberté de louer, de combiner et de diviser, de ré-agréger et d'utiliser toute sorte d'astuces. Les serveurs ont gagné en liberté. Les clients n'ont rien gagné » (Moglen, 2010).

En évoquant les usagers et des serveurs, Moglen introduit les acteurs de l'Internet dans la réflexion sur les modèles: en

effet, la modélisation doit de plus en plus prendre en compte les rapports de force et tensions qui traversent la chaîne Internet, ce qu'illustrent les débats sur la neutralité de l'Internet, en apparence purement techniques, mais rapidement devenus profondément politiques et sociaux.

La neutralité d'Internet en débat

Popularisé par Tim Wu en 2003, le concept de *Net Neutrality* est source de débat d'abord aux États-Unis, avant d'atteindre l'Europe avec un léger décalage. L'enjeu est le maintien du principe selon lequel les paquets d'information, quels qu'en soient la source et le destinataire, sont traités de façon égale. La préservation de ce principe, ainsi que ses violations, ont pour toile de fond des questions complexes sur le rapport entre fournisseurs d'accès à Internet, de contenus et de services, opérateurs, dont ceux de transit, Content Delivery Networks, usagers et acteurs de la gouvernance (Schafer, Le Crosnier, 2011).

L'enjeu est d'abord économique. Les opérateurs de réseau mettent en avant la question du financement des infrastructures, à l'heure de contenus de plus en plus consommateurs en bande passante, mais aussi des stratégies de « qualité de service » (QoS), permettant de privilégier le transport de certaines informations. On retrouve ici les arguments développés dès les années 1970. « On comprend cette logique pour les actions liées à la santé en ligne, aux nuages de serveurs, ou aux réseaux privés. De même, les réseaux de télécommunication servant aussi au passage de la télévision (IPTV), la prestation de service peut y être différenciée. La question de la neutralité du Net revient à savoir si l'on peut étendre ces traitements différenciés à certains prestataires Internet qui seraient prêts à en payer le prix » (Le Crosnier, 2010). Ainsi, Level 3 Communications menace de saisir les autorités américaines contre Comcast, premier câblo-opérateur aux États-Unis, qu'il accuse de surtaxer la diffusion de vidéos en ligne. En avril 2010, Comcast remportait toutefois une victoire, lorsqu'en appel le jugement de la Federal Communications Commission (FCC), pénalisant la société qui restreignait l'accès de ses usagers à BitTorrent en 2007, était cassé. La question du pouvoir de la FCC rebondit fin décembre 2010, lorsque celle-ci affirme la neutralité du Net, tout en laissant en suspens un certain nombre de questions concernant notamment les mobiles, prise de position jugée insuffisante par certains (tel Free Press), trop intrusive par d'autres.

Derrière l'enjeu économique, le problème est aussi profondément politique. Il pose la question de la gouvernance de

l'Internet, à plusieurs échelles. L'intervention étatique fait débat, après que Barack Obama a engagé la FCC à préparer une loi en ce sens. En France, une « Consultation publique sur la neutralité du Net » a été lancée par Nathalie Kosciusko-Morizet au printemps 2010 et la Commission européenne a fait de même, après qu'elle a dû aborder le sujet dès 2008 lors de la révision du « paquet télécom ». Outre le pouvoir des États dans la régulation de l'Internet, la participation de la société civile, sous la forme d'associations comme la Quadrature du Net en France, montre que le problème dépasse les seuls experts économiques et politiques et convoque différentes visions et imaginaires de l'Internet. Entrent également dans la discussion les « pères fondateurs », tel Tim Berners-Lee (2010). Enfin, les acteurs économiques sont divisés et les autorités de régulation nationale, l'ARCEP pour la France, doivent tenir compte de la complexité des positions et de tendances européennes contradictoires : en novembre 2010, tandis que la commissaire européenne Neelie Kroes se prononçait en faveur de la neutralité, le ministre de la Culture britannique défendait une « évolution vers un marché à deux niveaux, où les consommateurs et les fournisseurs de contenu pourraient choisir de payer pour différents niveaux de qualité de service (19) ».

Le débat est donc autant politique qu'économique et social, posant les questions de la discrimination des données, de la régulation, des *Electronic Human Rights* et des biens communs, de l'évolution des infrastructures et des relations entre acteurs de l'Internet (Schafer, Le Crosnier, 2011). Dans *Protocol Politics*, DeNardis (2009, p. 227) montrait à quel point l'adoption des protocoles, et d'IPv6 en particulier, est le lieu où « markets meet protocols ». À son argument, selon lequel des changements d'architecture impliquent des changements dans l'agencement des pouvoirs, on peut ajouter que les changements dans l'agencement des pouvoirs impliquent maintes fois des changements d'architecture. Loin de se réduire uniquement à de la mathématique avancée, la modélisation de l'Internet reflète aussi les évolutions sociétales.

CONCLUSION

À quoi tient le succès d'une modélisation et comment ce succès est lui-même susceptible d'être une des causes de la reconfiguration constante de ce modèle : ces deux aspects permettent – à travers l'étude des négociations et controverses dont l'architecture Internet a fait l'objet par le passé, les tensions auxquelles elle est soumise actuellement et les discussions autour de ses futurs – de rappeler que le modèle Internet, loin d'être sta-

tique ou de s'être imposé de lui-même, a constamment évolué suite aux modifications des usages, à leur massification, au choix non seulement techniques mais aussi professionnels, économiques, politiques, sociaux effectués par les différentes parties prenantes. Cet article souligne la nécessité d'analyser l'incertitude des trajectoires de l'innovation et de questionner la gestion de l'imprévisibilité et les effets de réversibilité/irréversibilité associés à ces trajectoires (20). Il confirme l'intuition d'Oram (2004), selon laquelle les architectures techniques sont un « ensemble de problèmes aussi bien qu'un ensemble de technologies ».

La question de la modélisation du trafic Internet, celle de sa neutralité, engagent par ailleurs à (re)penser la matérialité de l'Internet – le rôle crucial des infrastructures, des protocoles et des « tuyaux » dans le fonctionnement d'un « réseau des réseaux » où le virtuel n'est pas affranchi des tensions qui traversent la société réelle, ses institutions, ses associations, ses individus. Ces questions ont aussi trait à la spatialité de l'Internet, quand il s'agit de pousser la responsabilité du réseau – en termes de ressources fournies, de gestion de données, de durabilité du système – à ses marges, sa périphérie, ou au contraire au cœur d'un ensemble de puissants centres.

La volonté de rapprocher certains contenus des utilisateurs, d'améliorer l'accessibilité et la desserte, de mesurer et comprendre plus finement le comportement des flux, d'introduire des points de contrôle, invitent à penser le « réseau des réseaux » sur le principe d'autres grands systèmes techniques. C'est une « quasi-neutralité » qui est parfois proposée, au nom de la protection des usagers vis-à-vis de contenus illicites ou invasifs. C'est également une régulation dans la transparence, préservant le droit à la concurrence, qui peut être préconisée, sur le principe de l'autoroute : « Une société d'autoroute est 'neutre' en ce sens qu'elle pratique certes la discrimination efficace – en gérant et signalant les bouchons, en imposant des horaires de circulation aux poids lourds, en proposant aux usagers des options tarifaires différenciées – mais ne pratique pas en revanche la discrimination anticoncurrentielle ou restrictive de libertés : sur les bretelles d'accès, elle ne bloque ni les voitures bleues, ni celles immatriculées dans le Loiret ! », notent à ce sujet Curien et Maxwell (2011, p. 5). Une telle analogie avec le système autoroutier n'est toutefois pas sans danger : au-delà de son caractère pédagogique, elle invite à penser Internet comme une « autoroute de l'information », menant d'un point à un autre, plus que comme un outil de communication distribué et réticulaire.

Francesca Musiani est ingénieur de recherche et doctorante au Centre de sociologie de l'innovation (CSI) de MINES ParisTech (UMR 7185 CNRS) et a enseigné à l'Université Pierre et Marie Curie. Diplômée en communication des organisations (Université de Padoue, Italie) et en droit international (Université pour la Paix des Nations Unies), elle participe actuellement au projet ANR ADAM et rédige sa thèse sur la technologie P2P appliquée aux services Internet.
francesca.musiani@mines-paristech.fr

Valérie Schafer est chargée de recherche à l'Institut des sciences de la communication du CNRS (ISCC). Docteur en histoire, spécialiste de l'histoire des télécommunications et de l'informatique, elle participe au projet ANR Resendem (Les grands réseaux techniques en démocratie: innovation, usages et groupes impliqués dans la longue durée, fin du 19e - début du 21e s.), coordonné par le Professeur Pascal Griset, et co-organise les séminaires Histoire de l'innovation et TIC (EHESS-Paris Sorbonne-ISCC) et Histoires de l'Internet (ISCC).
valerie.schafer@iscc.cnrs.fr

NOTES

(1) <http://www.realnetworks.com/about-us/index.aspx> (consulté le 21 décembre 2011).

(2) Pour reprendre la formule de Raymond et Young dans *The Cathedral & the Bazaar* (2011).

(3) Unix-to-Unix Copy est une suite de logiciels et protocoles informatiques permettant l'échange de fichiers, messages et News entre ordinateurs.

(4) Le principe selon lequel un message est divisé en petits paquets et envoyé ensuite à ses destinataires par les chemins les moins encombrés possibles.

(5) À ne pas confondre avec le *Manchester Mark I*, machine conçue à l'université de Manchester sous la direction de Max Newman.

(6) Un réseau public de transmission de données par paquets, lancé en 1978 par l'Administration des Télécommunications française.

(7) La Compagnie internationale pour l'Informatique, créée dans le cadre du Plan Calcul, qui vise à promouvoir l'industrie et la recherche informatiques françaises, est alors le « champion national ».

(8) La Burroughs Corporation et la Control Data Corporation étaient des fabricants d'équipements de calcul, parmi les principaux acteurs de l'industrie informatique des années 1960.

(9) "An Interview with V. Cerf", OH 191, Conducted by Judy O'Neill, 24 Avril 1990, Reston, Archives en ligne du Charles Babbage Institute.

(10) Principe selon lequel si un *host* peut accéder au réseau, tout le monde sur le réseau peut atteindre cet *host*.

(11) Conseil Général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies (GIET), « La neutralité dans le réseau Internet », Rapport, mars 2010, pp. 19-20. Disponible en ligne :

http://www.cgiet.org/documents/2010_05_31_2009_31_C_GIET_Neutralite-rapportfinal.pdf (consulté le 21 décembre 2011).

(12) On peut évoquer dans les années 1990 les projets Meval ou Mistral de l'Inria, respectivement sous la direction de G. Fayolle et de F. Baccelli.

(13) OWNI, « La fin de l'Internet illimité ». Disponible en ligne :

<http://owni.fr/2011/08/19/fin-internet-illimite-fixe-orange-sfr-free-bouygues-telecom/> (consulté le 21 décembre 2011).

(14) <http://www.skype.com/> (consulté le 21 décembre 2011).

(15) <http://www.p2p-next.org/> (consulté le 21 décembre 2011).

(16) <http://www.faroo.com/> (consulté le 21 décembre 2011).

(17) <https://joindiaspora.com/> (consulté le 21 décembre 2011).

(18) "Twenty-One Experts Define Cloud Computing", *Cloud Computing Journal*, 2008. Disponible en ligne :

<http://cloudcomputing.sys-con.com/node/612375/print> (consulté le 21 décembre 2011).

(19) « Le débat sur la 'neutralité du Net' relancé au Royaume-Uni », *Le Monde.fr*, 18 novembre 2010.

(20) Cette thématique a notamment été abordée en octobre 2009, à Bordeaux, lors du Colloque international du programme *Les trajectoires de l'innovation*, organisé à la MSHA par Yannick Lung et Christophe Bouneau. Disponible en ligne :

http://www.msha.fr/msha/recherche2007-2010/lti/pdf/bilan_lti_13.10.pdf (consulté le 21 décembre 2011).

BIBLIOGRAPHIE

ABBATE J., 1999, *Inventing the Internet*, Cambridge, MIT Press
AGRE P., 2003, "Peer-to-Peer and the Promise of Internet Equality", *Communications of the ACM*, 46 (2), pp. 39-42.
AKRICH M., 1998, « Les utilisateurs, acteurs de l'innovation », *Éducation Permanente*, n°134, pp. 79-89.

BACCELLI F., 2005, « Internet: modéliser le trafic pour mieux le gérer », *Interstices*, 16 décembre

BERNERS-LEE T., 2000, *Weaving the Web*, New-York, Harper-Business

BERNERS-LEE T., 2010, "Long Live the Web: A Call for Continued

- Open Standards and Neutrality”, 22 novembre, *Scientific American*. Disponible en ligne : <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=long-live-the-web&page=4> (consulté le 21 décembre 2011)
- BRAMAN S., 2011, “Designing for Instability: Internet Architecture and Constant Change”, *Media In Transition 7 (MIT7)*. *Unstable Platforms: the Promise and Peril of Transition*, Cambridge, 13-15 mai
- CALLON M., 1991, “Techno-economic Networks and Irreversibility”, in: Law J. (Eds.), *A Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology and Domination*, Londres, Routledge, pp. 132-165.
- CURIEN N., MAXWELL W., 2011, *La neutralité d’Internet*, Paris, La Découverte
- DE NARDIS L., 2009, *Protocol Politics, The Globalization of Internet Governance*, Cambridge, The MIT Press
- ELIE M., BAYARD-RICHARD T., 1988, « La normalisation de l’interconnexion des systèmes ouverts: une dynamique et ses freins ». Intervention au colloque sur l’Histoire de l’Informatique en France, Grenoble, 3-5 mai 1988.
- ELKIN-KOREN N., 2006, “Making Technology Visible: Liability of Internet Service Providers for Peer-to-Peer Traffic”, *New York University Journal of Legislation & Public Policy*, 9 (15), pp. 15-76.
- FULLER M., 2008, *Software Studies: A Lexicon*, Cambridge, The MIT Press
- HAFNER K., LYON M., 1999, *Les Sorciers du Net. Les origines de l’Internet*, Paris, Calmann-Lévy
- LE CROSNIER H., 2010, « Google et la neutralité du réseau », Les blogs du Diplo, 9 août 2010. Disponible en ligne : <http://blog.mondediplo.net/2010-08-09-Google-et-la-neutralite-du-reseau> (consulté le 21 décembre 2011).
- LIBOIS L.-J., 1977, « Aspects fondamentaux du problème des réseaux de téléinformatique. La normalisation: condition préalable à une politique de systèmes hétérogènes », juin 1977 (archives de l’Inria 86. 07. 007)
- MINAR N., HEDLUND P., 2001, “A network of peers – Peer-to-peer models through the history of the Internet”, in: A. Oram (Ed.), *Peer-to-peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies*, Sebastopol, O’Reilly, pp. 9-20.
- MOGLEN E., 2010, “Freedom In The Cloud: Software Freedom, Privacy and Security for Web 2.0 and Cloud Computing”, Rencontres ISOC, bureau de New York, 5 février
- MUSIANI F., 2011, « Connectés mais protégés: le pari des réseaux sociaux décentralisés », ParisTech Review, février. Disponible en ligne : <http://www.paristechreview.com/2011/02/04/connectes-proteges-reseaux-sociaux-decentralises/> (consulté le 5 décembre 2011).
- MUSIANI F., 2010a, « Peer-to-peer: au-delà du piratage, les vertus d’une technologie de réseau », *Le Prisme à Idées*, n°3, pp. 23-27.
- MUSIANI F., 2010b, « Ménager le droit à la vie privée, entre anonymat et connaissance de l’identité: les débuts des réseaux sociaux en pair-à-pair », *Terminal*, n°105, pp. 107-116.
- MUSIANI F., 2010c, “When Social Links Are Network Links: the Dawn of Peer-to-Peer Social Networks and Its Implications for Privacy”, *Observatorio*, 4 (3), pp. 185-207.
- ORAM A., 2004, “From P2P to Web Services: Addressing and Coordination”, *O’Reilly XML.com*. Disponible en ligne : <http://www.xml.com/pub/a/2004/04/07/p2p-ws.html> (consulté le 22 décembre 2011)
- OSTROM E., 1990, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge, Cambridge University Press
- POUZIN L., 2000, « Cyclades ou comment perdre un marché », *La Recherche*, n°328, février, pp. 32-33.
- RAYMOND E., YOUNG B., 2011, *The Cathedral & the Bazaar*, O’Reilly
- SCHAFFER V., 2007a, *Des réseaux et des hommes. Les réseaux à commutation de paquets, un enjeu pour le monde des télécommunications et de l’informatique françaises (années 1960-1980)*, Thèse de doctorat sous la direction de P. Griset, Paris-Sorbonne
- SCHAFFER V., 2007b, « Datagrammes et circuits virtuels: une concurrence à plusieurs échelles », *Histoire, Économie & société*, n°2, pp. 29-48.
- SCHAFFER V., LE CROSNIER H., (MUSIANI F. Collab.) 2011, *La neutralité de l’Internet, un enjeu de communication*, Paris, CNRS Éditions, coll. Les essentiels d’Hermès
- SERRES A., 2000, *Aux sources d’Internet: l’émergence d’Arpanet*, Thèse de Doctorat en Sciences de l’Information et de la Communication, Université Rennes 2
- STAR S. L., 1999, “The Ethnography of Infrastructure”, *American Behavioral Scientist*, 43 (3), pp. 377-391.
- STAR S. L., BOWKER G., 2002, “How To Infrastructure”, in: Lievrouw L. A. (Ed.), *Handbook of New Media*, Londres, Sage, pp. 151-162.
- VAN SCHEWICK B., 2010, *Internet Architecture and Innovation*, Cambridge, The MIT Press