



Francesca Musiani, *Nains sans géants. Architecture décentralisée et services Internet*, Paris, Presses des Mines, Collection Sciences sociales, 2013.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2013

60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France

[presses@mines-paristech.fr](mailto:presses@mines-paristech.fr)

[www.pressesdesmines.com](http://www.pressesdesmines.com)

ISBN: 978-2--35671-046-8

© Photo de couverture: Danièle Akrich

Dépôt légal: 2013

Achévé d'imprimer en 2013 (Paris)

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

Nains sans géants

Collection Sciences sociales

Responsable de la collection : Cécile Méadel  
Centre de sociologie de l'innovation (www.csi.ensmp.fr)

- L. Doganova, *Valoriser la science, Les partenariats des start-up technologiques.*
- F. Granjon, *Reconnaissance et usages d'Internet.*
- F. Massit-Folléa, C. Méadel, L. Monnoyer-Smith, *Normative Experience in Internet Politics.*
- M. Calvez avec la collaboration de S. Leduc, *Des environnements à risques.*
- G. Teil, *Le Vin et l'Environnement.*
- J. Denouël, F. Granjon (dir.), *Communiquer à l'ère numérique, Regards croisés sur la sociologie des usages.*
- A. Mallard, *Petit dans le marché, Une sociologie de la Très Petite Entreprise.*
- M. Akrich, T. Barthe, F. Muniesa, P. Mustar (eds), *Débordements, Mélanges offerts à Michel Callon.*
- M. Akrich, Y. Barthe, C. Rémy, *Sur la piste environnementale.*
- C. Lemieux, Un président élu par les médias ?
- C. Lemieux, *La Sociologie sur le vif.*
- M. Armatte, *La Science économique comme ingénierie.*
- J. Denis et D. Pontille, *Petite sociologie de la signalétique, Les coulisses des panneaux du métro.*
- A. Mol, *Ce que soigner veut dire, Repenser le libre choix du patient.*
- M. Akrich, C. Méadel, V. Rabeharisoa, *Se mobiliser pour la santé. Les associations de patients témoignent.*
- M. Akrich, J. Nunes, F. Paterson, V. Rabeharisoa (eds), *The Dynamics of Patient Organizations in Europe.*
- M. Mort, C. Milligan, C. Roberts, I. Moser (ed.), *Ageing, Technology and Home Care.*
- M. Akrich, M. Callon et B. Latour, *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*
- A. Desrosières, *Pour une sociologie historique de la quantification, L'Argument statistique I.*
- A. Desrosières, *Gouverner par les nombres, L'Argument statistique II.*
- A. Savoye, F. Cardoni (coord.), *Frédéric Le Play, parcours, audience, héritage.*
- F. Audren, A. Savoye (eds), *La Naissance de l'ingénieur social.*
- A. de Saint Laurent-Kogan, J.-L. Metzger (dir.), *Où va le travail à l'ère du numérique ?*
- B. Latour, *Chroniques d'un amateur de sciences.*
- V. Rabeharisoa, M. Callon, *Le Pouvoir des malades*

# Nains sans géants

Architecture décentralisée  
et services Internet

**Francesca Musiani**

Préface de **Geoffrey C. Bowker**,  
Professeur à l'université de Californie (Irvine)



# Préface

Geoffrey C. Bowker,  
Professeur à l'Université de Californie (Irvine)

Faire l'histoire de l'imprimerie conduit aisément à tenir un récit de l'inéluctable: dès lors que l'histoire s'est déroulée de cette façon, c'est donc ainsi qu'il fallait qu'elle se déroulât. Tous ses éléments semblent avoir éclo par une même nécessité: le concept d'auteur, l'ossature des notes, les bibliographies, le cadre juridique du droit d'auteur. On en arrive facilement à raconter que cette histoire avait à faire avec la démocratisation, traduisant la parole de Dieu dans les langues vernaculaires, rajoutant au tiers-État, un quatrième et ouvrant la voie à un âge d'or de l'humanisme. Que rien de tout cela n'ait été obligé – et qu'une grande partie de ce récit soit inexact – n'atténue pas la force de cette mythologie. Des récits moins optimistes commencent à montrer que l'imprimerie peut aussi être appréhendée comme instrument essentiel d'une bureaucratie totalisante (suivant l'argument de Michael Clanchy), ou encore que le format imprimé prime désormais quantitativement sur le livre imprimé (comme le soutient Lisa Gitelman).

Nous vivons actuellement une conjoncture historique chargée d'implications sociales, politiques et culturelles tout aussi importantes: le développement de l'Internet. Et déjà l'histoire et les histoires, à l'intention des générations futures, sont racontées: de l'effet «inévitablement démocratique» des médias sociaux, à l'inéluctabilité de la concentration des médias. Deux récits, faux et rassurants.

Dans ce formidable ouvrage, Francesca Musiani pose la question – en temps réel – de ce que signifierait penser l'Internet différemment. S'appuyant sur une ethnographie riche et une solide approche théorique, elle raconte magnifiquement bien les tentatives visant à créer des technologies pair-à-pair de moteur de recherche, de stockage de données ou de streaming vidéo.

Si la gouvernance de l'Internet est l'une des questions sociotechniques fondamentales de notre époque, nous devons être en mesure d'explorer à la fois les choix que nous avons faits et les routes que nous n'avons pas empruntées. Pour affronter ce problème politique crucial de notre

temps, il nous faut comprendre ce qui est en jeu d'un point de vue social et comment la technologie peut se transformer.

Lorsque de nouvelles infrastructures informationnelles sont forgées, leur stabilisation en des formes rigides peut prendre des centaines d'années (l'arc décrit par l'imprimerie, du siècle des Lumières au système universitaire, en est un exemple). Tout ce qui concerne notre relation sociale avec les données, l'information et la connaissance est en cause.

Le grand mérite de ce livre est de fournir un instrument solide qui permet de penser ces questions. Non seulement de penser, dans une perspective historique, la façon dont «il aurait pu en être autrement», mais aussi d'explorer comment «il pourrait en être autrement».

*Pour mes parents*



# Remerciements

Je souhaite remercier, en premier lieu, Cécile Méadel – qui a dirigé la thèse dont cet ouvrage est issu. Un grand merci pour son soutien, ses conseils, et pour quatre années de travail et de conversations ensemble, qui, je l'espère, ne sont pas près de s'arrêter.

Le Centre de Sociologie de l'Innovation de MINES ParisTech a été, et continue à être, un environnement de travail idéal, et les échanges avec ses membres ont été un ingrédient fondamental de cette recherche. Je tiens tout particulièrement à remercier Alexandre Mallard pour ses relectures attentives et suggestions pointues.

Ce travail ne serait pas le même sans avoir pu bénéficier de l'insertion dans deux projets, financés par l'Agence Nationale de la Recherche : Vox Internet (2008-2010) et ADAM (Architectures distribuées et applications multimédias, depuis 2010). Je remercie tous leurs membres, et je souhaite notamment exprimer ma reconnaissance et mon amitié à Françoise Massit-Folléa. Je tiens également à remercier Valérie Beaudouin, Geoffrey Bowker, Massimiano Bucchi et Laurence Monnoyer-Smith, membres du jury de la thèse dont cet ouvrage est issu.

Merci à mes collègues de l'université de Georgetown et du *Berkman Center for Internet and Society* de l'université de Harvard, en particulier David Ribes, Benjamin Mako Hill et Maria Löblich, qui, par leurs commentaires et retours, ont contribué à faire sortir ce travail de son « habit » de thèse.

Cette recherche n'existerait pas sans la disponibilité et l'enthousiasme des chercheurs, développeurs et entrepreneurs qui travaillent chaque jour avec les « nains » de l'Internet. Je leur suis reconnaissante pour le temps qu'ils m'ont consacré, et j'espère qu'ils trouveront ce travail utile. Merci aux spécialistes du P2P qui ont répondu à mes questions dans la phase exploratoire de ce travail, en particulier à Fabrice Le Fessant.

Enfin, plusieurs collègues, amis et proches ont, par leur soutien et leurs relectures, grandement contribué à cet ouvrage. Un grand merci à Romain Badouard, Joachim Bloche, Clément Combes, Liliana Doganova, Mélanie Dulong de Rosnay, Jean-Marc Galan, François Huguet, Brice Laurent, Hervé Le Crosnier, Clément Mabi, Morgan Meyer, Basak Sarac-Lesavre, Valérie Schafer, Katharina Schlierf et Guillaume Sire. Mention spéciale pour Enoch Peserico, qui a inspiré plusieurs des idées sous-tendant ce travail.



# Introduction

*Peer-to-peer*<sup>1</sup> : une technologie de réseau qui ne cesse de provoquer à la fois enthousiasme et inquiétude. Sa définition technique est relativement simple : il s'agit d'un modèle de réseau informatique structuré de manière décentralisée, afin que les communications ou les échanges qui y ont lieu se fassent entre nœuds dotés d'une responsabilité égale dans le système. Les participants au réseau mettent à disposition une partie de leurs équipements et ressources informatiques (capacité de calcul, espace de stockage, bande passante); accessibles de manière directe par les pairs, ces ressources partagées sont nécessaires au bon fonctionnement du service offert par le réseau. La dichotomie entre un serveur, fournisseur de ressources, et les clients demandeurs de ressources, caractéristique du modèle *client-serveur*, est remplacée par une situation où tous les pairs hébergent ou fournissent la ressource, et tous les pairs la demandent.

Pour un très grand nombre d'utilisateurs de l'Internet – depuis la rencontre entre le P2P et le grand public propulsée par le logiciel de partage de fichiers Napster, en 1999 – cette technologie est *de facto* synonyme de téléchargement (illégal) de contenus culturels, tandis que pour d'autres, elle représente l'utopie ultime du techno-égalitarisme et suggère un modèle organisationnel durable pour les sociétés de demain. Les objets, les démarches de conception et développement, les collectifs et les usages dont il sera question dans cet ouvrage ne peuvent pas complètement faire l'économie des visions normatives fortes qui se confrontent et s'affrontent autour du P2P, qu'il s'agisse de l'identification de cette technologie avec le piratage de contenus culturels et intellectuels, ou à l'extrême opposé, de son déploiement dans une arène démocratique, égalitaire et collaborative accessible à tous : les histoires de P2P que raconte cet ouvrage sont informées par ces visions, discours, narratives, et les informent en retour.

S'il ne veut certes pas négliger la puissance d'agir<sup>2</sup> de ces visions normatives, ce travail – issu d'une thèse de doctorat soutenue à MINES ParisTech – ne souhaite cependant pas être une contribution ultérieure aux débats

---

1 Souvent traduit en français par «pair-à-pair» et plus souvent abrégé en P2P, abréviation qui sera utilisée par la suite.

2 C'est ainsi que Serge Proulx traduit une des notions fondatrices de la sociologie des sciences et des techniques, l'*agency*, en soulignant que cette traduction met en relief à la fois la dimension

sur le droit d'auteur et sur la dialectique pillage/partage auxquels le P2P semble désormais être «naturellement» associé. Ce travail prend comme point de départ la caractéristique de base du P2P en tant que modèle de réseau informatique: ce qui est, on l'a anticipé, le fait de permettre des échanges de données efficaces et directs entre des nœuds égaux. Égaux en termes de mise à disposition de ressources techniques à l'ensemble du système, et de la responsabilité qui leur est attribuée dans son fonctionnement.

Cet ouvrage s'intéresse donc au développement et à l'appropriation de services basés sur Internet<sup>3</sup> dont la conception intègre un choix de design particulier: le fait de déléguer la responsabilité et le contrôle de la gestion des données et des flux aux marges ou à la périphérie de ces systèmes en réseau. Les opérations nécessaires au bon fonctionnement des systèmes, et au fait qu'ils fournissent correctement les services auxquels ils sont destinés, dépendent techniquement des utilisateurs – appelés ici les «nains» du réseau: leurs terminaux, leurs ressources informatiques, mobilisées de manière agrégée pour servir un objectif commun.

Pour autant, cet ouvrage ne touche que de manière secondaire au type de service qui est le plus souvent associé à l'architecture P2P: le partage de fichiers. Il souhaite s'intéresser à la rencontre entre le choix de développer une architecture technique en P2P et des usages tels que la recherche d'information, le réseautage social, le visionnage de vidéos, le stockage de fichiers en ligne. Il s'agit d'usages qui nous sont très familiers dans notre pratique quotidienne d'internautes et d'utilisateurs de services en ligne, sous le nom de Google, Facebook, YouTube, Dropbox – les «géants» des technologies de l'information, basés sur une architecture de réseau client/serveur qui préconise une dichotomie clairement identifiable entre un serveur fournisseur de ressources, et des clients qui en sont demandeurs. Ce travail explore des dispositifs qui, tout en répondant à ces mêmes nécessités d'usage – recherche, réseautage, stockage – ont en commun un aspect d'architecture technique original par rapport à leurs célèbres contreparties centralisées: tous sont basés sur des technologies de réseau en P2P.

---

collective de l'agir et le «pouvoir des acteurs de formuler une critique effective et ainsi, de faire dévier le cours de la reproduction du monde social» [Proulx, 2009].

3 Beaucoup a été écrit sur le concept de «service» en sociologie des organisations, du travail et de la communication, ainsi qu'en socio-économie de l'innovation [Callon, Méadel & Rabeharisoa, 2002; Callon, Millo & Muniesa, 2007]. On adopte ici une définition basique de service Internet, celle de mise à disposition, au moyen de l'Internet, d'une capacité de communication, d'accès à l'information, de mise en relation ou de calcul.

En suivant et en essayant de clarifier le «ballet entre programmeurs, logiciels et utilisateurs» [Abbate, 2012] qui construit la décentralisation dans les services Internet, cet ouvrage explore les implications socio-politiques de l'approche distribuée et décentralisée à l'architecture technique des services Internet, en faisant l'hypothèse qu'une telle approche aux «couches inférieures» de ces systèmes questionne, ou peut questionner, les usages qu'ils servent, les dynamiques qui y ont lieu, les démarches qu'ils comportent<sup>4</sup>.

L'ouvrage introduit d'abord la décentralisation des services Internet comme «problème» et discute les manières dont les sciences sociales peuvent en explorer les facettes invisibles [chapitre 1]. Il propose ensuite une réélaboration de l'histoire du P2P [chapitre 2], pour montrer comment, en cherchant les meilleures façons de contourner les problèmes spécifiques où l'architecture de l'Internet est durement mise à l'épreuve par les scénarios de «concentration» actuels, les développeurs se retournent vers l'Internet d'il y a quinze ou vingt ans: le premier Internet qui avait été créé en tant que système de communication entre machines de statut égal, partageant des ressources l'une avec l'autre. Le cœur de l'ouvrage [chapitres 3, 4 et 5] explore tour à tour: les contraintes, techniques et de marché, qui s'exercent sur un dispositif dont les concepteurs veulent introduire une version de P2P «intégral» dans la recherche d'information en ligne; la construction, dans un service de stockage, du compromis entre une approche largement dépendante d'une plate-forme de serveurs, et une approche d'architecture distribuée et décentralisée; la problématisation politique et technique du *peer-to-peer* en tant que modèle alternatif pour les services audiovisuels par Internet, ainsi qu'à sa légitimation comme *valeur* dans le contexte européen. Le sixième et dernier chapitre tire les «fils rouges» de ce travail, en cherchant, au moyen de cas d'étude, des réponses à deux questions: que dessine une architecture de réseau décentralisée du point de vue de l'articulation des acteurs et des contenus, de la répartition de responsabilités, de l'organisation du marché et de la capacité à exercer du contrôle, des formes d'existence et des rôles d'entités telles que les nœuds du réseau, les usagers, les unités centrales? Sous quelles conditions un réseau qui répartit la responsabilité de son fonctionnement à ses marges, et suivant un modèle non hiérarchisé ou hybride, peut-il se développer dans l'Internet d'aujourd'hui?

---

4 Cette approche doit beaucoup aux discussions et aux travaux menés en collaboration avec Alexandre Mallard et Cécile Méadel dans le cadre du projet ADAM (Architectures distribuées et applications multimédias), ainsi qu'à des travaux menés en collaboration avec Valérie Schafer et Hervé Le Crosnier [Musiani & Schafer, 2011; Schafer, Le Crosnier & Musiani, 2011].



## De l'intérêt des « tuyaux » de l'Internet

«Le P2P, c'est des tuyaux. La plupart des gens ne s'intéressent pas aux tuyaux,» soulignait il y a quelques années Dan Bricklin – le développeur de la première feuille de calcul, *VisiCalc* – dans un des premiers ouvrages portant sur le potentiel «perturbateur» des technologies P2P [Bricklin, 2001 : 59]. La «plupart des gens» auxquels Bricklin se réfère dans cette citation est constituée bien sûr par les utilisateurs des premières et populaires applications de partage de fichiers en P2P qui, comme Napster, connaissaient leur heure de gloire à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle.

Dan Bricklin a très probablement eu raison dans son évaluation des raisons du succès auprès du grand public des applications P2P pionnières, destinées à servir le partage massif de contenus numériques : celui-ci doit son succès à la capacité de ces systèmes à trouver et obtenir rapidement un contenu spécifique qui suscite l'intérêt de l'utilisateur, plutôt qu'à l'architecture en pair-à-pair qui les sous-tend. Pourtant, cette remarque joue un rôle de premier plan dans la définition du regard que cet ouvrage porte sur des objets variés, dont le point commun – et la spécificité par rapport à leurs homologues centralisés plus célèbres – est la logique P2P qui sous-tend leur modèle technique. Il s'agit de s'intéresser aux «tuyaux», ou, comme Susan Leigh Star l'a très bien formulé, de «faire remonter à la surface le travail invisible» [Star, 1999 : 385] sous-tendant les pratiques, les usages et les échanges en réseau, pour rechercher dans le design et la conception des «couches inférieures» d'un réseau certaines des raisons à la base de sa réappropriation par les usagers, de ses formes d'organisation et de régulation.

### ARCHITECTURES : LA DÉCOUVERTE DU « TRAVAIL INVISIBLE »

L'architecture d'un réseau ou d'une application est la structure technique qui le ou la sous-tend [van Schewick, 2010], conçue selon une «matrice de concepts» [Agre, 2003] : c'est-à-dire, son agencement logique et structurel, fait d'équipements de transmission, protocoles de communication,

éléments d'infrastructure, et connectivité entre ses composantes ou nœuds. Barbara van Schewick souligne que des décennies de recherches sur les processus d'innovation 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, et vice-versa. Mais il manque encore, selon elle, une compréhension fine des relations entre architecture technique et innovation, au vu du cloisonnement des disciplines qui a pu faire considérer les architectures techniques comme des artefacts «pertinents seulement pour les ingénieurs» [van Schewick, 2010: 2-3].

Cependant, à l'intérieur de la «galaxie» des *Internet studies*, se trouve aujourd'hui un nombre croissant d'initiatives interdisciplinaires, ayant pour pierres angulaires des travaux comme ceux de Yochai Benkler sur le partage en ligne en tant que véritable paradigme de production économique [Benkler, 2004] et de Lawrence Lessig sur le «*code as law*». Ces derniers suggèrent que l'architecture du réseau des réseaux est certes du code, de la technique – le logiciel et les équipements qui définissent le cyberspace – mais elle entraîne et comporte certains principes, contribue à définir les termes d'utilisation de cet espace, et influence ce qu'il est possible d'y faire. Ces caractéristiques et possibilités constituent des préconditions au développement du réseau des réseaux; si certaines architectures invitent l'innovation, d'autres la freinent [Lessig, 1999, 2000].

En précisant que l'architecture ne se réduit pas à une «autre manière» de parler de la technologie, certains travaux récents analysent, dans cette lignée, comment celle-ci renvoie à l'idée d'une pluralité normative pour l'Internet qui intervient, sans discontinuité, sur les usages, le droit et la technique, et contribue finalement à la régulation [Brousseau, Marzouki & Méadel, 2012; Massit-Folléa, Méadel & Monnoyer-Smith, 2012]. En effet, en choisissant de placer l'intelligence non pas au cœur du réseau Internet mais à sa périphérie, aux deux bouts de la communication (*end-to-end*), ses concepteurs ont assuré un développement continu d'innovations, d'expérimentations et de développements de produits dont la longévité est arbitrée par le succès public [Schafer, Le Crosnier & Musiani, 2011: 40].

Ces travaux partagent un intérêt pour ces aspects des artefacts socio-techniques qui, bien que «transparentes» pour l'utilisateur par volonté de leurs créateurs, représentent une part importante et intégrante des pratiques et des usages en réseau. Ils relèvent le défi de l'interdisciplinarité, et puisent dans les approches de la sociologie des techniques et des *Science &*

*Technology Studies* (STS) pour explorer les qualités sociales et politiques des infrastructures [Star, 1999 ; Star & Bowker, 2002]. Des auteurs travaillant au croisement de l'informatique, de la sociologie, de l'économie et du droit explorent également des approches méthodologiques novatrices des architectures, en travaillant à intégrer dans une même perspective le développement et l'évolution de celles-ci avec les pratiques et les usages qui ont lieu à leur « surface ». Ces travaux cherchent à montrer que les modifications d'architecture 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 les modèles sous-tendant les réseaux, la gestion des flux, les emplacements et les traitements des données sont mis en débat [Agre, 2003 ; Elkin-Koren, 2006 ; Braman, 2011].

Une référence certaine pour toute tentative d'intégration des liens entre architectures et usages dans l'analyse des technologies de réseau est constituée par les travaux que Susan Leigh Star, Geoffrey Bowker et collègues ont menés au cours des quinze dernières années. Les infrastructures informationnelles sont explorées dans ces travaux en tant que systèmes socio-techniques complexes, informés non seulement par des éléments matériels et virtuels invisibles à l'utilisateur final, mais aussi par des facteurs tels que l'organisation sociale et le partage des connaissances – et les informant à leur tour [Star & Ruhleder, 1996 ; Neumann & Star, 1996 ; Star, 1999 ; Star, 2002 ; Star & Bowker, 2006].

Dans son « appel à l'étude de choses ennuyeuses » [Star, 1999], Susan Leigh Star transmet de manière efficace l'idée que les choix dans le design d'une architecture de réseau, les spécifications techniques qui y sont incorporées, les standards et les séquences de développement ne sont pas moins importants pour l'étude des systèmes d'information puisqu'ils sont « des mécanismes cachés, sous-tendant ces procédures qui sont plus familières aux chercheurs en sciences sociales [*ibid.*, 337]. Ainsi qu'elle l'écrit dans un article sur l'ethnographie des infrastructures, qui a fait école par la suite :

Il est nécessaire de creuser un peu afin de déterrer les tensions inhérentes à la création et la conception d'un système, et redonner leur qualités narratives à celles qui semblent n'être que des listes mortes [...] La plupart des études ethnographiques des systèmes d'information comportent implicitement l'étude des infrastructures. [...]. Par ailleurs, il est plus facile de rester dans les compétences traditionnelles de notre champ d'études : le discours, la communauté, l'identité, les dynamiques de groupe, comme elles sont

médiées aujourd'hui par les technologies de l'information. [...] Mais étudiez un système d'information et négligez ses standards, ses fils, son contexte, et vous allez manquer des aspects tout aussi essentiels d'esthétique, de justice, et de changement [Star, 1999: 337-339].

Cette approche «relationnelle» entraîne d'importants changements dans les méthodes, puisque la portée du travail de terrain s'élargit jusqu'à inclure les arènes où les formes de l'infrastructure et de son architecture sont observées, déconstruites, reconstruites, et où des décisions politiques – de nom ou de fait – sont prises quant aux codes, normes techniques, bricolages, reconfigurations [Star & Bowker, 2006: 151-152], où le chercheur s'attache à une combinaison d'«analyses historique et littéraire, d'instruments traditionnels comme des entretiens et des observations, analyse de système, et *usability studies*» [Star, 1999: 382].

Des courants d'étude émergents au sein du champ STS, comme les *software studies*, les *critical code studies* et les *cyberinfrastructure studies* [Manovich, 2001 ; Fuller, 2008 ; Marino, 2006 ; Ribes & Lee, 2010] puisent dans cette approche dans la poursuite de leur objectif, celui d'équilibrer «l'utilisation de termes critiques comme 'virtualité' [...] et] l'engagement dans une recherche documentaire méticuleuse afin de récupérer et stabiliser les traces matérielles des nouveaux médias» [Kirschenbaum, 2003]. C'est donc la matérialité du logiciel, du code, des flux de données – des éléments qui, dans l'expérience du développeur et de l'utilisateur de l'Internet, sont appelés «virtuels» – qui est réaffirmée, et la relation entre ces éléments, ou niveaux, qui est explorée :

La signification [du système] dérive du fonctionnement du code, mais n'est pas limitée aux procédures que le code met en œuvre. Avec les *critical code studies*, les praticiens peuvent s'attaquer aux systèmes humains et informatiques complexes du niveau de l'ordinateur au niveau de la société dans laquelle ces *code objects* circulent et exercent leur influence [Marino, 2006].

La littérature à vocation STS, explorant les qualités sociales et politiques des «tuyaux» des systèmes d'information, a pour complément un ensemble de travaux qui, pour la plupart, se revendiquent explicitement de l'interdisciplinarité, et se réunissent autour d'un intérêt pour l'architecture du réseau Internet comme dispositif politique, juridique et économique.

Philip Agre, spécialiste des systèmes d'information et pionnier de l'Internet, a exploré au cours de sa carrière éclectique la relation entre l'architecture technique et les institutions, en particulier la différence entre

«l'architecture comme politique» et «l'architecture comme un substitut de la politique» [Agre, 2003]. Il fait l'argument que les technologies nous parviennent souvent «enveloppées d'histoires qui concernent la politique»; si ces histoires peuvent ne pas nous expliquer les raisons des développeurs, elles sont utiles pour rendre compte de l'«énergie» qui rend une technologie sociale de par sa propre nature [*ibid.*, 39]. En définissant les architectures comme les matrices de concepts (par exemple, la distinction entre un client et un serveur) inscrits dans la technologie, et les institutions comme les matrices de concepts qui organisent le langage, les règles, les professions et autres catégories sociales dans des secteurs spécifiques, Agre suggère que l'histoire de l'ingénierie du calcul et des réseaux distribués, d'un côté, et l'histoire politique du changement institutionnel au moyen d'architectures décentralisées, de l'autre, ne sont pas naturellement reliées. Elles se reconfigurent et évoluent constamment, et pour que ces reconfigurations et évolutions partagent une direction commune, elles ont besoin de «travail»:

Des institutions décentralisées n'impliquent pas nécessairement des architectures décentralisées, ou vice-versa. La motivation à la base des architectures décentralisées ne sert pas *a priori* l'objectif politique de décentraliser la société. Cependant, les architectures et les institutions co-évoluent inévitablement, et dans la mesure où elles peuvent être conçues, elles devraient l'être ensemble [...] Certaines directions d'innovation des technologies de l'information et de la communication ouvrent en effet de nouvelles possibilités de changement institutionnel. Mais pour explorer ces possibilités, les développeurs auront besoin de meilleures idées au sujet des institutions [Agre, 2003: 42].

Au sein d'un projet à large échelle qui recherche, dans le corpus de *Requests for Comments* (RfC) de l'Internet Engineering Task Force, des indications sur les manières dont les concepteurs techniques de l'Internet comprenaient et s'engageaient dans des questions politiques et juridiques, Sandra Braman a récemment exploré comment la problématique centrale du design technique de l'Internet était de construire le «réseau des réseaux» sur des architectures qui non seulement toléraient, mais facilitaient le changement et la modification. En examinant les manières dont le changement et la stabilité mêmes étaient conceptualisés par les designers de l'Internet, Braman conclut que l'étude de la «conception pour l'instabilité» (*design for instability*) inscrite dans son architecture est une partie intégrante du social et du légal qui se construit non seulement de par et avec l'Internet, mais aussi dans ses relations avec les autres TIC [Braman, 2011].

Au croisement de l'économie, du droit et de l'informatique, Barbara van Schewick explore les manières dont l'architecture de l'Internet, et de ses applications, est pertinente pour l'économie. Son travail examine comment les changements, surtout les choix de design, dans l'architecture de l'Internet ont une incidence sur l'environnement économique de l'innovation; elle évalue l'impact de ces changements à partir d'une perspective politique et juridique [2010: 2]. Van Schewick souhaite contribuer à combler une lacune dans l'étude et la compréhension des décisions des innovateurs des «couches inférieures» de l'Internet; elle soutient qu'après de nombreuses années de recherche sur les processus d'innovation, on a maintenant une compréhension fine de la manière dont ceux-ci influencent et sont influencés par des changements dans le droit, les normes, les prix. Mais l'impact réciproque de l'innovation et de l'architecture reste sous-exploré, probablement à cause des qualités «intrinsèquement techniques» de cette dernière; «comprendre comment l'architecture de l'Internet se rapporte à l'innovation nous force à penser, plus généralement, à comment les architectures affectent l'innovation» [van Schewick, 2010: 4]. Elle conclut que, traditionnellement, les décideurs politiques se sont servis du droit pour entraîner les effets économiques souhaités; l'architecture constitue *de facto* une manière alternative d'influencer les systèmes économiques, et en tant que telle, elle devient un autre instrument dont les acteurs de l'économie Internet, des développeurs aux politiques en passant par les usagers, peuvent se servir pour faire avancer leurs intérêts [*ibid.*, 389].

## QUELLES ARCHITECTURES POUR LE FUTUR INTERNET ?

En conceptualisant les architectures de réseau comme politiques, sociales et légales, certains auteurs s'attachent plus spécifiquement à examiner les manières dont certaines d'entre elles se rapportent ou peuvent se rapporter à l'innovation dans le domaine des services Internet. Les trajectoires d'innovation actuelles du réseau des réseaux rendraient de plus en plus évident que ses évolutions (et in-volutions) dépendront probablement, à moyen et à long terme, de la topologie et des modèles organisationnels et techniques des applications basées sur Internet, et de l'infrastructure qui les sous-tend [Aigrain, 2011].

## La « valeur sociale » du modèle Internet

Le mode actuel d'organisation des services Internet et de la structure du réseau qui rend possible leur fonctionnement, avec ses points de passage obligés, ses carrefours plus ou moins contraints, ses « routes à péage », soulève nombre de questions en termes à la fois d'une utilisation optimisée des ressources de stockage, et de la fluidité, rapidité et efficacité des échanges électroniques, auxquelles s'ajoutent des interrogations sur la sécurité des échanges et la stabilité du réseau.

Ces questions influencent largement l'équilibre des pouvoirs entre développeurs, usagers et opérateurs de réseau, jusqu'à rejoindre des questions de neutralité de l'Internet: c'est le cas, par exemple, des « bridges » imposés par les opérateurs à certains usages spécifiques, ou de l'optimisation du réseau pour certains types de trafic ou protocoles au détriment d'autres [Schafer, Le Crosnier & Musiani, 2011 : 66-68]. Comme le souligne Barbara van Schewick, en influençant les appropriations de l'Internet par les usagers – de manière qui crée plus ou moins d'ouverture, d'échange, de diffusion – les changements dans l'architecture du réseau des réseaux influencent sa « valeur sociale »:

Mais la valeur sociale des architectures [...] dépasse [les questions de neutralité technique]. L'Internet a le potentiel d'augmenter les libertés individuelles, fournir une plate-forme pour une participation démocratique plus poussée, proposer plus de réflexivité et de culture critique [...] mais la capacité de l'Internet de réaliser ce potentiel est strictement liée à des caractéristiques telles que la liberté de choix de l'utilisateur, la non-discrimination, la non-optimisation [van Schewick, 2010: 387].

Ces caractéristiques peuvent être atteintes de manières différentes en concevant de façon différente l'architecture technique qui les sous-tend [Moglen, 2010]. Recourir à différents types d'architecture et à d'autres formes d'organisation du réseau est donc une manière alternative d'aborder certaines questions critiques de gestion du réseau, dans une perspective d'efficacité, de sécurité et de « développement numérique durable » au moyen d'une meilleure gestion des ressources, et de la maximisation de la valeur de l'Internet pour la société<sup>5</sup>.

---

5 Cette idée est explorée ultérieurement par le philosophe Michel Bauwens [2005a; 2005b] qui propose une vision du modèle P2P basée sur sa conception de technologie de réseau informatique, mais se propose de la dépasser pour préconiser que le P2P soit le fondement d'une « théorie générale » des interactions humaines collaboratives et directes – un phénomène émergent, pervasive

Cette problématisation de l'architecture de l'Internet, et du modèle P2P en particulier, n'est pas sans écueils. S'il s'agit d'éviter une interprétation réductionniste de l'«effet P2P» comme synonyme de pratiques douteuses sur les réseaux, il convient également d'éviter les pièges que le P2P, un modèle *a priori* doté de fortes connotations d'égalité et de décentralisation, peut proposer.

Comme l'a souligné Philip Agre, il est particulièrement facile dans le cas du P2P de juxtaposer l'architecture aux histoires des institutions, des individus et des groupes, en assumant que l'un détermine l'autre – mais il s'agirait d'un raccourci trompeur :

Dans le cas des technologies P2P, l'histoire officielle des ingénieurs est que l'effort de calcul doit être distribué pour refléter la nature du problème. Mais l'histoire de cette ingénierie n'explique pas à elle seule les sentiments forts que le modèle P2P évoque souvent. Ces sentiments dérivent d'une histoire politique qui est souvent démentie avec véhémence par les technologues, mais répandue dans la culture : le P2P 'tient la promesse' de décentralisation faite par l'Internet. En minimisant le rôle des éléments de calcul centralisé, selon l'histoire officielle, les systèmes P2P seront immunes à la censure, au monopole, à la régulation, et à d'autres formes d'exécution d'une autorité centralisée. Cette juxtaposition de l'ingénierie et de la politique est assez répandue, et pour une raison évidente : les artefacts construits, comme l'Internet, sont inscrits dans la société de façon compliquée. [...] Le cas du P2P [est utile] pour analyser le façonnage réciproque entre ingénierie et politique – ou, comme je me plais à le dire, entre architectures et institutions. [Mais pour ce faire, il faut comprendre que] l'architecture est du politique, tout en n'assumant pas que l'architecture soit un substitut du politique [Agre, 2003 : 39-42].

La clé pour une analyse et une compréhension fine des systèmes P2P semble donc résider dans une approche qui étudie et explore les architectures en tant que trame d'interactions, de choix, de controverses, de négociations, et examine comment ceux-ci façonnent, en retour, les conceptualisations et reconceptualisations de ces systèmes. Il s'agit d'arriver à «lire ces couches invisibles de contrôle et d'accès. Et pour comprendre comment celles-ci opèrent, il est nécessaire de 'déconstruire' les moments routiniers, voir ennuyeux [de la démarche d'innovation], pour en faire ressortir les narratives qu'ils contiennent et les scènes qui, dans les coulisses [...], sont partie intégrante de la culture matérielle des sciences de l'information» [Star, 2002 : 110].

---

et social qui pourrait influencer profondément les manières dont la société et la civilisation humaine même sont organisées.

## L'APPROCHE DÉCENTRALISÉE DES SERVICES INTERNET

On voit comment l'architecture technique qui sous-tend l'Internet actuel – à la fois celle de l'Internet global, et celle des réseaux, systèmes, services qui le peuplent – n'est pas statique, pas plus qu'elle ne s'est imposée d'elle-même grâce à une supériorité technique intrinsèque. L'histoire du « réseau des réseaux » est celle d'une évolution constante, qui répond à une logique de normalisation de fait, liée aux modifications des usages, en particulier à leur massification, et à un ensemble de choix non seulement techniques mais économiques, politiques, sociaux. Tout comme l'architecture de l'Internet et des services Internet a fait l'objet de controverses par le passé, elle est actuellement soumise à de nombreuses tensions, tandis que l'on discute de ses futurs et que, après en avoir reconnu le statut de mécanisme de régulation politique, on commence à en reconnaître pleinement l'importance en tant que levier de développement et de contraintes économiques [van Schewick, 2010], tout en soulignant son aptitude « *by design* » [Braman, 2011] au changement et aux modifications.

Le développement de services basés sur des architectures de réseau (au moins partiellement) décentralisées, distribuées, P2P est reconnu depuis des années comme l'un des axes importants de transformation à moyen terme dans les modes de communication et de gestion des contenus numériques. Co-présents dans les mots des acteurs, ces trois termes – décentralisation, distribution et pair à pair – seront utilisés, tour à tour, dans cet ouvrage pour indiquer des architectures de réseau préconisant que la responsabilité des échanges ou des communications se trouve aux marges ou à la périphérie du système, et que l'ensemble des ressources du système ne se trouve pas dans un même endroit physique, mais est réparti dans plusieurs machines. Leurs définitions et leurs « différences » respectives seront précisées au fil de l'ouvrage. Le premier chapitre sera ainsi l'occasion d'explorer plus en détail la variété de définitions techniques qui correspondent à ces termes et leur socle commun. Le deuxième chapitre explorera l'agencement de la décentralisation et recentralisation partielle des réseaux dans nombre d'exemples « historiques », comme Usenet ou le Domain Name System.

Il convient toutefois de préciser d'ores et déjà que, s'il n'existe pas de définition univoque de ces architectures, on peut identifier certains éléments communs que ces différents termes sous-tendent. Premièrement, les multiples unités de calcul qui composent le réseau : souvent appelées nœuds, dotées chacune de mémoire locale, et communiquant par échanges.

Deuxièmement, la réalisation des objectifs de l'application au moyen d'un partage de ressources, qui peuvent être de plusieurs types, pour servir un *but commun*, comme la résolution d'un problème de calcul à large échelle, ou des *besoins individuels* au moyen d'une *coordination* de ressources partagées. Troisièmement, la tolérance à la défaillance de nœuds individuels et le conséquent manque de point unique d'échec ; quatrième, un passage à l'échelle souple. Enfin, la modification constante de la structure du système – la topologie et latence du réseau, le nombre d'ordinateurs qui y sont connectés – et l'attribution à chaque nœud d'une vision incomplète ou limitée du système. En première approximation, une architecture distribuée n'est pas nécessairement décentralisée (il peut y avoir délégation au réseau distribué d'une tâche qui est ensuite recentralisée), tandis qu'une architecture décentralisée est nécessairement distribuée.

Le concept de distribution et décentralisation est en quelque sorte inscrit dans les débuts de l'Internet, notamment dans l'organisation et la circulation des flux de données, mais sa topologie actuelle intègre ce principe structurant de manière limitée [Minar & Hedlund, 2001 ; Berners-Lee, 2010]. Les limites de cet urbanisme de l'Internet, «classique» et prédominant depuis les débuts de sa phase commerciale et son appropriation par le grand public, ressortent et se proposent à l'attention des spécialistes de façon régulière, notamment à la lueur du succès retentissant qu'ont connu certains services comme les médias sociaux. Alors que chaque internaute est devenu, au moins potentiellement, un consommateur mais aussi un distributeur et un producteur de contenus numériques, cet urbanisme conduit à centraliser des masses considérables de données dans certaines régions de l'Internet, alors même qu'elles ont vocation à être rediffusées aussi vite dans de multiples places d'un réseau désormais pleinement globalisé [Moglen, 2010].

Le mode actuel d'organisation de ces services et de la structure du réseau qui rend possible leur fonctionnement, avec ses points de passage obligés, ses carrefours plus ou moins contraints, ses emmagasinages performants, soulève nombre de questions en termes à la fois d'une utilisation optimisée des ressources de stockage, et de la fluidité, rapidité et efficacité des échanges électroniques. S'y ajoutent des interrogations sur la sécurité des échanges et la stabilité du réseau. Une série de dysfonctionnements (voir les doutes que les *black-out* répétés de *Twitter* ont soulevé quant à sa durabilité) et de pannes aux conséquences globales (voir, début 2008, la paralysie mondiale de YouTube et des réseaux pakistanais suite à un

routage de requêtes de type *Border Gateway Protocol*<sup>6</sup>, visant à limiter la diffusion de certains contenus dans ce pays), attirent l'attention sur des questions de sécurité et de protection des données qui sont inhérentes à la structure actuelle de l'Internet.

Le recours à des architectures de réseau décentralisées et à des formes d'organisation distribuées pour les services Internet est donc envisagé par nombre de projets, entreprises, services, comme voie possible pour parer certaines difficultés de gestion du réseau, de ses localités à sa globalité, dans une perspective d'efficacité, de sécurité et de développement durable numérique (pour une meilleure utilisation des ressources).

### **Innovation et Internet, une question d'architecture ?**

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, le réseau des réseaux pose, depuis le développement d'Arpanet à la fin des années 1960, des questions de durabilité des modèles techniques et économiques qui sous-tendent la gestion de ses flux, jusqu'à questionner son statut de « bien collectif » [Mounier, 2002]. Aux origines de l'Internet, le principe de décentralisation gouverne la circulation des transmissions et des communications. 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 site en site par inondation<sup>7</sup>, tables de routage complexes, facturation des usages en constante évolution reposant, dans le cas français comme européen, sur le bon vouloir de centres pionniers et d'une communauté d'intérêt. Au cours des années 1980, le « modèle Internet » est doté d'une architecture ouverte, distribuée, qui n'hésite pas à revendiquer le *best effort*<sup>8</sup>, la perte ou la redondance de paquets d'informations, qui privilégie le *running code*<sup>9</sup> plutôt

6 Le *Border Gateway Protocol* [BGP] est le protocole qui supervise les décisions de routage sur l'Internet.

7 Protocole de diffusion d'information utilisé aussi bien pour transmettre du contenu que pour le calcul distribué ou parallèle, où chaque nœud transmet l'information à tous ses voisins en une seule étape.

8 Le *best effort* est un modèle d'acheminement de données dont le principe est de garantir que chaque élément ayant un rôle dans l'acheminement fait le maximum, « tout ce qu'il peut », pour amener ces données de la source à la destination, et ne donne aucune garantie sur la qualité de l'acheminement ni même sur son succès (voir chapitre 3, section 2).

9 Part de la célèbre phrase de David Clark, pionnier de l'Internet et de l'Internet Engineering Task Force [IETF], « *We believe in rough consensus and running code* » [on croit au consensus approximatif et