
« Pair à Pair » : les véritables enjeux économiques

“Peer-to-Peer”: the True Economic Issues

Maya Bacache-Beauvallet et Julia Cagé



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rei/6391>

DOI : 10.4000/rei.6391

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 septembre 2016

Pagination : 11-39

ISBN : 9782807390577

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Maya Bacache-Beauvallet et Julia Cagé, « « Pair à Pair » : les véritables enjeux économiques », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 155 | 3e trimestre 2016, mis en ligne le 15 septembre 2018, consulté le 03 janvier 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rei/6391> ; DOI : 10.4000/rei.6391

© Revue d'économie industrielle

« PAIR À PAIR » : LES VÉRITABLES ENJEUX ÉCONOMIQUES

Maya Bacache-Beauvallet, Telecom ParisTech, UMR CNRS I3
Julia Cagé, Sciences Po Paris

 **Mots-clés :** Pair à pair, coopération, modèle d'affaire, système décentralisé, architecture distribuée.

 **Keywords:** Peer-to-Peer, Cooperation, Business Model, Decentralized System, Distributed Architecture.

1. INTRODUCTION

Le « pair à pair » ou *Peer-to-Peer* ou P2P est un système d'échange. Il peut être défini comme un système de distribution coopérative qui utilise des ressources distribuées pour accomplir des fonctions essentielles de manière décentralisée. Les utilisateurs du système – ou pairs – sont des entités anonymes qui tout à la fois partagent leurs ressources et bénéficient des ressources des autres utilisateurs à l'intérieur d'un système global, stable et de taille variable. Les « ressources » partagées peuvent prendre différentes formes, à l'image du P2P dont les systèmes ont le potentiel de fournir un large ensemble de services comme le partage de fichiers ; la distribution de contenus ; le traitement de données ; le stockage de données ; un réseau social ; des jeux en mobilité ou encore un moteur de recherche.

On oppose souvent le P2P aux systèmes client-serveur. La distinction entre « client » et « serveur » disparaît en effet dans le P2P, les participants – ou « nœuds du réseau » – agissant à la fois comme des consommateurs du service (c'est-à-dire des clients) et comme des producteurs du service (des serveurs). Dans le cas du partage de fichiers par exemple, les utilisateurs

téléchargent du contenu en provenance d'autres utilisateurs, et (re)distribuent à leur tour du contenu aux autres utilisateurs. De plus, alors que dans le cas des réseaux client-serveur, le contenu du réseau est hébergé dans une localisation centrale, les ressources P2P sont au contraire localisées dans et fournies par les ordinateurs aux différentes extrémités du réseau (les ordinateurs des pairs). Les systèmes P2P permettent ainsi la mise en commun massive de ressources et d'informations à un bas coût et à une échelle auxquels il serait difficile de parvenir dans un système traditionnel de type client-serveur.

Le P2P permet à un fournisseur de distribuer de manière efficace du contenu à un coût relativement bas et à une échelle extrêmement étendue. Dans quelle mesure le P2P se substitue-t-il ainsi aux systèmes client-serveur existants, ou permet-il au contraire de créer une activité économique qui n'était pas possible avant la technologie P2P ? En particulier, dans quelle mesure le P2P crée-t-il de la valeur d'une part par la mise en commun de ressources qui agrégées valent plus que la somme de leurs valeurs individuelles, et d'autre part par la diversité des contenus auxquels il permet d'accéder ? C'est l'enjeu économique principal du P2P.

Le deuxième enjeu économique est lié à la difficulté de la création et de la stabilité des réseaux P2P, et a été très largement étudié dans la littérature existante. La caractéristique principale du P2P par rapport aux traditionnels systèmes client-serveur est en effet la large coopération entre les participants à travers le partage de ressources et d'informations. Alors que les bénéfices du P2P reposent sur la coopération, l'un des enjeux majeurs est d'assurer cette coopération, d'en comprendre les déterminants et de mettre en place des mécanismes d'incitation efficace.

Une question qui découle en partie de celle de la coopération – mais qui va de fait bien au-delà – est celle du modèle économique ou *business model* des systèmes P2P. Si le P2P est né, comme l'*open source*, en partie comme une réaction au marché et avec une volonté idéologique de se tenir hors du marché dans un système purement coopératif (l'*open source* est ainsi apparu comme un mouvement de protestation contre la domination de la propriété intellectuelle et des brevets), certains réseaux P2P sont en effet des réseaux commerciaux dans lesquels les utilisateurs paient pour accéder aux contenus, ce qui permet en échange au réseau d'utiliser des paiements monétaires pour encourager les utilisateurs à distribuer leur contenu sur le

réseau. C'est le modèle économique choisi par exemple par Grooveshark et rVibe (réseaux de partage de fichiers, principalement de musique). D'autres réseaux P2P, qui sont apparus dans un premier temps comme des systèmes d'échange purement coopératifs, ont par la suite introduit un nombre croissant de services payants (c'est le cas de Skype). Plus généralement, le troisième enjeu économique majeur du P2P est ainsi celui des ressources et des coûts des réseaux : quelles sont les caractéristiques économiques des réseaux P2P ? Quelle est leur structure de coût et d'où tirent-ils leurs ressources ? Et quelle est leur structure de propriété ? En d'autres termes, le P2P est-il simplement une nouvelle « technologie » (utilisée par des entreprises « comme les autres ») ou s'agit-il d'un nouveau *business model* ?

L'étude économique des réseaux P2P s'apparente à d'autres travaux qui portent d'un côté sur l'économie collaborative¹ ou la coproduction par des pairs (Benkler *et al.*, 2014 a, b) et de l'autre sur l'*open source* (David *et al.*, 2003) ou l'*open innovation* (Boudreau et Lakhani, 2009). En effet, les réseaux P2P d'échange reposent parfois sur des logiciels en *open source*, (c'est le cas par exemple des réseaux de communication tels que Commotion) et l'analyse de la participation à ces réseaux relève de la littérature sur l'*open source*. Par ailleurs, ces réseaux d'architecture distribuée se doublent parfois d'une participation active des pairs qui s'apparente à de l'économie collaborative. C'est le cas par exemple des plateformes de financement telles que Propser.com. Une troisième littérature étudie les cas de réseaux P2P : l'économie des marchés multifaces (Belleflamme et Peitz, 2015 ; Rochet et Tirole, 2003). Cette littérature permet également de comprendre les complexités de ces plateformes en particulier lorsque celles-ci construisent un modèle d'affaire. Ainsi, les plateformes d'échange qui reposent sur un business modèle publicitaire, telles que Usenet (réseau de communication) ou Mobiluck (réseau social), relèvent de l'analyse des marchés multifaces.

L'objectif de cet article est double. D'une part, il s'agit de proposer une revue de la littérature économique, empirique et théorique, sur le P2P, littérature en récente expansion (même si la littérature en informatique reste très largement prédominante sur le sujet). D'autre part et surtout, alors que, comme nous allons l'explicitier, la littérature économique s'est principalement focalisée sur la question du passager clandestin (*free riding*) et sur les déterminants de la coopération entre les pairs dans les réseaux P2P – en

1 Voir les activités de Michel Bauwens, fondateur de P2P Fondation.

particulier de partage de fichiers –, nous montrons que les véritables enjeux économiques soulevés par le P2P vont bien au-delà de cette question de la coopération et que de nombreuses questions essentielles restent en suspens.

S'il fait le point sur les recherches les plus récentes en économie sur le P2P, cet article se veut ainsi davantage qu'une simple revue de littérature. L'analyse est en effet fondée sur une étude approfondie d'une cinquantaine de cas de P2P qui ont été déterminés dans le cadre de l'ANR ADAM (Architecture Distribuée et Applications Multimédias Multiples). Ces cas ont été construits par les chercheurs de l'ANR dans une approche pluridisciplinaire (l'équipe regroupait des sociologues, des juristes, des économistes et des chercheurs en sciences de l'information et de la communication) pour construire une typologie de cas, illustrant l'ensemble des problématiques. Au-delà des résultats associés à l'étude de cas plus connus (comme BitTorrent ou Kazaa qui sont des réseaux de partage de fichiers), cette étude de cas plus originaux nous a en effet permis de construire une grille de lecture des différents cas de P2P, à travers les caractéristiques économiques du bien échangé (rivalité, exclusion, externalité) et des techniques du réseau (son degré de distribution).

Le reste de l'article est organisé de la manière suivante. La deuxième partie passe en revue la littérature existante sur le partage de fichiers et discute en particulier les enjeux de la coopération et la question du passager clandestin. La troisième partie étudie la mesure dans laquelle le P2P se substitue aux technologies existantes pour fournir un service identique ou est contraire créateur de bien-être. La quatrième partie se focalise sur le modèle économique du P2P. Finalement, la cinquième partie propose une grille de lecture des différents cas et conclut par des pistes de recherche.

2. PARTAGE DE FICHIERS ET PASSAGER CLANDESTIN : LA COOPÉRATION EST-ELLE RATIONNELLE ?

Dans cette section, nous décrivons tout d'abord rapidement le fonctionnement des réseaux P2P de partage de fichiers, puis nous discutons les enjeux de ce partage, en particulier la question du passager clandestin à laquelle la littérature économique s'est principalement intéressée.

2.1. Description du fonctionnement d'un réseau P2P

La définition simple précédente d'un réseau P2P comme un ensemble d'individus connectés et qui ont un double rôle de fournisseur et de consommateur sans serveur central est très schématique. En effet, si l'architecture est dite distribuée dans ces réseaux, un système pair à pair peut être composé d'un serveur central (on dit qu'il est centralisé) ou ne pas en comporter (il est alors décentralisé). Il faut de plus superposer cette première différence avec plusieurs autres : le partage de fichiers peut être décentralisé mais la recherche de ces fichiers peut passer par un serveur central, le partage et la recherche peuvent être décentralisés mais le réseau peut être géré par une autorité, etc. Et les innovations technologiques récentes font apparaître une autre distinction avec les réseaux mobiles qui nécessitent de chaque pair de servir de point de passage à des flux.

Si le point commun des réseaux P2P repose sur le fait que le contenu y est toujours distribué, on peut distinguer différents types de réseaux (voir par exemple sur l'architecture de Gnutella, Asvanund *et al.*, 2004). L'architecture du réseau peut en effet être : (i) complètement centralisée ; (ii) complètement décentralisée ; ou (iii) hiérarchique.

Dans le cas d'une architecture centralisée, le système de recherche repose sur un catalogue central et les requêtes sont envoyées vers le serveur central. La base centrale renvoie les utilisateurs à la recherche d'un contenu vers une liste de pairs possédant le contenu (les fichiers physiques de contenu sont détenus par les pairs) et le pair ayant fait la recherche télécharge le fichier directement à partir du pair fournissant le contenu. C'est le cas par exemple de Napster – les utilisateurs du réseau mettent en ligne une liste du contenu qu'ils partagent sur un ensemble de serveurs centraux possédés par Napster –, d'iMesh ou encore d'Audiogalaxy. L'avantage d'une telle architecture est le faible coût du traitement des demandes pour les pairs, puisque les pairs passent leurs demandes directement à l'index central. Le principal inconvénient est que le serveur central sert à la fois comme goulot pour le traitement des demandes et est le seul point d'échec du réseau, ce qui le fragilise.

Dans le cas d'une architecture complètement décentralisée, chaque nœud maintient son propre catalogue et répond aux demandes des autres pairs (en général un petit nombre, quatre ou cinq) avec lesquels il maintient une

connexion. Gnutella version 0.4 reposait par exemple sur une telle architecture qui souffre néanmoins d'une limite de taille : le traitement des demandes impose une forte externalité aux autres membres du réseau, ce qui en diminue la performance.

Finalement, dans une architecture hiérarchique ou hybride, les nœuds se connectent à des super-nœuds qui sont à leur tour connectés les uns aux autres. Ce sont alors les super-nœuds qui indexent le contenu de leurs nœuds et répondent aux requêtes. Une telle architecture est utilisée par exemple par Gnutella version 0.6 et Kazaa. Elle présente deux avantages majeurs : d'une part, comparativement à l'architecture centralisée, le réseau est beaucoup moins fragile dans une architecture hybride puisqu'il y a de multiples points d'échec (les différents super-nœuds), et d'autre part, comparée à l'architecture décentralisée, l'externalité imposée aux différents membres du réseau est bien moins forte, ce qui augmente la performance du réseau.

La question de l'architecture du réseau est loin d'être une simple question technique. Du point de vue économique, c'est une question clé, car le choix de l'architecture influe sur l'extensibilité du réseau. Ainsi, dans un réseau P2P, l'ajout d'un nœud au réseau est à coût marginal décroissant ou constant sinon il y aurait rivalité entre les nœuds dans la participation au réseau. En pratique, ce coût peut devenir croissant si on arrive aux limites du réseau. De plus, si l'architecture du réseau est en partie hiérarchisée, les super-nœuds peuvent être en mesure de décider de l'intégration de nouveaux nœuds.

2.2. Le passager clandestin

Si la littérature s'est principalement focalisée jusqu'à présent sur le partage de fichiers, c'est que celui-ci présente de nombreux enjeux, que nous passons en revue dans cette sous-section. Le principal enjeu est bien entendu celui du *free riding* ou passager clandestin. Quelles sont les incitations des pairs à contribuer aux ressources ? Et quels mécanismes d'incitation doivent être mis en place pour favoriser cette contribution ?

Ces questions sont essentielles pour bien comprendre le fonctionnement des réseaux P2P car, dans la plupart des architectures P2P – bien au-delà

du seul partage de fichiers –, seule une fraction des nœuds du réseau sont requis en réponse à une requête, ceci pour empêcher d'inonder le réseau avec toutes les requêtes. Ainsi, même si un fichier existe sur un réseau, les nœuds contenant le fichier ne seront pas toujours requis (il s'agit donc d'une recherche incomplète dans le réseau). De plus, même si le nœud contenant le fichier demandé est requis, le nœud peut choisir de ne pas distribuer le fichier (et ainsi agir en passager clandestin ou *free rider*). Ainsi, la demande générée peut ne pas être satisfaite. Les incitations pour chaque nœud à redistribuer ont donc un impact crucial sur la diffusion des fichiers à l'intérieur du réseau (voir la modélisation de Hosanagar, Han et Tan, 2012 sur la participation des nœuds).

2.2.1. La « tragédie des biens communs »

La question du passager clandestin n'est bien entendu pas née avec le P2P². D'un point de vue théorique, les réseaux P2P partagent en effet des caractéristiques avec les biens publics (qui sont des biens non exclusifs du point de vue de l'offre et non rivaux du point de vue de la demande) et les biens clubs, qui sont les biens exclusifs en ce qui concerne l'offre mais non rivaux en ce qui concerne la demande (voir les deux articles Krishnan *et al.*, 2004 et Krishnan *et al.*, 2007 sur les enjeux économiques des réseaux P2P). Comme l'ont souligné Casadesus-Masanell et Hervas-Drane (2010), il y a deux biens que les pairs peuvent partager : le contenu et la bande passante. Contenu et bande passante diffèrent pour la raison suivante : alors que la bande passante est un bien rival, le contenu est un bien non rival.

D'un point de vue empirique, il a été souligné par de nombreuses recherches que les utilisateurs des réseaux P2P tendaient souvent à agir en passager

2 Plus généralement, la question de la participation est une question centrale en économie. La littérature en théorie des contrats, en particulier celle qui porte sur les motivations des travailleurs – motivations qui ne sont pas uniquement extrinsèques ou monétaires mais également intrinsèques – est liée à ce sujet. La question de la coopération se pose également pour la production des services publics, ou le travail des bénévoles dans les associations. C'est également le cas pour les entreprises privées et en particulier pour les entreprises dans les secteurs de l'innovation dans lesquels il est difficile d'écrire un contrat basé sur des indicateurs d'effort des employés (voir, sur les incitations au travail, Beauvallet, 2009).

clandestin. L'article fondateur de cette problématique est celui d'Adar et Huberman (2000) qui ont montré que 70 % des utilisateurs de Gnutella ne partageaient pas leurs fichiers. Ainsi, le comportement de *free-riding* n'est pas un phénomène déviant mais est la norme chez la majorité des utilisateurs. De plus, 50 % des demandes de fichiers sont gérées par le premier pourcentage des usagers. Hughes et al. (2005) actualisent l'étude précédente pour observer les évolutions dans les comportements de passager clandestin. Les résultats de l'étude (menée suivant la même méthodologie qu'en 2000) montrent une croissance significative du pourcentage de *free-riders* dans Gnutella : plus de 85 % des pairs n'uploadent aucun fichier. Dans une analyse coûts-avantages, il est simple de comprendre pourquoi ce type de comportement est dit rationnel : les agents économiques ont tout intérêt à « free-rider » – c'est-à-dire à utiliser des fichiers partagés par d'autres utilisateurs sans eux-mêmes partager de fichiers ce qui leur coûterait de la bande passante. Ils bénéficient ainsi des avantages du bien collectif sans en payer le coût. Cox et al. (2010) distinguent différents types de participants au réseau, les agents qui se contentent de télécharger les fichiers, ceux qui mettent à disposition leurs fichiers et parmi eux les plus actifs et étudient comment s'articulent ces différents types de comportements pour équilibrer le système.

Autant dire que, par ce comportement de *free riding*, la philosophie des réseaux P2P disparaît : les pairs faisant partie de ceux qui contribuent le plus font office de serveurs centraux, générant par là des risques de congestion du réseau et d'instabilité, des problèmes qu'était supposé combattre le système P2P. En raison de la présence de *free riding*, les réseaux P2P exhibent de hauts niveaux de rivalité et manifestent ce que l'on appelle parfois la « tragédie des biens communs digitaux ». Par conséquent, la difficulté est de comprendre pourquoi – si tous les utilisateurs semblent d'un certain point de vue avoir intérêt à agir en passager clandestin – les réseaux de P2P ne s'effondrent pas et si tous les systèmes de P2P sont sensibles au comportement de *free riding*. Par ailleurs, il s'agit de comprendre pourquoi les individus partagent tout de même leurs fichiers sur les réseaux P2P mais aussi quels mécanismes permettraient de rendre les réseaux plus efficaces en augmentant le degré de participation (Antoniadias, 2004). Ces questions trouvent en partie leurs réponses dans la littérature en économie collaborative.

2.2.2. Les agents sont-ils altruistes ?

Une première réponse – sans doute la plus simple – qui a été évoquée dans la littérature pour mieux comprendre la question du *free riding* a été de supposer que les individus sont en réalité non égoïstes, comme le suppose la théorie économique, mais altruistes. Dans la maximisation de leur utilité, ils prendraient en compte le bien-être des autres et retireraient donc un bénéfice direct au fait de contribuer au contenu des réseaux P2P et de partager leurs fichiers (voir par exemple Golle et al., 2001 ; Antoniadis et al., 2004 ; Feldman et al., 2004)³.

Cette réponse, qui a le mérite de la simplicité, est néanmoins relativement tautologique du point de vue de l'économiste (les agents partagent parce qu'ils sont généreux) et se révèle surtout insuffisante. Il est particulièrement difficile d'estimer empiriquement l'altruisme des agents (même si cela a pu être fait, en particulier dans le cadre d'expériences en laboratoire en économie expérimentale ou sous la forme d'enquêtes). Si l'on se réfère aux travaux en économie collaborative, l'une des rares études qui s'y est attelée dans le cadre de la coopération entre les pairs tend à remettre en question cette hypothèse. En effet, Benkler et al. (2014a) étudient les fondations pro-sociales de la coopération sur Wikipédia, une économie de production de pairs dans laquelle les incitations monétaires ne jouent aucun rôle dans le comportement des agents individuels. Ils testent empiriquement l'importance relative de trois types de motivations intrinsèques des individus à contribuer à un bien public : (i) les motifs altruistes, que ce soit sous la forme d'« altruisme pur » ou de *warm-glow effect* ou « baume au cœur » (Andreoni, 1990) ; (ii) les motifs de réciprocité ; (iii) et les motifs d'image sociale. Ils trouvent que les mesures de réciprocité et les motifs d'image sociale sont associés de manière significative avec la trajectoire des utilisateurs de Wikipédia et expliquent pourquoi les individus deviennent contributeurs. Ils ne trouvent pas d'effet significatif de l'altruisme. De manière similaire, mais plus approfondie, Benkler et al. (2014b) étudient le rôle joué par différents types de motivation et étudient l'impact de ces différents facteurs sur le comportement des agents individuels qui participent aux logiciels libres (sur cette question,

3 Pour la littérature économique théorique sur l'altruisme des agents individuels, voir par exemple Andreoni (1989, 1990) et Anderson et al. (1998).

voir aussi Benkler, 2002). D'après les résultats qu'ils obtiennent, les développeurs – si on les interroge – placent les motivations intrinsèques, en particulier le plaisir tiré du fait de résoudre des problèmes, la nécessité de remplir un besoin personnel et l'idéologie, très haut dans leurs motivations. Pourtant, ces motivations sont très faiblement corrélées avec les véritables contributions de ces développeurs. Au contraire, les motivations que les développeurs classent le plus bas, la réputation et les compensations monétaires, sont celles qui sont le plus fortement corrélées à leurs contributions.

Si l'analyse empirique de cette étude de Benkler *et al.* (2014b) souffre d'un problème d'endogénéité dans son identification, elle a toutefois un grand mérite comparée à la littérature existante. En effet, alors que la majorité de la littérature empirique, à commencer par le papier séminal de Lerner et Tirole (2002)⁴, est fondée principalement sur des enquêtes demandant aux contributeurs d'explicitier leurs motivations, Benkler *et al.* (2014b) vont au-delà de cette seule explicitation puisqu'ils étudient les motivations que les contributeurs explicitent et leurs contributions effectives.

Ces travaux récents sur la production par les pairs remettent donc en cause l'explication de la participation par l'altruisme. En revanche, il existe des différences majeures entre ces plateformes collaboratives de production et les réseaux P2P. Dans le cas d'un partage de la bande passante, le bien est rival, ce qui n'est pas le cas de l'information échangée sur les plateformes telles que Wikipédia. L'argument altruiste devrait donc être encore plus faible dans le cas du P2P. À l'inverse, dans le cas des réseaux P2P, le coût de la participation au réseau pour l'agent est moindre que dans le cas de l'économie collaborative puisque l'agent met à disposition des ressources et non un effort de production.

Rappelons enfin qu'il n'est pas nécessaire que l'ensemble des nœuds participent au partage pour que le réseau fonctionne. Si le bien partagé n'est pas rival, le réseau peut supporter une part importante de *free rider*. Néanmoins, cela impacte l'architecture du réseau : dans le cas des réseaux

4 L'article insiste sur les motivations « traditionnelles » mises en avant dans la littérature en économie du travail, en particulier les préoccupations de carrière, les compensations monétaires et les mécanismes de réputation, et se focalise sur quatre cas (Apache, Linux, Perl et Sendmail).

hiérarchisés autour des super-nœuds, c'est la participation active de ces super-nœuds qui importe et non la présence passive de certains nœuds (si le coût marginal de l'ajout d'un nœud est décroissant). Penard *et al.* (2011) ont montré par exemple que le bien commun partagé sur Bittorrent relevait davantage d'un bien public que d'un bien commun au sens où il était non rival et qu'une extension du nombre de participants améliorait l'efficacité du réseau : la participation au bien croissait avec la taille du réseau, alors que le paradoxe d'Olson aurait dû laisser penser qu'il diminuerait.

2.3. Quels mécanismes d'incitation ?

2.3.1. Le mécanisme de réciprocité

La plupart des mécanismes d'incitation reposent sur l'idée, d'un côté, de récompenser les pairs qui coopèrent et, de l'autre, de punir ceux qui ne coopèrent pas⁵. Néanmoins, il existe des différences dans la manière dont les incitations sont données aux utilisateurs, différences qui reposent sur l'existence de motivations sociales intrinsèques des agents variables – la réciprocité et la réputation ou image sociale.

Anagnostakis *et al.* (2006) étudient les mécanismes d'incitation reposant sur le principe de réputation et le principe de réciprocité à partir de deux exemples, BitTorrent (un système de distribution de contenus dans lequel les pairs coopèrent pour le téléchargement de fichiers) et eMule (un logiciel gratuit de partage de fichiers en P2P). Ces deux systèmes incluent des mécanismes d'incitation dans leur design. En particulier, le design de BitTorrent est tel que le mécanisme d'incitation fait la distinction entre les pairs coopératifs et les pairs non coopératifs et le protocole oblige à la réciprocité. eMule repose sur un système de crédit par pair (*pairwise*) qui récompense les utilisateurs contribuant au réseau en réduisant leur temps d'attente dans la queue de téléchargement. Anagnostakis *et al.* (2006)

5 Creus Mir *et al.* (2007) modélisent l'allocation de la ressource rare (bande passante) dans les réseaux P2P en prennent en compte la structure du réseau. Ils présentent une approximation simple de l'allocation de bande passante dans les réseaux de partage de fichiers. De manière contre-intuitive, ils trouvent que la bande passante espérée obtenue par ceux qui partagent est toujours plus importante que celle disponible pour les passagers clandestins.

étudient – en utilisant des *crawlers* (robots d'indexation) – la manière dont les utilisateurs de ces deux systèmes perçoivent et répondent aux incitations fournies ; et la mesure dans laquelle ces incitations sont assez fortes pour pousser les utilisateurs à coopérer. Avant eux, Kamvar *et al.* (2003) ont proposé d'offrir des services de meilleure qualité aux utilisateurs qui partagent leurs ressources afin de réduire le *free riding*.

La logique des mécanismes de réciprocité consiste à s'adapter aux changements de comportement des pairs, en servant de manière prioritaire les pairs qui peuvent fournir des services de manière simultanée et symétrique. Comme mécanisme de réciprocité, BitTorrent utilise le *unchoke mechanism*, mécanisme qui permet de rendre la pareille, autrement dit de donner en retour aux nœuds qui coopèrent et de couper l'accès (*choke*) aux nœuds qui choisissent de ne pas coopérer. Il utilise également la stratégie du *tit-for-tat* (un prêté pour un rendu) ou principe de troc pour fournir de fortes incitations à la coopération. Le mécanisme de crédit d'eMule consiste pour sa part à récompenser les utilisateurs qui allouent des ressources en réduisant leur temps d'attente dans la queue de téléchargement, donc de fait en accélérant leur vitesse de téléchargement.

Anagnostakis *et al.* (2006) trouvent que les pairs dans BitTorrent peuvent profiter d'une vitesse de téléchargement bien plus rapide comparée à d'autres systèmes de partage de fichiers P2P, et que les mécanismes d'incitation adoptés réussissent à promouvoir la coopération parmi les pairs. Cependant, le niveau de coopération dans BitTorrent n'est pas aussi élevé que prévu ; il y a plus de passagers clandestins que ce qui était supposé jusqu'à présent.

2.3.2. Le mécanisme de réputation

Un premier mécanisme d'incitation reposant sur le principe de réputation consiste à ce que les pairs se réfèrent à des « tables d'histoire privées » dans lesquelles ils sauvegardent l'historique de leurs interactions avec d'autres pairs pour décider le niveau de coopération qu'ils auront avec eux dans le futur. Un deuxième mécanisme est celui d'« histoire partagée » (*shared history*), mais ce mécanisme est vulnérable à la collusion entre certains pairs. Dellarocas (2003) discute l'implémentation d'incitations fondées sur des systèmes de réputation explicites pour limiter le *free riding*. Ces

incitations reposent sur l'hypothèse selon laquelle les agents ont des interactions répétées (Krishnan *et al.*, 2007)⁶.

2.3.3. Les *payment-based systems* sont-ils voués à l'échec ?

Quelle est l'efficacité de systèmes fondés sur le paiement à réduire le problème du passager clandestin dans les systèmes P2P ? Si un tel système a parfois échoué dans le cas du P2P – Anagnostakis *et al.*, 2006 donnent l'exemple de Mojonation –, les réseaux P2P commerciaux – dans lesquels les utilisateurs paient pour le contenu – offrent souvent des paiements (*distribution referrals*) aux utilisateurs qui distribuent du contenu aux autres participants dans le réseau. Par exemple, Altnet paie les utilisateurs sur le réseau Kazaa qui acceptent de rejoindre Altnet comme point de distribution. Comme l'ont souligné Hosanagar, Han et Tan (2012), Grooveshark et rVibe compensent également les utilisateurs qui distribuent du contenu (voir aussi Golle *et al.*, 2001 ; Arora *et al.*, 2003 ; Lang et Vragov, 2005)⁷.

3. LE P2P : CRÉATEUR DE VALEUR OU SIMPLE SUBSTITUT ?

Le P2P permet à un fournisseur de contenu de distribuer de manière efficace du contenu à un coût relativement bas et à une échelle extrêmement étendue. Dans quelle mesure le P2P se substitue-t-il ainsi aux systèmes client-serveur existants, ou permet-il au contraire de créer une activité économique qui n'était pas possible avant la technologie P2P⁸ ? Afin de

6 Sur les mécanismes de réputation dans le cadre du P2P, voir aussi Lai *et al.* (2003), Moreton et Twigg (2003), Cohen (2003), Kung et Wu (2003) et Woodward et Parkes (2003).

7 Hosanagar, Han et Tan (2012) développent un modèle de diffusion des produits digitaux dans des réseaux P2P qui prend en compte de manière spécifique les incitations à la redistribution, et en particulier les récompenses monétaires pour les contributeurs.

8 Casadesus-Masanell et Hervas-Drane (2010) étudient l'interaction concurrentielle entre deux modèles alternatifs de distribution de contenu digital sur internet : les réseaux de partage de fichiers P2P et la distribution centralisée client-serveur (par exemple le iTunes Store d'Apple). D'après eux, les avantages principaux de la

pouvoir répondre à cette question, intéressons-nous tout d'abord aux nouveaux services qui sont apparus dans le cadre du P2P.

3.1. Bitcoin et les plateformes de financement en ligne

Bitcoin, système de monnaie électronique P2P, est sans doute aujourd'hui l'exemple le plus médiatique de plateforme P2P. La monnaie électronique n'est pas à proprement parler un réseau P2P mais Bitcoin utilise la puissance de calcul décentralisée des pairs pour créer la monnaie et à ce titre correspond à la définition retenue d'un réseau P2P. Il s'agit d'une unité de compte et d'un moyen de paiement qui permet d'effectuer des transactions financières sans aucune autorité centrale (simplement grâce à l'utilisation de « Bitcoins », unités abstraites qui furent initialement distribuées aux personnes résolvant certains problèmes mathématiques). Teigland *et al.* (2013) étudient le processus grâce auquel Bitcoin peut agir comme un entrepreneur institutionnel, puisqu'aucune institution financière ne prend part aux transactions. D'après eux, un tel système peut être vu comme une menace potentielle pour les gigantesques institutions financières qui existent aujourd'hui, car le Bitcoin remet en question l'utilité du système monétaire existant. Sans aller jusque-là, il est intéressant d'étudier dans quelle mesure la « monnaie virtuelle » Bitcoin se comporte comme une monnaie souveraine traditionnelle. À cette fin, Yermack (2013) examine les transactions utilisant Bitcoin. Il trouve que la volatilité du taux de change de Bitcoin est bien plus élevée que la volatilité des monnaies traditionnelles, ce qui réduit la capacité de Bitcoin à être utilisée comme unité de compte ou comme réserve de valeur. De plus, le taux de change quotidien de Bitcoin n'est pas du tout corrélé à celui des « vraies » monnaies, ce qui rend Bitcoin inutile pour la gestion de risque et très difficile à utiliser par ses détenteurs pour se couvrir contre le risque. D'autre part, Bitcoin n'a pas accès au système bancaire avec une assurance pour les dépôts, et il n'est pas utilisé comme dénominateur des contrats de crédit ou de prêt des

distribution en ligne avec licence (par exemple iTunes) sont (i) le fait qu'elle offre des temps de téléchargement plus courts sans congestion, étant donné qu'on peut profiter de la consommation de contenu acquis auprès de l'entreprise quasiment immédiatement ; et (ii) le fait que le contenu soit de plus grande qualité pour les consommateurs, d'une part parce qu'il est légal, et d'autre part parce qu'il offre des avantages que n'offre pas le P2P (comme des métadonnées de meilleure qualité et l'absence de mauvais fichiers tels que les *spoof files*).

consommateurs. Enfin, et cette difficulté n'est pas des moindres, la masse monétaire est limitée par un seuil, et donc ne peut pas croître à l'infini. Bitcoin se comporte donc davantage comme un investissement spéculatif que comme une monnaie. En revanche, il faut noter la capacité du réseau à générer de la confiance, élément fondateur d'une monnaie, sans passer par des institutions nationales, gouvernementales ou bancaires. La dilution de la régulation parmi les pairs est en elle-même source de confiance là où à l'inverse ce sont les institutions qui sont source de défiance.

Il existe de nombreuses plateformes de financement (Morse, 2015) qui relèvent de l'économie de production par les pairs, parmi lesquelles Lending Club, Zopa.Ltd., Smava GmbH ou encore Prosper.com. Berger et Gleisner (2009) analysent le rôle des intermédiaires dans les marchés électroniques en utilisant des données détaillées sur plus de 14 000 prêts sur la plateforme de prêt électronique P2P Prosper.com entre 2005 et 2007 et montrent cependant que certains participants à ce marché électronique agissent comme des intermédiaires financiers. Freedman et Jin (2011) montrent ainsi, également dans le cas de Proper.com, que les premiers prêteurs n'ont pas entièrement compris le risque du marché, mais que l'apprentissage des prêteurs est efficace pour réduire le risque au fur et à mesure. Il en résulte que le marché exclut de plus en plus d'emprunteurs à risque et évolue vers une population déjà servie par les marchés traditionnels du crédit⁹.

Ainsi, non seulement on a vu émerger des intermédiaires dans un système qui se voulait reposer sur la médiation directe, non seulement ces intermédiaires proposent le plus souvent des services d'intermédiation rémunérés, mais le public servi par le crédit électronique est de plus en plus semblable à celui qui a déjà accès aux marchés traditionnels du crédit. Dans le cas de la monnaie et des plateformes de financement, il semble donc

9 Freedman et Jin (2008) étudient l'importance des réseaux sociaux sur Prosper. Les réseaux sociaux peuvent permettre d'identifier les bons risques, soit parce que les amis et les collègues observent le type intrinsèque de l'emprunteur *ex ante*, soit parce que le monitoring à l'intérieur des réseaux sociaux fournit des incitations plus fortes à rembourser les prêts *ex post*. Prosper encourage de fait les prêteurs et les emprunteurs à former des groupes en ligne et à établir des amitiés avec d'autres membres (approche de type microfinance). Freedman et Jin (2014) trouvent que les emprunteurs qui ont des liens sociaux ont toujours plus de chance d'avoir leurs prêts financés et à des taux d'intérêt plus faibles.

difficile d'identifier une valeur ajoutée des plateformes de production par les pairs. Néanmoins, d'une part, il s'agit ici de deux formes de P2P très spécifiques qui relèvent davantage de l'économie collaborative que de la mise en commun de ressources et, d'autre part, c'est dans la capacité inédite des réseaux distribués à générer de la confiance à l'inverse d'institutions centralisées qui doit être remarquée et expliquée.

3.2. La valeur de la somme supérieure à la somme des valeurs ?

Un réseau P2P offre de nombreux avantages relativement au modèle client-serveur : il diminue les risques de congestion du réseau puisque le trafic est réparti entre tous les nœuds et non plus seulement sur un nœud central ; il augmente la vitesse de téléchargement et diminue les temps d'attente pour les mêmes raisons ; il permet une possible augmentation de la variété des contenus proposés (si le réseau est utilisé pour le partage de fichiers) ; il évite les accidents ou crashes puisque le réseau ne tient pas que sur un seul nœud ; il permet un passage à l'échelle plus aisé ; il préserve l'anonymat des pairs et les données échangées, etc. ; il fournit une sécurité aux membres du réseau. Un réseau P2P est donc de ce point de vue une innovation technique qui réduit les coûts des services passés ou même permet de proposer des nouveaux services.

Si l'on considère par exemple le partage de fichiers ou de bande passante, même si cette question a été très peu abordée jusqu'à présent dans la littérature, les systèmes P2P permettent la mise en commun massive de ressources et d'informations à un coût et à une échelle auxquels il serait difficile de parvenir dans un système traditionnel de type client-serveur. Ainsi, ils créent de la valeur ajoutée du simple fait de cette mise en commun.

Cela apparaît très clairement si l'on considère l'exemple des ordinateurs, et par exemple le cas du calcul collaboratif en P2P (comme SETI@Home, Seventeen ou Bust). Le cas du projet SETI est particulièrement intéressant de ce point de vue. C'est la mise en commun des ressources informatiques, afin d'identifier une intelligence artificielle (le nom SETI vient de *Search for Extraterrestrial Intelligence*), qui permet l'analyse systématique des spectres radio que nous recevons sur terre. Même si, mis à part les fans de X-files, il est autorisé de se poser la question de l'utilité d'un tel projet, ce

qui nous intéresse ici, c'est ce que la technologie du P2P permet de réaliser techniquement. Le projet SETI suppose en effet une puissance de calcul gigantesque, et il serait trop coûteux pour mener à bien un tel projet de louer des ordinateurs (voir par exemple Lessig, 2001). Au contraire, le P2P permet la réalisation de ce projet à un coût quasi nul puisque les utilisateurs partagent la puissance de calcul qu'ils ne sont pas en train d'utiliser. Dans cet exemple, la participation au réseau n'étant pas coûteuse, la question du passager clandestin ne se pose pas.

Le P2P crée également de la valeur ajoutée grâce à la diversité à laquelle il permet d'accéder. Le P2P permet de relaxer la contrainte de l'offre et de multiplier ainsi la diversité des produits offerts, ce qui peut être générateur de bien-être. En effet, dans un système de distribution centralisée, la centralisation de l'offre impose souvent une contrainte dans la satisfaction de la demande. Prenons le cas du partage de fichiers, par exemple de films. Indépendamment du P2P, les consommateurs ont accès à un catalogue, en ligne ou *offline*, le plus souvent limité. Cette limitation de l'offre limite l'utilité qu'ils peuvent retirer de la consommation de films. Au contraire, avec le partage de fichiers P2P, les consommateurs ont accès à une offre potentiellement infinie de films (l'ensemble des fichiers partagés par des millions d'utilisateurs un peu partout dans le monde), et ils retirent des gains de bien-être de cette utilité. Brynjolfsson et al. (2003) ont estimé les gains de bien-être apportés par Amazon du fait de la taille du catalogue proposé en ligne en comparaison aux catalogues traditionnels offerts par les libraires. Les gains de bien-être estimés liés à cette nouvelle diversité sont massifs. On peut aisément deviner – même si la quantification exacte de ces gains reste encore à faire – qu'ils seraient encore plus importants dans le cas du P2P qui permet une augmentation de la diversité de l'offre à une échelle beaucoup plus large.

De plus, grâce à la mise en commun des ressources, le P2P permet de réaliser des gains de temps considérables, et ce d'autant plus que la recherche dans le réseau est complète (ou efficace). Comme pour les gains liés à la diversité, ces gains de temps pourraient être estimés en termes de valeur monétaire et permettre d'obtenir ainsi une estimation de la valeur ajoutée générée par le P2P.

Ainsi, beaucoup plus qu'une simple nouvelle technologie venant se substituer à des technologies existantes, le P2P permet de créer de la valeur

ajoutée du fait même de ses caractéristiques technologiques. Il reviendra aux prochains travaux de recherche d'estimer de manière systématique l'étendue de ces gains de valeur ajoutée, mais les travaux récents sur l'économie du digital laissent penser qu'ils doivent être importants.

3.3. Données personnelles et efficience du réseau

Une autre dimension qui a longtemps été oubliée dans la littérature sur le P2P est celle de la récupération des données personnelles, enjeu pourtant essentiel non seulement pour le bon fonctionnement des réseaux P2P mais également et surtout dans le contexte actuel de monétisation croissante des informations fournies par les utilisateurs sur Internet (la question des recettes publicitaires n'est d'ailleurs pas étrangère à celle du modèle économique des réseaux de P2P comme l'indique la quatrième partie).

Plus généralement, l'extension de l'accès aux données et la constitution de *big data* pose la question des enjeux de l'exploitation de ces masses de données qui peuvent permettre aux entreprises d'améliorer leurs performances et de provoquer des innovations radicales en matière de modèles d'affaires. Les réseaux P2P peuvent à ce titre relever de l'analyse des marchés biface et financer par l'exploitation des données, via la publicité par exemple, le réseau lui-même.

Asvanund *et al.* (2004) se focalisent sur la meilleure manière d'améliorer la performance des réseaux P2P quant à la récupération des données. La performance dans la récupération des données est déterminée à la fois par la technologie et par le comportement des utilisateurs. Dans le cadre du contexte de l'architecture de Gnutella 0.6, ils s'interrogent sur l'optimisation de cette performance par des incitations qui modifient le comportement des utilisateurs.

Cette question de la récupération des données, bien qu'ignorée dans la plus grande partie de la littérature, est pourtant au centre de l'efficacité des réseaux. En effet, dans un réseau P2P, les pairs ne sont *a priori* pas capables d'identifier d'autres pairs dans le réseau qui partagent les mêmes intérêts, ce qui fait que les demandes peuvent être acheminées de manière inefficace (quand elles sont acheminées ; comme nous l'avons souligné

précédemment, les réseaux P2P souffrent en effet en ce qui concerne la satisfaction de l'offre d'un problème de recherche incomplète dans le réseau, tous les nœuds du réseau n'étant pas toujours requis). Il est donc particulièrement important pour les pairs d'identifier d'autres pairs qui partagent les mêmes préférences. Or cette recherche est compliquée pour au moins deux raisons : d'une part, le contenu sur les réseaux P2P n'est pas labellisé de manière unique, ce qui complique l'identification de pairs qui partagent les mêmes intérêts ; et d'autre part, il n'y pas de planificateur centralisé dans ces réseaux pour organiser les pairs à partir de leur contenu ou de leurs intérêts.

Pour résoudre ces difficultés, Asvanund *et al.* (2004) développent un mécanisme de formation de communauté bien organisée afin d'augmenter la performance du réseau sans avoir à faire appel à un planificateur centralisé ou à du contenu identifié de manière unique. Toutefois, ils ne prennent pas en compte les possibles enjeux commerciaux de la récupération de données ni la valeur créée par les réseaux P2P du fait de la récupération de ces données.

4. QUEL MODÈLE ÉCONOMIQUE POUR LE P2P ?

De manière assez surprenante, la littérature existante en économie sur le P2P a fait presque complètement abstraction de la dimension économique de ces réseaux. Qui sont les individus et/ou les entreprises qui mettent en place des réseaux P2P ? Quels sont leurs coûts et comment gagnent-ils de l'argent ? Comment parviennent-ils à maintenir ces réseaux en vie ? On ne trouve que difficilement des réponses à ces questions dans la littérature qui a choisi de les ignorer en grande partie – un exemple parmi d'autres, mais particulièrement révélateur, est l'article de Casadesus-Masanell et Hervas-Drane (2010) qui considèrent, d'une part, un réseau P2P dont ils ne modélisent que le comportement des nœuds, et, d'autre part, l'entreprise, dans leur cas iTunes, qui est au centre du système client-serveur. Un peu comme si le partage de ressources P2P se faisait complètement indépendamment de tout « agent » économique à la base du partage de ces ressources. Ceci s'explique par les liens entre les réseaux P2P et le mouvement de l'*open source* et par le fait qu'une grande partie des exemples de réseaux P2P étaient le fait de communautés restreintes

d'échange qui s'apparentent davantage à l'économie collaborative qu'au modèle de marché.

Or, non seulement un grand nombre de plateformes P2P sont *de facto* des plateformes commerciales¹⁰, qui agissent comme des entreprises, mais même les plateformes que l'on pourrait définir comme autogérées engendrent un certain nombre de coûts qu'il faut bien assumer, et supposent donc la mise en place d'une infrastructure, même simple. Dang et al. (2014) documentent ce glissement de l'Internet du partage à la commercialisation des échanges.

4.1. Les réseaux P2P, des plateformes « altruistes » ?

L'oubli fait par la littérature de l'étude du profit réalisé par les plateformes P2P pourrait laisser croire que celles-ci ne sont gérées que par des entités « altruistes » cherchant uniquement à trouver les moyens les plus ingénieux de mettre en relation des nœuds, indépendamment de la recherche de tout profit (tout au moins financier) (comme nous l'avons développé dans la deuxième partie). Or il est important de distinguer deux modèles de P2P : d'une part, les plateformes P2P autogérées ou non commerciales ; et d'autre part, les plateformes P2P avec un parrainage commercial (*commercially supported online communities*) ou d'entreprise, qui sont des plateformes P2P commerciales.

4.1.1. Les plateformes autogérées

Les plateformes P2P autogérées ou communautés de partage P2P se distinguent par de nombreux participants et un renouvellement constant des membres. Ces communautés se développent et se maintiennent par elles-mêmes, sans parrainage commercial ou d'entreprise. Il faut le reconnaître, les coûts des plateformes de P2P sont beaucoup moins élevés que pour les « entreprises traditionnelles » (voir par exemple Benkler, 2002). La distribution est par exemple peu coûteuse sur Internet ; elle peut être offerte d'individus à individus sans qu'aucune entreprise n'ait à investir

¹⁰ De même, les « communautés de pratique » – *Community of Practice* ou CoP – qui reposent très fortement sur le P2P et qui d'une certaine manière en sont l'une des prémisses, sont souvent *proprietary* (par exemple Xerox's Eureka).

dans un immeuble ou dans des coûts de maintenance d'un serveur¹¹. Dans ces exemples, on trouve Seventeen or Bust qui est un réseau de calcul collaboratif entre chercheurs mais également des plateformes de recherche telles que Turbulences (un réseau social lié à un projet de recherche) ou Transhulance (un projet de jeux en mobilité lié à un projet de recherche).

4.1.2. Les plateformes commerciales

Contrairement aux plateformes autogérées, il existe de nombreuses plateformes de P2P qui ont des motivations commerciales. Agrawal *et al.* (2013), Belleflamme *et al.* (2015) et Viotto (2015) s'intéressent ainsi aux plateformes de *crowdfunding* qui sont des entreprises à but lucratif. La plupart de ces plateformes utilisent un modèle de revenu basé sur le prélèvement de frais de transactions sur les projets qui réussissent, traditionnellement 4 à 5 % du montant total du financement. L'objectif de ces plateformes est de maximiser le nombre et la taille des projets qui réussissent¹².

D'autres entreprises P2P, par exemple Skype¹³, logiciel de voix sur IP créé et développé par les développeurs de KaZaa, combinent ainsi un service de téléphonie gratuite et illimitée en P2P avec des solutions payantes (des abonnements permettant de téléphoner depuis son ordinateur vers un téléphone à très bon marché). De même, alors que Wuala par LaCie (entreprise P2P de stockage réparti de fichiers éclatés en différents fichiers qui sont eux-mêmes dupliqués afin d'assurer la sécurité et la disponibilité des données) est gratuit pour l'utilisateur dans sa version de base, l'entreprise propose d'autres produits payants et a développé une offre diversifiée destinée aux acteurs institutionnels et aux industriels (par exemple Campus). De plus, de nombreuses plateformes P2P ont proposé à l'origine des services gratuits qui sont par la suite devenus payants.

11 Les utilisateurs utilisent simplement leur disque dur dont ils partagent le contenu avec d'autres.

12 Il serait intéressant pour la recherche future d'étudier la structure de propriété des entreprises de P2P, et la mesure dans laquelle elles sont possédées au moins en partie par des entreprises commerciales « normales » (qui ont pour objectif premier affiché la réalisation de profits). Dans le même ordre d'idées, mais dans un contexte différent, des entreprises de plus en plus nombreuses – c'est le cas par exemple d'IBM – ont développé et utilisé elles-mêmes des logiciels *open source*.

13 Skype était en P2P mais ne l'est plus et son architecture est désormais centralisée.

4.1.3. Des réseaux P2P voués à devenir payants ?

La frontière entre réseaux P2P commerciaux et réseaux P2P non commerciaux est en effet loin d'être évidente¹⁴. De nombreuses plateformes de P2P gratuites, par exemple Buddybackup (qui permet le stockage de données sur des ordinateurs de « buddies », c'est-à-dire des connaissances, de la famille, des amis ou encore des collègues) ou Databarracks, sont en fait avant tout un support publicitaire pour un service payant.

De plus, de même que certains logiciels libres, par exemple Sendmail, se sont développés à la fois comme logiciels libres et comme logiciels brevetés après avoir été libres, tout laisse à penser que de nombreuses plateformes de P2P sont vouées à devenir payantes (par exemple Blablacar qui a levé 100 millions d'euros de fonds en 2014). Déjà lors de la création de Napster, beaucoup pensaient que l'entreprise, qui avait déjà 46 employés en 2000 seulement après 15 mois d'existence, allait générer des revenus en passant un accord avec le secteur du disque, en faisant payer de la publicité ou des sponsors sur le site, ou bien encore en chargeant un frais de souscription mensuel. D'où les fonds importants de capital-risque que l'entreprise a été capable de lever, et ce dès sa création¹⁵.

4.2. Quelles sources de revenus pour les réseaux P2P ?

Au-delà de l'opposition entre plateformes P2P commerciales et non commerciales, il est intéressant de déterminer de quoi vivent les plateformes

14 Comme le soulignent Asvanund *et al.* (2004), les réseaux P2P ont été adoptés dans de nombreuses entreprises ou par des gouvernements pour le management du savoir et la collaboration distribuée. Par exemple, les produits P2P de Groove Networks ont été utilisés par le ministère de la Défense américain et plusieurs entreprises internationales de consulting pour ses applications de management du savoir distribué.

15 En ce qui concerne les logiciels libres, Benkler (2002) souligne qu'il existe toute une série de mécanismes permettant une appropriation indirecte. Au-delà même des contrats de consulting, des services de customisation, et des augmentations de capital humain qui sont payés par des employeurs qui peuvent utiliser les qualifications développées grâce à la participation au développement de logiciels libres pour les développements d'objets propriétaires, il prend l'exemple d'une introduction en bourse. En 1999, l'IPO de Red Hat, entreprise spécialisée dans le packaging et la maintenance pour les systèmes d'opération GNU/Linux, a fait de ses fondateurs des millionnaires.

P2P. Nous avons analysé, lorsque cela était possible, pour chaque cas de P2P étudié dans le cadre de l'ANR ADAM le modèle d'affaires.

Une première source de revenus importante pour ces plateformes est la publicité. Même s'il est difficile de quantifier l'ampleur de ces revenus publicitaires, les plateformes P2P sont, comme les journaux par exemple, un exemple typique de marché biface. Joost, la télévision du futur imaginée par Niklas Zennström et Janus Friis¹⁶, les fondateurs de Kazaa et Skype, propose ainsi un service gratuit aux internautes financé exclusivement par la publicité.

Lorsque le service est payant, les frais chargés aux utilisateurs représentent une autre source de revenus (ces revenus peuvent se substituer ou s'ajouter aux revenus publicitaires). La plateforme Prosper charge ainsi des frais à la fois aux emprunteurs et aux prêteurs. Melodeo, réseau d'échange de fichiers musicaux, avait un modèle payant.

Finalement, on l'a souligné plus haut, les plateformes P2P sont sans doute amenées à générer dans le futur un flux croissant de ressources grâce à la récupération de données et à l'utilisation commerciale de ces données. La monétisation de la *data* est un secteur en croissance exponentielle.

Plus généralement, le P2P rend difficile de tracer une frontière exacte entre ce qui est lucratif et ce qui ne l'est pas. L'exemple de Bitcoin est de ce point de vue particulièrement intéressant. Bitcoin est apparu en utilisant un programme exposé dans Nakamoto (2008), une proposition de neuf pages décrivant un système de cash électronique P2P (*peer-to-peer electronic cash system*). L'auteur de ce document n'a été que difficilement identifié (le mystère de son identité est d'ailleurs loin d'être définitivement levé), mais son système était conçu de telle sorte qu'il ne lui donnait aucune royauté ou aucun droit de propriété résiduel qui lui permettrait de bénéficier de l'adoption de Bitcoin. Cependant, d'après les algorithmes proposés par Nakamoto (2008), les nouveaux Bitcoins sont créés et donnés en récompense aux informaticiens qui résolvent des problèmes mathématiques

16 Il s'agit d'un logiciel utilisant la technologie P2P qui permet une consommation délinéarisée de programmes de télévision, c'est-à-dire offrant à l'internaute la possibilité de créer sa propre programmation à partir d'un catalogue de films, de documentaires, de séries et de clips vidéo.

spécifiés *ex ante*. Un registre transparent et décentralisé suit la propriété et les transferts de ces Bitcoins¹⁷. De plus, le système de Bitcoin est *de facto* de manière indirecte un système commercial, puisqu'un chiffre d'affaires conséquent est généré par les intermédiaires (la société de change en ligne Mt. Gox).

Le pair à pair dans la distribution change les *business models* traditionnels. C'est ce que Lechner et Hummel (2002) affirment. Les architectures P2P sont la source de nouveaux designs pour la participation des usagers, ainsi que pour les *business models*. Les auteurs soulignent le rôle des communautés dans lesquelles les membres contribuent à la création d'une valeur économique par l'information, les commentaires et les recommandations. Ils s'appuient premièrement sur l'exemple de l'industrie de la musique avec différents systèmes de distribution en insistant sur le rôle de la technologie dans le développement de nouveaux *business models*. Ainsi, par rapport au modèle traditionnel de création de valeur, Napster comprend quatre étapes dans la chaîne de valeur : la production de contenus, le marketing, la distribution et le copiage (cette dernière étape est nouvelle). Et Gnutella va encore plus loin, car il n'y a pas d'étape marketing, et toutes les autres étapes sont réalisées par les consommateurs eux-mêmes, ne laissant aucune place à une possible génération de profits. Le mécanisme de fixation des prix est également discuté à l'aune de ces nouveaux modèles : les rôles des intermédiaires ont tendance à être effacés au fur et à mesure que les consommateurs prennent le contrôle de la chaîne de création de la valeur. Les membres des communautés sont alors les plus à même de gérer l'organisation de ces communautés, mieux que tout autre intermédiaire.

5. CONCLUSION

Si la littérature s'est principalement concentrée sur la question du partage de fichiers et les incitations permettant de résoudre le problème du passer clandestin, de nombreuses questions restent encore aujourd'hui sans réponse quant au modèle économique du P2P. Ce qui est apparu clairement

17 L'algorithme limite le taux auquel de nouveaux Bitcoins peuvent être créés et fixe une limite à 21 millions de Bitcoins.

de l'étude menée dans cet article, c'est qu'il y a bien quelque chose de nouveau dans l'environnement de production P2P. Le P2P est bien plus qu'une nouvelle technologie venant se substituer aux anciennes ; il est créateur de valeur ajoutée et permet d'offrir de nouveaux services. Ce qu'il reste encore à comprendre, ce sont les déterminants de ce nouveau modèle économique, et en particulier sa soutenabilité. C'est d'autant plus important que, au-delà de la simple question du P2P, cela ouvre de nouvelles perspectives pour l'étude des médias en ligne et plus généralement de l'économie digitale et de partage.

Ce tour d'horizon de la littérature économique et l'analyse de la soixantaine de cas de réseau P2P isolés dans le cadre de l'ANR ADAM ont permis d'identifier quatre variables clefs pour caractériser un réseau P2P, trois économiques (rivalité, exclusion, externalité de la ressource partagée) et une technique (le degré de distribution dans l'architecture du réseau).

- Une première caractéristique de la ressource est son degré de rivalité. Le bien partagé sur le réseau P2P peut être rival ou non rival suivant les exemples considérés. En effet, la bande passante, l'espace de stockage, la mémoire ou la puissance de calcul sont des biens rivaux. En revanche, les fichiers ou les données en général sont des biens non rivaux.
- La deuxième caractéristique est la facilité à sélectionner les membres du réseau. Le bien partagé peut en effet être exclusif ou non exclusif. Si le réseau P2P peut agir comme un club et n'accepter ses membres que sous condition, alors la ressource partagée est excluable. Les communautés spécialisées en un style de musique ou qui possèdent une compétence technique sont exclusives. De même si le réseau exige un abonnement ou un boîtier technique pour intégrer le réseau, alors il agit bien comme un club.
- Le bien partagé peut également se caractériser par l'importance de ses effets externes et de réseau. Le stockage de données ou la puissance de calcul ne génèrent *a priori* pas d'effet externe. En revanche, les réseaux sociaux, les réseaux de communication ou les partages de fichiers sont à effet réseau.
- Enfin, le réseau P2P peut être plus ou moins décentralisé dans son architecture et ainsi son efficacité et sa sécurité dépendent du choix technique de la structure du réseau.

Ces quatre variables permettent d'examiner l'extensibilité du réseau et le coût marginal à y inclure un nouveau membre. Rappelons qu'un membre du réseau P2P est à la fois demandeur et offreur. Si le bien est rival, un nouvel offreur améliore l'efficacité marginale du réseau mais un nouveau demandeur la réduit : ainsi, un passager clandestin fragilise le réseau P2P si le bien échangé est rival. À l'inverse, si le bien est non rival, un nouveau membre améliore toujours l'efficacité marginale du réseau car l'effet d'offre est positif et l'effet de demande est neutre. Si le bien exhibe des effets de réseau, l'ajout d'un nouveau membre est toujours positif sauf en cas d'effet externe sur la sécurité ou la stabilité du réseau. Le caractère exclusif de la communauté renforce la sécurisation du réseau et stabilise la participation des pairs. En revanche, ce que montre l'exemple du P2P c'est bien que la confiance entre membres du réseau ne vient pas de la connaissance intime mais de l'anonymat des pairs. Enfin, la structure technique du réseau est essentielle : plus le réseau est décentralisé, plus l'ajout d'un nœud qui offre est marginalement efficace et peu coûteux. Ainsi, l'ajout d'un membre offreur au réseau est toujours positif sauf si le coût de la régulation du réseau est important, ce qui peut apparaître si l'architecture est très décentralisée et si l'on atteint les limites du réseau. À l'inverse, l'ajout d'un membre demandeur est négatif si le bien est rival et l'architecture décentralisée, mais il est positif si le bien échangé est un bien à effet réseau ou si l'exclusion du réseau est facile.

La variabilité des cas autour des biens échangés (réseau social, réseau de communication, fichiers, communautés de jeux, etc.) et de l'architecture technique fait de l'objet P2P un objet aux contours vastes et évolutifs et explique la difficulté de son analyse comme un objet uniforme. Les quatre variables identifiées proposent une grille de lecture qui permet de classer cette réalité kaléidoscopique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAR, E., HUBERMAN, B.A. (2000), « Free Riding on Gnutella », *First Monday*, octobre.
- AGRAWAL, AJAY K., CATALINI, C., GOLDFARB, A. (2013), « Some Simple Economics of Crowdfunding », NBER Working Paper No. 19133.
- BENKLER, Y., ALGAN, Y. FUSTER MORELL, M., HERGUEUX, J. (2014a), « Cooperation in a Peer Production Economy Experimental Evidence from Wikipedia », Document de travail.

- BENKLER, Y., ALGAN, Y., HENRY, E., HERGUEUX, J. (2014b), « Social Motives and the Organization of Production: Experimental Evidence from Open Source Software », Document de travail.
- ANAGNOSTAKIS, K., HARMANTZIS, F., IOANNIDIS, S., ZGHAIIBEH, M. (2006), « On the Impact of Practical P2P Incentive Mechanisms on User Behavior », NET Institute Working Paper No. 06-14.
- ANDERSON, S.P., GOEREE, J.K., HOLT, C.A. (1998), « A theoretical analysis of altruism and decision error in public goods games », *Journal of Public Economics*, 70(2), 297-323.
- ANDREONI, J. (1989), « Giving with Impure Altruism: Applications to Charity and Ricardian Equivalence », *Journal of Political Economy*, 97(6), 1447-1458.
- ANDREONI, J. (1990), « Impure Altruism and Donations to Public Goods: A Theory of Warm-Glow Giving », *The Economic Journal*, 100(401), 464-477.
- ANTONIADIAS, P., COURCOUBETIS, C., MASON, R. (2004), « Comparing Economic Incentives in Peer-to-Peer Networks », *Computer Networks*, 46, 133-146.
- ASVANUND, A., KRISHNAN, R., SMITH, M.D., TELANG, R. (2004), « Interest-Based Self-Organizing Peer-to-Peer Networks: A Club Economics Approach », Document de travail, SSRN 585345.
- BEAUVALLET, M. (2009), *Les Stratégies absurdes*, Paris, Le Seuil.
- BELLEFLAMME, P., OMRANI, N., PEITZ, M. (2015), « The economics of crowdfunding platforms », *Information Economics and Policy*, 33, 11-28.
- BELLEFLAMME, P., PEITZ, M. (2015), *Industrial organization: markets and strategies*, Cambridge University Press.
- BENKLER, Y. (2002), « Coase's Penguin, or, Linux and "The Nature of the Firm" », *The Yale Law Journal*, 112(3), 369-446.
- BERGER, C.S., GLEISNER, F. (2009), « Emergence of Financial Intermediaries in Electronic Markets: The Case of Online P2P Lending », *BuR – Business Research*, 2(1), 39-65.
- BOUDREAU, K., LAKHANI, K. (2009), « How to manage outside innovation », *MIT Sloan Management Review*, 50(4), 69.
- BRYNJOLFSSON, E., YU JEFFREY HU, SMITH, M. (2003), « Consumer Surplus in the Digital Economy: Estimating the Value of Increased Product Variety at Online Booksellers », *Management Science*.
- CARDON, D., LEVREL, J. (2009), « La vigilance participative. Une interprétation de la gouvernance de Wikipédia », *Réseaux*, 154, 51-89.
- CASADESUS-MASANELL, R., HERVAS-DRANE, A. (2010), « Peer-to-Peer File Sharing and the Market for Digital Information Goods », *Journal of Economics & Management Strategy*, 19(2), 333-373.
- COHEN, B. (2003), « Incentives Build Robustness in BitTorrent », Workshop on Economics of Peer-to-Peer Network.
- COX, J., COLLINS, A., DRINKWATER, S. (2010), « Seeders, leechers and social norms: Evidence from the market for illicit digital downloading », *Information Economics and Policy*, 22(4), 299-305.
- CREUS-MIR, A., CASADESUS-MASANELL, R., HERVAS-DRANE, A. (2008), « Bandwidth Allocation in Peer-to-peer File Sharing Networks », *Computer Communications*, 31(2), 257-265.

- DANG N., DEJEAN, S. (2014), *Le numérique : économie du partage et des transactions*, Paris, Economica, 464 p.
- DAVID, P.A., WATERMAN, A., ARORA, S. (2003), « FLOSS-US the free/libre/open source software survey for 2003 », Document de travail, Stanford Institute for Economic Policy Research.
- DELLAROCAS, C. (2003), « The Digitization of Word of Mouth: Promise and Challenges of Online Feedback Mechanisms », *Management Science*, 49(10), 1407-1424.
- FELDMAN, M., PAPADIMITRIOU, C., CHUANG, J., STOICA, I. (2004), « Free-Riding and Whitewashing in Peer-to-Peer Systems », Proceedings of the ACM SIGCOMM 2004 workshop on Practice and Theory of Incentives and Game Theory in Networked Systems.
- FREEDMAN, S., JIN, G.Z. (2008), « Do Social Networks Solve Information Problems for Peer-to-Peer Lending? Evidence from Prosper.Com », NET Institute Working Paper No. 08-43.
- FREEDMAN, S., JIN, G.Z. (2011), « Learning by Doing with Asymmetric Information: Evidence from Prosper.com », Working Paper 16855, National Bureau of Economic Research.
- FREEDMAN, S., JIN, G.Z. (2014), « The Signaling Value of Online Social Networks: Lessons from Peer-to-Peer Lending », Working Paper 19820, National Bureau of Economic Research.
- GOLLE, P., LEYTON-BROWN, K., MIRONOV, I. (2001), « Incentives for Sharing in Peer-to-Peer Networks », Document de travail, Stanford University.
- HESS, C., OSTROM, E. (2003), « Ideas, artifacts, and facilities: information as a common-pool resource », *Law and Contemporary Problems*, 66(1-2), 111-145.
- HOSANAGAR, K., HAN, P., TAN, Y. (2012), « Diffusion Models for Peer-to-Peer (P2P) Media Distribution: On the Impact of Decentralized Constrained Supply », *Information Systems Research*, 2, 271-287.
- HUGHES, D., COULSON, G., WALKERDINE, J. (2005), « Free Riding on Gnutella Revisited: the Bell Tolls? », *IEEE Distributed Systems Online*, Vol. 6, 6.
- KAMVAR, S. D., SCHLOSSER, M.T., GARCIA-MOLINA, H. (2003), « The Eigentrust Algorithm for Reputation Management in P2P Networks », Proceedings of the Twelfth International World Wide Web Conference.
- KRISHNAN, R., SMITH, M.D., TELANG, R. (2004), « The Economics of Peer-to-Peer Networks », *Journal of Information Technology Theory and Application*, 5(3), 31-44.
- KRISHNAN, R., SMITH, M.D., ZHULEI, T., TELANG, R. (2007), « Digital Business Models for Peer-to-Peer Networks: Analysis and Economic Issues », *Review of Network Economics*, 6(2), 194-213.
- KUNG, H.T., WU, C.H. (2003), « Differentiated Admission for Peer-to-Peer Systems: Incentivizing Peers to Contribute Their Resources », Document de travail.
- LAI, K., FELDMAN, M., STOICA, I., CHUANG, J. (2003), « Incentives for Sharing in P2P Networks », Workshop on Economics of Peer-to-Peer Network.
- LANG, K.R., VRAGOV, R. (2005), « A Pricing Mechanism for Digital Content Distribution over Computer Networks », *Journal of Management Information Systems*, 22(2), 121-139.
- LECHNER, U., HUMMEL, J. (2002), « Business Models and System Architectures of Virtual Communities: From a Sociological Phenomenon to Peer-to-Peer Architectures », *International Journal of Electronic Commerce*, 6(3), 41-53.

- LERNER, J., TIROLE, J. (2002), « Some Simple Economics of Open Source », *The Journal of Industrial Economics*, 50(2), 197-234.
- LESSIG, L. (2001), *The Future of Ideas: The Fate of the Commons in a Connected World*. Random House.
- MORETON, T., TWIGG, A. (2003), « Trading in Trust, Tokens, and Stamps », Document de travail.
- MORSE, A. (2015), « Peer-to-Peer Crowdfunding: Information and the Potential for Disruption in Consumer Lending », *Annual Review of Financial Economics*, 7, 463-482.
- PÉNARD, TH., SUIRE, R., DEJEAN, S. (2011), « Olson's Paradox Revisited: An Empirical Analysis of Incentives to contribute in P2P File-sharing Communities », CREM Working paper 2011-05
- ROCHET, J.-C., TIROLE, J. (2003), « Platform Competition in Two-Sided Markets », *Journal of the European Economic Association*, 1, 990-1024.
- TEIGLAND, R., YESTIS, Z., OLOV LARSSON, T. (2013), « Breaking Out of the Bank in Europe - Exploring Collective Emergent Institutional Entrepreneurship Through Bitcoin », Document de travail.
- VIOTTO, J. (2015), « Competition and Regulation of Crowdfunding Platforms: A Two-sided Market Approach », *Communications & Strategies*, 99, 33-50.
- WOODWARD, C.J., PARKES, D.C. (2003), « Strategyproof Mechanisms for Ad Hoc Network Formation », Document de travail.
- YERMACK, D. (2013), « Is Bitcoin a Real Currency? An economic appraisal », Working Paper 19747, National Bureau of Economic Research.