

INNOVATION DISRUPTIVE ET NAISSANCE D'UN ÉCOSYSTÈME : VOYAGE AUX ORIGINES DE L'INTERNET

Pierre Barbaroux, EOAA/CRéA

 **Mots clefs :** Innovation, écosystème d'affaires

 **Keywords:** Innovation, Business Ecosystems

1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, les chercheurs ont montré que la capacité des firmes d'inventer et de commercialiser de nouveaux biens et services dépend de leur aptitude à mobiliser, combiner et intégrer un ensemble hétérogène de ressources distribuées à l'intérieur comme à l'extérieur de leurs frontières (Chesbrough, 2003). Dans ce contexte, certains auteurs ont étudié de nouvelles formes d'organisation des activités économiques qui exploitent les vertus de l'ouverture et de la coopération entre communautés, et permettent aux firmes de créer de la valeur à travers la production et la commercialisation de biens et de services innovants (Cohendet et al., 2006). Parmi ces nouvelles formes organisationnelles, les écosystèmes d'affaires ont fait l'objet d'une attention particulière de la part des chercheurs en management stratégique (Iansiti et Levien, 2004 ; Moore, 1993). Si les écosystèmes d'affaires déployés par des firmes comme SAP, Amazon, Boeing, Airbus ou Dassault Systèmes, ont été largement documentés dans la littérature, notamment francophone (Pellegrin-Boucher et Gueguen, 2005 ; Isckia et Lescop, 2009 ; Ronteau, 2009 ; Edouard et Gratacap, 2010), la question de l'origine de la forme organisationnelle « éco-systémique »

demeure relativement peu explorée. La majorité des travaux de recherche sur les écosystèmes d'affaires étudient principalement comment certains « modèles d'affaires » (*business models*) mis en œuvre par les firmes leur permettent d'innover et de s'approprier les revenus issus de l'innovation (Amit et Zott, 2001 ; Zott et Amit, 2010 ; Teece, 2010), avec une insistance particulière portée à l'analyse (i) des propriétés de leur architecture relationnelle et industrielle (Adner et Kapoor, 2010 ; Koenig, 2012) et (ii) du processus de décision conduisant la firme à déployer un écosystème d'affaires innovant (Mirna-Bonnardel et al., 2012).

Sans chercher à minimiser le rôle de la firme dans la conception d'un écosystème d'affaires, cette contribution propose de rechercher les conditions de son émergence dans un processus d'innovation antérieur à l'expression de la vision stratégique d'une firme. Conformément aux enseignements des théories du cycle de vie (Peltoniemi, 2011), cette contribution suggère qu'un écosystème se construit à partir d'une innovation de rupture (Ehrnberg, 1995). L'hypothèse formulée dans cette contribution est donc que les conditions favorables à l'émergence d'un écosystème générateur de valeur sont d'abord le résultat d'un processus d'innovation. À partir d'une étude de cas historique, cette contribution s'efforce d'analyser l'origine de l'écosystème moderne des technologies de l'information et de la communication (TIC). Le cas concerne le projet de déploiement du premier réseau de communication et de partage de ressources numériques entre ordinateurs géographiquement distants, qui a été conduit à la fin des années 1960 sous l'autorité de l'agence américaine *Advanced Research Project Agency* (ARPA) : ARPANET. Le cas a été choisi parce qu'il représente, rétrospectivement, l'une des inventions fondatrices des écosystèmes d'affaires modernes, ARPANET constituant l'un des réseaux fondateurs du réseau des réseaux : INTERNET. Le projet ARPANET offre ainsi un matériau empirique pertinent si l'on cherche à inférer les conditions favorables à l'émergence d'une forme organisationnelle dont l'existence repose sur les progrès enregistrés dans les domaines de l'informatique (Moore, 2006) et des réseaux d'information et de communication (Fransman, 2007).

Le reste de l'article est structuré comme suit. Il commence par souligner que la naissance d'un écosystème et, au-delà, de n'importe quelle forme d'organisation des activités et de coordination des transactions est le résultat d'un processus d'innovation disruptif. Ici, les théories du changement technologique et de la dynamique industrielle proposées par les

économistes offrent un cadre et des outils d'analyse utiles, complémentaires de l'approche proposée par le management stratégique. La méthodologie et le projet ARPANET sont ensuite présentés. Les sections qui suivent déroulent les résultats de l'étude de cas. Finalement, nous discutons les enseignements principaux de cette recherche.

2. CADRE CONCEPTUEL

L'hypothèse selon laquelle des organisations qui interagissent sur une base coopérative créent et partagent des connaissances qui génèrent de la valeur a conduit certains auteurs à développer des théories alternatives de la firme et du management de l'innovation. Parmi celles-ci, la théorie des écosystèmes d'affaires propose une vision renouvelée de la façon dont les firmes gèrent leurs processus d'innovation (Moore, 2006).

2.1. Écosystème d'affaires : éléments de définition

Un écosystème désigne un ensemble d'« acteurs entretenant des relations de coopération » (Koenig, 2012, p. 210) qui décident de former « une communauté stratégique d'intérêts ou de valeurs structurée en réseau autour d'un leader », celui-ci étant capable de « faire partager sa conception commerciale ou son standard technologique » (Torrès-Blay, 2000, cité par Pellegrin-Boucher et Gueguen, 2005, p. 110). En tant que forme d'organisation des activités et de coordination des transactions, un écosystème d'affaires se singularise du marché et de la hiérarchie pour (au moins) deux raisons :

1. Il repose sur un modèle de gouvernance à la fois ouvert et contrôlé (par une firme pivot), collaboratif et concurrentiel (stratégie de coopération), innovant et conservateur (ambidextrie). Ce modèle favorise en outre le dialogue entre les firmes et leurs clients, ceux-ci étant intégrés en tant que parties prenantes de l'écosystème.
2. Il admet une variété d'organisations partenaires, de toute taille et de tout statut, met en relation différentes industries, et identifie de multiples niches correspondant à des applications de la technologie en lien avec l'expression d'une demande réelle et/ou potentielle sur une variété de marchés et d'industries.

En établissant des connexions entre les différents acteurs de l'innovation (e.g., utilisateurs, fournisseurs, designers, ingénieurs, experts, scientifiques, managers...), cette forme organisationnelle alternative de la firme et du marché semble performante dans la mesure où elle facilite la collecte d'informations utiles concernant les préférences et les besoins des utilisateurs potentiels, les contraintes techniques liées aux usages des produits développés, ou encore les complémentarités entre produits de conceptions différentes. Ces caractéristiques offrent aux firmes partenaires, quel que soit leur statut au sein de l'écosystème, des ressources cruciales permettant de maintenir et de développer leur capacité d'innovation dans la durée. L'architecture relationnelle qui résulte de la constitution d'un écosystème d'affaires dépend alors du nombre d'organisations participantes, de la densité des liens qui les unissent, de la qualité de leurs contributions, du type d'innovation développée ou encore du modèle de gouvernance de l'écosystème adopté par les firmes participantes. Koenig (2012) par exemple distingue quatre types d'écosystèmes d'affaires en fonction du degré de réciprocité qui caractérise les relations entre organisations partenaires (et donc en fonction de leur nombre), et selon le degré de centralisation du contrôle des ressources clés de l'écosystème. En distinguant les systèmes d'offre et les plates-formes d'une part, les communautés de destin et les communautés foisonnantes d'autre part, la typologie proposée par Koenig (2012, p. 215) suggère que les écosystèmes d'affaires admettent une grande diversité, à la fois structurelle et relationnelle, et ne se limitent pas à l'archétype de la firme pivot autour de laquelle gravitent une multitude d'acteurs périphériques. Il n'y a donc pas un mais une infinité de types d'écosystèmes d'affaires formant un continuum de formes organisationnelles allant de l'organisation hiérarchique verticalement intégrée et centralisée, au marché atomistique décentralisé.

2.2. La firme, acteur central de la naissance d'un ecosysteme ?

Au-delà de la définition du concept, la question de son origine est fondamentale. Selon Moore (2006), l'histoire de la forme organisationnelle « écosystémique » plonge ses racines dans les années 1960 avec les progrès enregistrés dans l'industrie informatique. L'auteur identifie ainsi 8 étapes clés de l'émergence et de la diffusion de la forme écosystémique. Chaque étape met l'accent sur l'action stratégique des firmes leader du

secteur de l'informatique (e.g., IBM, Compaq, HP, Apple, Intel). Celles-ci ont progressivement établi les fondements technologiques, organisationnels et juridiques d'un écosystème aujourd'hui adopté au-delà des frontières de l'industrie informatique. Parmi ces éléments fondateurs, Moore (2006, pp. 38-51) considère comme essentiels la modularité des produits, la standardisation des interfaces, l'ouverture des architectures technologiques, l'intégration des départements marketing et R&D, le déploiement d'organisations flexibles, la mobilisation des communautés sur la base du volontariat, et le recours systématique aux tribunaux pour arbitrer les conflits entre firmes. Ces différents éléments désignent autant de capacités détenues par les firmes pour inventer des biens et services nouveaux et capter les revenus issus de leur commercialisation. Autrement dit, il s'agit de *capacités organisationnelles* que les firmes mobilisent afin de concevoir de nouveaux biens et services, d'intégrer des connaissances (architecturales, modulaires, etc.) sur la base desquelles repose leur développement, de gouverner les organisations déployées pour les développer, voire de cultiver certaines normes et valeurs culturelles propices à leur développement (Barbaroux, 2011). Or, si les capacités organisationnelles d'innovation sont utiles pour comprendre comment une firme conçoit, déploie, organise et pilote un écosystème, elles ne peuvent être confondues avec les conditions qui ont favorisé sa naissance. Étudier cette période capitale du cycle de vie d'un écosystème suppose de comprendre comment s'est opérée, à un moment donné du temps, la rencontre d'une invention dotée de fonctionnalités réelles et potentielles et d'un ensemble d'applications permettant la satisfaction de besoins réels et potentiels exprimés par la demande. Comprendre la naissance d'un écosystème suppose donc de situer l'argumentation au-delà de l'analyse du comportement de la firme, de ses capacités et de sa stratégie.

Ici, les travaux des économistes peuvent enrichir la perspective ouverte par les chercheurs en management stratégique. En particulier, les théories évolutionnistes et écologiques appliquées à l'étude des dynamiques industrielle et technologique suggèrent que les différentes phases du développement de l'industrie et de la technologie répondent à des logiques différentes (Hannan, 2005). Ainsi, les économistes montrent que les phases de naissance, de croissance, de maturité et de déclin des industries, des produits et des technologies (Peltoniemi, 2011) se caractérisent par un régime d'innovation et une dynamique industrielle spécifiques (Audrescht, 1991). La phase de naissance de l'industrie est en effet caractérisée par un régime d'innovation

exploratoire au sein duquel un grand nombre d'organisations de petite taille se fait concurrence à travers la proposition de solutions technologiques radicalement nouvelles (Nelson, 1995). Durant cette période initiale du cycle, les auteurs indiquent qu'il n'existe pas de design dominant permettant de lier l'invention avec un ensemble d'applications susceptibles de répondre aux besoins réels et potentiels exprimés par la demande. Lorsqu'une industrie nouvelle émerge, il n'y a ni firme pivot (au sens de Iansiti et Levien 2004), ni architecture stable (ouverte ou fermée), ni interfaces standardisées, ni communautés d'utilisateurs capables d'exprimer des préférences stables. La naissance d'une industrie nouvelle est le résultat d'une période d'expérimentations et d'exploration (Keppeler et Graddy, 1990) susceptible de produire une innovation de rupture. Or la description que Moore (1993, p. 77) propose des différentes phases de développement d'un écosystème d'affaires présuppose, dès la phase de naissance, l'existence d'une technologie mature, d'un système de protection de la propriété intellectuelle établi, d'un ou plusieurs marchés (ou clients) réels, et d'un ensemble de firmes partenaires et de concurrents potentiels. Les travaux des économistes enseignent pourtant que ce n'est qu'avec la phase de croissance (puis de maturité) que les firmes décident d'exploiter un corpus de connaissances et de technologies matures afin de satisfaire une demande qui n'est plus potentielle, mais réelle (régime routinier), reflétant un processus de légitimation à la fois institutionnel et cognitif (Aldrich et Fiol, 1994).

Cette contribution considère que la phase de naissance d'un écosystème répond à une logique différente de celle caractérisant son expansion (croissance) et son exploitation commerciale (maturité). Dès lors, l'étude de la naissance d'un écosystème suppose de mettre l'accent, non plus seulement sur la stratégie d'une (ou plusieurs) firme(s) pivot(s), mais sur le processus d'innovation qui précède la phase de croissance de l'écosystème. Nous suggérons ainsi qu'un écosystème est la conséquence d'une innovation ; c'est uniquement lorsqu'une invention se transforme en innovation de rupture qu'un écosystème nouveau peut se développer à travers l'action stratégique des firmes.

3. ARPANET : UNE ÉTUDE DE CAS HISTORIQUE

Cet article adopte une méthodologie fondée sur une étude de cas (Eisenhardt, 1989) en traitant du développement du premier réseau de

communication entre ordinateurs distants : ARPANET. Le cas a été choisi parce qu'il a nécessité la collaboration d'une variété de communautés d'acteurs publics et privés (chercheurs, entreprises de R&D, agences gouvernementales, entreprises de télécommunications) qui, sous la direction de l'*Information Processing Technology Office* (IPTO) de l'*Advanced Research Project Agency* (ARPA), ont contribué au développement du réseau. La méthodologie consiste en une étude de cas historique, le but étant de tirer les enseignements du projet ARPANET au regard de la question de recherche posée, à travers la reconstruction de son histoire. Forbes et Kirsch (2011), s'intéressant aux conditions d'émergence des industries, considèrent que l'adoption d'une méthodologie historique permet de pallier certaines difficultés associées à l'objet d'étude. Les auteurs évoquent notamment la « brièveté de ces périodes et la rapidité avec laquelle elles surviennent » qui rendent difficiles la collecte des données primaires et l'exploration de certaines questions théoriques (Forbes et Kirsch, 2011, p. 596). Le choix d'utiliser des archives historiques apparaît alors pertinent dans la mesure où celles-ci ont « une portée plus large que les données associées à n'importe quelle autre étude », les archives historiques étant en outre « plus facilement accessibles que les bases de données propriétaires habituellement utilisées dans la recherche sur les organisations » (Forbes et Kirsch, 2011, p. 596).

3.1. Sources de données

Trois sources de données secondaires ont été exploitées : des ouvrages détaillant l'histoire du programme ; des publications académiques dans les domaines des réseaux de communication et du management de l'innovation ; des archives ouvertes proposant un ensemble de documents originaux (institutionnels et/ou scientifiques) relatifs au projet ainsi que des transcriptions d'entretiens menés auprès d'acteurs clefs du projet par des journalistes spécialisés et des historiens des sciences et techniques. L'analyse de la littérature portant sur l'histoire du projet ARPANET (première source de données) a permis d'obtenir une description riche et circonstanciée de l'industrie naissante des réseaux de communication. Dans les années 1960, cette industrie est encore embryonnaire et peut être définie comme un système sociotechnique composé de diverses organisations privées et publiques de recherche et de R&D composées de scientifiques et d'ingénieurs de haut niveau qui collaborent, échangent des connaissances

et participent à des projets sous la responsabilité d'agences gouvernementales qui, souvent, sont liées au Département de la Défense américain. L'étude des publications académiques dans le domaine des sciences et technologies de communication en réseau et du management de l'innovation (deuxième source de données) a permis d'identifier les inventions majeures dans le domaine des architectures et des composants (e.g., protocoles et interfaces, routage et formatage des données, etc.). Les travaux académiques dans le domaine du management de l'innovation ont permis d'accéder aux arguments théoriques développés par les auteurs s'intéressant au management des innovations dans les industries informatique et télécommunications. Finalement, les archives (troisième source de données) ont été très précieuses dans la mesure où elles ont permis d'accéder à des documents et des rapports originaux ainsi qu'à des interviews d'acteurs clefs du projet (e.g., le responsable du projet Lawrence Roberts interviewé en 1994). Cette dernière source, notamment les archives d'INTERNET disponible en ligne (<http://www.archive.org>), offre des informations utiles à propos des capacités, des responsabilités et des difficultés rencontrées par les différents groupes d'acteurs participant au projet.

3.2. Analyse des données

L'analyse des données a suivi un processus en trois étapes. La première étape établit une classification des sources selon leur forme et leur contenu. Cette classification préliminaire associe les différents types de données collectées (e.g., monographies historiques, publications académiques, rapports institutionnels, interviews et témoignages) avec un contenu spécifique. Trois types de contenu ont été considérés :

- Descriptif. Un contenu descriptif offre des éléments de connaissance factuels relatifs à certains attributs – technologique, organisationnel, institutionnel – du projet d'innovation.
- Illustratif. Un contenu illustratif propose des éléments de connaissance qui sont directement ou indirectement liés à la problématique de la recherche.
- Analytique. Un contenu analytique apporte des éléments de connaissance élaborés et approfondis relatifs à certains attributs du projet d'innovation.

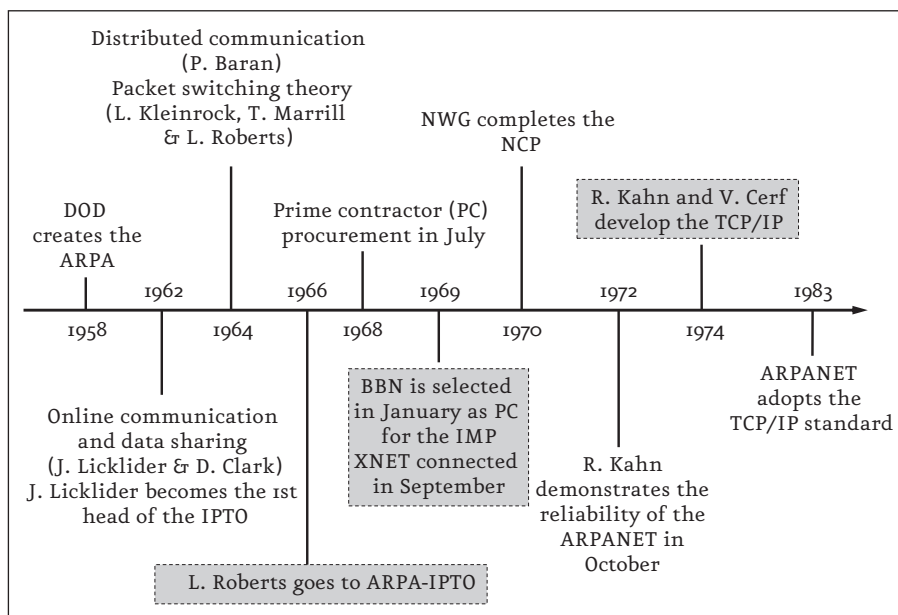
La deuxième étape établit des connexions entre les données préalablement classées en utilisant trois critères :

- Chronologie. Éléments relatifs à la chronologie historique et à l'identification des événements clefs du projet ARPANET.
- Technologie. Éléments relatifs aux caractéristiques technologiques des divers composants du réseau et de son architecture globale.
- Parties prenantes. Éléments relatifs à l'identité, au rôle, à la stratégie et aux compétences des différents acteurs et groupes participant au développement du projet ARPANET.

Si les deux premières étapes permettent d'obtenir une cartographie des données selon leur forme (*e.g.*, publication académique), leur contenu (*e.g.*, descriptif) et leur objet (*e.g.*, tel composant du réseau), la troisième étape consiste à interpréter les données ainsi traitées et à organiser la présentation des résultats selon trois thèmes : (i) l'identification des problèmes scientifiques et techniques principaux ; (ii) la sélection des acteurs capables de les résoudre et l'établissement de relations entre eux ; (iii) les processus de gestion des connaissances relatives au développement et aux usages de la technologie ARPANET.

3.3. Une brève histoire du projet ARPANET

Avec l'intensification de la Guerre froide dans les années 1950, le financement des travaux de recherche dans le domaine des technologies de l'information et de communication (*e.g.*, ordinateurs, réseaux, satellites) est devenu une priorité du gouvernement américain. L'agence ARPA (*U.S. Advanced Research Project Agency*) a été créée en 1958 par le Département de la Défense américain pour piloter les projets qu'il finance et maintenir la supériorité technologique des forces armées américaines en matière de communication, de commandement et de conduite des opérations. L'une des réalisations les plus abouties de l'agence ARPA concerne le développement du premier réseau de communication distribué et de partage des ressources informatiques : ARPANET. La figure 1 présente une vue synthétique des principaux événements marquant l'histoire du projet.

Figure 1. Quelques dates clés du projet ARPANET


Le concept d'interactions sociales supportées par des réseaux d'ordinateurs interconnectés sur de longues distances émerge au début des années 1960. En 1962, Joseph C. R. Licklider et David D. Clark, tous deux chercheurs au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), envisagent pour la première fois un ensemble d'ordinateurs interconnectés permettant d'accéder rapidement aux données et aux programmes stockés localement à partir de n'importe quel nœud du réseau ainsi formé. Très rapidement, Licklider devient le premier directeur du bureau chargé du programme de recherche sur les technologies informatiques et de télécommunications au sein de l'ARPA : l'*Information Processing Techniques Office* (IPTO). Alors en poste au sein de l'IPTO, il défend le concept d'un réseau de communication « décentralisé » composé d'ordinateurs interconnectés comme étant à la fois plus performant et plus fiable que les concepts concurrents dits « centralisés » ou « en étoile » (Leiner *et al.*, 1997). À cette époque, les centres de recherche et/ou les entreprises capables de connecter des ordinateurs physiquement distants afin de partager des ressources sont peu nombreux (BBN, 1981, II-5). À titre d'illustration, le chargement de données entre ordinateurs séparés géographiquement nécessite des compétences et savoir-faire que seuls deux acteurs maîtrisent : l'université de Los Angeles (UCLA, *Western Data Processing Center*) et les Laboratoires Bell. En 1964, Paul Baran et ses

collègues chercheurs au sein de la *Rand Corporation* (Santa Monica), un *think tank* affilié au département de la Défense américain, explorent les conditions du déploiement de réseaux de communication hautement fiables et développent le concept de communication distribuée (Baran, 1964a&b ; Boehm et Baran, 1964). Deux ans plus tard, Lawrence Roberts et Thomas Marill (*Computer Corporation of America CCA*, Cambridge Massachusetts), appliquent la théorie des « packet switching » de Leonard Kleinrock (MIT) et démontrent empiriquement la faisabilité de communications à distance de « paquets » d'informations plutôt que des circuits (Kleinrock, 1961, 1964). Cette expérimentation (Marrill, 1966 ; Roberts et Marrill, 1966) montre que les ordinateurs connectés peuvent travailler ensemble en temps réel et de façon synchrone, lancer des programmes informatiques en parallèle et rechercher des données stockées à distance sur d'autres ordinateurs. À la fin de l'année 1966, Lawrence Roberts rejoint l'ARPA pour développer le projet de réseau de communication de l'agence. Il publie son « plan » pour l'ARPANET dans un mémorandum intitulé « Multiple Computer Networks and Intercomputer Communication » qu'il présente lors de la conférence ACM (*Association for Computing Machinery*) de Gatlinburg en octobre 1967.

En 1969, Lawrence Roberts devient responsable d'un programme financé par l'ARPA-IPTO intitulé « Resource Sharing Computer Networks » dont les objectifs généraux consistent à développer les technologies et le savoir-faire dans le domaine de la mise en réseau des ordinateurs, et à améliorer la recherche appliquée en informatique (BBN, 1981, II-2). Plus concrètement, ce programme a pour but de financer et de coordonner les efforts de recherche dans les domaines des réseaux et de la communication distribuée, et de sélectionner les industriels capables de développer l'architecture du futur réseau ARPANET (BBN, 1981, II-10). Au début de l'année 1969, le gouvernement américain publie l'appel d'offres qui marque le lancement officiel du projet. L'entreprise Bolt Beranek et Newmann (BBN) est choisie pour développer les interfaces. Les interfaces sont des composants critiques du réseau puisqu'ils permettent à des sites hôtes distincts de communiquer via une simple ligne téléphonique. En août 1969, sept mois après avoir remporté l'appel d'offres, BBN achève le développement des interfaces IMP (*Interface Message Processor*). En septembre 1969, un premier protocole de communication « hôte-interface » (Host-IMP) est défini conjointement par les chercheurs de l'université de Californie (UCLA) et BBN. Leonard Kleinrock (UCLA) reçoit alors la première interface IMP et devient le premier nœud de ce qui constitue le sous-réseau expérimental

« ARPANET » (SUBNET). Un mois plus tard, Douglas Engelbart de l'université de Stanford (*Stanford Research Institute, SRI*) est sélectionné pour devenir le deuxième nœud du réseau en charge du recueil et de la mise en ligne des données relatives à son fonctionnement. Ces données proviennent directement des interfaces IMP et du *Network Measurement Center* (NMC-UCLA). Deux sites supplémentaires sont ensuite sélectionnés pour compléter l'architecture du sous-réseau expérimental : il s'agit des laboratoires de Glen Culler et Burton Fried de l'université de Santa Barbara (UCSB) et de Bob Taylor et Ivan Sutherland de l'université de l'Utah (UCU). Le choix des nœuds du réseau expérimental (SUBNET), bien que crucial, est avant tout gouverné par des considérations pragmatiques et techniques. En décembre 1970, le protocole de communication du réseau ARPANET, le *Network Control Protocol* (NCP), est finalisé par le *Network Working Group* (NWG) qui rassemble des représentants de l'IPTO, des sites hôtes (e.g., UCLA, SRI, UCSB, UCU) et des entreprises spécialisées dans la recherche appliquée (e.g., BBN).

À partir de cette date, des ordinateurs supplémentaires sont rapidement connectés et l'essentiel des efforts de R&D – mené par le NWG – consiste alors à standardiser les protocoles de communication et à développer les technologies logicielles facilitant l'accès et l'utilisation du réseau pour un nombre croissant d'acteurs. En octobre 1972, une démonstration publique du réseau est organisée à Washington par l'IPTO. La capitale américaine accueille la première *International Conference on Computer Communications* (ICCC). Robert Kahn (*Stanford Research Institute, SRI*) installe une interface IMP dans un hôtel de la ville. Plus de quarante terminaux informatiques sont installés permettant l'accès à des douzaines d'ordinateurs dispersés à travers tout le pays (Roberts, 1985). Chaque site est invité à participer. Une simulation portant sur le contrôle du trafic aérien entre sites distants est notamment organisée avec succès, démontrant l'utilité du réseau, la faisabilité des communications à distance et la fiabilité de la théorie des « packet switching ». Dès lors, les utilisateurs du réseau ARPANET commencent à développer des applications commerciales. En 1974, un langage commun permettant de connecter les réseaux (« Internetting ») est proposé par une équipe de scientifiques de Stanford sous la supervision de Robert Kahn et de Vinton Cerf. Ce langage, connu sous le nom de *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), permet à différents réseaux de partager des ressources et de communiquer via des passerelles. En 1983, ARPANET, bientôt suivi par d'autres réseaux spécialisés (e.g., NSF-NET le réseau de la *National Science Foundation*) adopte le standard TCP/IP : c'est la naissance officielle d'INTERNET (Kleinrock, 2008).

4. RÉSULTATS

Les sections suivantes présentent trois résultats de l'étude de cas qui sont autant de conditions favorables à la naissance d'un écosystème : (i) le caractère exploratoire du projet, (ii) la diversité des organisations parties prenantes, (iii) le développement d'un modèle de gouvernance ouvert, de type communautaire, qui intègre les utilisateurs et les clients (potentiels) de la nouvelle technologie.

4.1. Un projet de recherche exploratoire

ARPANET est avant tout un projet de recherche dont la finalité est de démontrer expérimentalement la pertinence des théories de la communication et du partage des ressources entre ordinateurs géographiquement séparés. À l'orée des années 1960, l'informatique n'est pas encore une discipline académique mature, le nombre d'ordinateurs est très limité et la communauté des chercheurs en sciences informatiques est encore embryonnaire. En 1967, un groupe de chercheurs est réuni par Lawrence Roberts pour discuter des spécifications du futur réseau. Ce groupe compte une dizaine de membres seulement (dont les représentants des quatre sites de ce qui deviendra le sous réseau expérimental, SUBNET ; cf. figure 2). Lors des premières réunions du groupe, plusieurs décisions importantes sont prises. Les participants définissent notamment des critères de fiabilité et de performance, choisissent une architecture décentralisée (i.e., contrôle distribué), s'accordent sur la nécessité de développer des logiciels de test et de mesure, et spécifient la structure et la taille du réseau initial. Léonard Kleinrock se souvient :

« Nous avons spécifié que le temps de réponse ne devait pas excéder une demi-seconde. Nous avons rapidement compris que nous pouvions obtenir un temps de réponse de deux dixièmes de seconde en utilisant les lignes de 56 KBPS [KiloBitPerSecond] dont nous disposions. C'est là que nous avons décidé ça. Alors j'ai tapé du poing sur la table et dit : nous avons besoin de logiciels de mesure ! Si ça doit devenir une expérience, nous devons faire des mesures. Et ça a continué. Nous avons convenu d'un critère de fiabilité, et spécifié la nature et le format de ce réseau. [...] Il était également clair que nous ne voulions pas de nœud central qui, s'il était défaillant, mettrait le réseau par terre. Nous avons choisi de distribuer le contrôle à travers le réseau » (Entretien avec Judy O'Neill, Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, le 3 avril 1990).

Ces réunions liminaires sont suivies par plusieurs autres au cours de l'année 1968-1969. Au cours de ces réunions, les participants identifient un certain nombre de défis scientifiques et techniques incontournables soulevés par le projet ARPANET. Sept problèmes techniques majeurs se posent avant même la constitution du réseau expérimental (BBN, 1981, II-12 – II-18) : topologie, contrôle des erreurs, interfaçage des sites hôtes, passerelles, contrôle à distance, routage, protocole et langage (cf. Barbaroux, 2012, p. 241).

Dans ce contexte d'expérimentation et de validation des concepts, la division des tâches et l'attribution des responsabilités entre les divers acteurs participant au projet dépendent essentiellement de leurs compétences respectives en matière de résolution de problèmes. De plus, la hiérarchisation des problèmes détermine, de fait, la nature des relations entre les acteurs. Par chance, l'expertise scientifique et technique indispensable au déploiement du réseau expérimental est connue de l'agence ARPA dans la mesure où la majorité des chercheurs sélectionnés pour composer l'architecture initiale du réseau a préalablement travaillé pour le gouvernement américain. Ainsi, la plupart des chercheurs (Kleinrock, Sutherland et Engelbart notamment) ont déjà collaboré avec les directeurs successifs de l'ARPA-IPTO (Licklider et Roberts en particulier). Comme le souligne Léonard Kleinrock,

« La raison pour laquelle j'ai obtenu le contrat initialement était que Larry [Lawrence Roberts] et moi nous connaissions déjà, nous nous respections, et cette chose ARPANET devait avancer » (Entretien avec Judy O'Neill, ibid.).

Il existe donc une forte proximité cognitive et sociale entre les responsables du projet au niveau fédéral d'un côté, et les acteurs clefs de son développement de l'autre. Dès lors, il apparaît que les relations entre l'agence IPTO, les communautés de chercheurs et les entreprises de R&D ne sont pas exclusivement définies sur une base contractuelle, mais supportées pareillement par des relations informelles et interpersonnelles. À ce propos, Léonard Kleinrock précise :

« Nous travaillions directement avec BBN. Lorsque nous avons un problème avec BBN, on se plaignait auprès de Larry [Lawrence Roberts] afin qu'il intervienne et s'assure que le problème était résolu. Il ne s'agissait pas d'une relation formelle nécessitant toute sorte de paperasse. C'étaient des pairs, des chercheurs et des

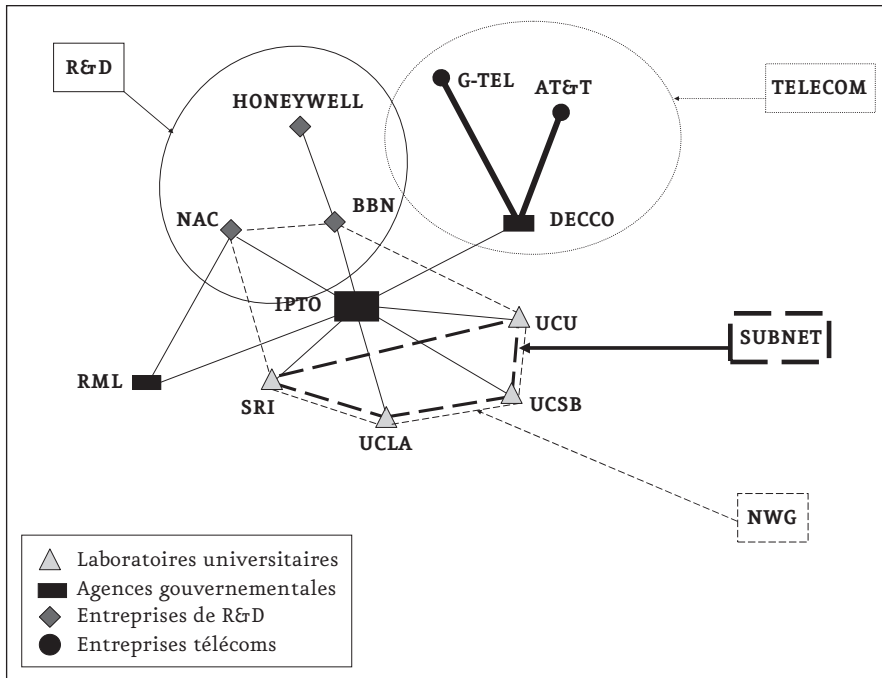
développeurs. En ce sens, c'était un environnement amical et efficace » (Entretien avec Judy O'Neill, *ibid.*).

Au-delà des différences juridiques séparant les centres de recherche universitaires et les entreprises de R&D, leurs personnels entretiennent des relations directes et partagent des valeurs communes, formant ainsi une communauté qui transcende les frontières de leurs organisations respectives.

4.2. Une diversité d'organisations partenaires

La figure 2 présente l'architecture organisationnelle déployée par l'IPTO pour développer le projet ARPANET. Quatre catégories d'acteurs sont mobilisées : des communautés de chercheurs (e.g., UCLA, SRI), des entreprises de R&D (e.g., BBN, NAC), de grandes compagnies industrielles et commerciales (e.g., Bell, AT&T) et un ensemble d'agences gouvernementales offrant des services spécialisés (e.g., IPTO, RML, DSS-W).

Figure 2. Architecture organisationnelle du projet ARPANET



Le projet ARPANET requiert ainsi la coopération d'une variété d'organisations de taille et de statut différents, organisée autour de l'agence ARPA et de son bureau IPTO. Les agences gouvernementales, civiles et militaires, en contrôlent le développement et représentent des utilisateurs majeurs du réseau ; les communautés de chercheurs assurent son développement, codifient les savoirs associés aux usages du réseau, et accélèrent sa diffusion ; les entreprises de R&D fournissent des composants et des services critiques ; enfin, les firmes commerciales du secteur des télécommunications mettent à disposition l'infrastructure physique du futur réseau.

4.2.1. Les agences gouvernementales

L'acteur central en matière de gouvernance et de leadership, tant organisationnel que technologique, est l'IPTO. En tant que représentant de l'ARPA, l'IPTO « a pris un certain nombre de décisions importantes relevant de l'architecture du réseau [...] l'IPTO définissait également la politique générale du réseau et décidait qui devait joindre le réseau » (BBN, 1981, III-26). Comme précisé par Leonard Kleinrock,

« L'IPTO était un acteur de premier plan pour les États-Unis en matière de développement de la technologie informatique grâce à une réflexion d'avant-garde et... je dirai... un financement héroïque de ce qu'ils estimaient avoir de la valeur. Leur credo était des risques élevés, des gains élevés. [...] ARPANET a été l'une des plus grandes expériences scientifiques, je pense. Cela a complètement bouleversé les façons de faire dans le commerce, le gouvernement, l'industrie, les sciences, etc. » (Entretien avec Judy O'Neill, ibid.).

Un certain nombre d'agences gouvernementales jouent également un rôle essentiel en matière de soutien logistique, juridique et technique pour le compte de l'IPTO. La *Defense Science and Security-Washington* (DSS-W), une agence chargée des achats et de l'approvisionnement pour le département de la Défense américain, offre ainsi son expertise en matière de négociation contractuelle et de relations avec les industriels. Le champ d'action de DSS-W inclut également la gestion des relations techniques avec certains fournisseurs de composants importants. Ici, le *Range Measurements Laboratory* (RML) situé sur la Patrick Air Force Base (Floride) de l'Armée de l'Air américaine, propose des compétences de soutien logistique, mais également juridiques complémentaires de celles offertes par la

DSS-W. Finalement, la *Defense Commercial Communication Office* (DECCO) assiste l'IPTO dans ses relations avec les entreprises de télécommunication chargées de fournir l'infrastructure télécoms du réseau. DECCO assure l'ensemble des négociations contractuelles avec les compagnies locales et nationales de téléphone, obtenant les capacités de larges bandes passantes qui ont permis la montée en puissance rapide du réseau dans les années 1970.

Il apparaît donc que le projet ARPANET a nécessité les efforts conjoints de plusieurs agences gouvernementales placées sous la responsabilité de l'IPTO. Ces agences, détentrices de compétences spécifiques, ont permis à l'IPTO de superviser les différentes phases de développement du réseau, de contrôler les coûts et d'assurer la gouvernance globale du projet dans ses multiples dimensions technique, scientifique, juridique, économique et financière. En tant que telles, les compétences offertes par les agences gouvernementales ont représenté des ressources internes importantes pour le département de la Défense américain, et cela, dans des domaines critiques pour le succès du projet.

4.2.2. *Les centres de recherche*

Au milieu des années 1960, rares sont les centres de recherche ou les entreprises capables de connecter des ordinateurs physiquement distants dans le but d'expérimenter le partage de ressources (BBN, 1981, I-5). Seuls l'université de Californie (UCLA) et les Laboratoires Bell sont parvenus à télécharger des ressources à partir d'ordinateurs identiques connectés par des lignes de téléphone. Dans ce contexte, l'IPTO a estimé que

« La meilleure façon de développer les techniques permettant de faire face aux multiples défis techniques soulevés par le développement du réseau consiste à impliquer les talents des centres de recherche dans des activités prototypes » (BBN, 1981, II-2).

Toutefois, lorsque le projet est officiellement lancé en 1969, l'IPTO ne dispose que d'un nombre limité d'options en matière de choix des premiers « nœuds » du réseau. Interviewé en 1994, Lawrence Roberts (en charge du projet ARPANET initial), précise à ce sujet que

« Les premiers sites devant être connectés impliquaient une décision difficile. Nous savions que nous avions besoin d'au moins quatre sites pour avoir un bon test.

À ce moment-là, nous avons identifié un certain nombre de sites [...] que nous pouvions connecter... mais de nombreux sites n'étaient pas d'accord pour être les premiers. Donc on s'est retrouvé avec un nombre limité de sites correspondant à nos attentes. La première d'entre elles est que nous avons besoin de commencer les tests immédiatement. Donc le choix de Kleinrock à UCLA s'est imposé. C'est probablement le seul qui se soit imposé absolument. Il devait faire tous les tests du réseau... afin de découvrir la théorie implicite derrière, et faire fonctionner tout ça à l'avenir. Ensuite, nous avons choisi Engelbart qui avait le Resource Center. Nous voulions le mettre en ligne et le faire tourner dès que possible. Ainsi, on avait le centre de documentations en ligne. Par la suite, à l'université de l'Utah, ils étaient très enthousiastes et, surtout, compatibles. [...] Les gens de l'université de Santa Barbara étaient également enthousiastes et coopératifs. L'ensemble étant suffisamment localisé, nous pouvions le faire sans communications coûteuses. [...] Donc, on a commencé par UCLA, puis SRI, et on a ajouté les deux sites les plus proches qui pouvaient nous aider » (Internet Archive, Caribiner Group, Lawrence Roberts, 15 août 1994, Enregistrement n° 2).

Deux groupes de chercheurs sont donc particulièrement impliqués dans le déploiement du premier réseau expérimental. Le premier groupe, dirigé par Léonard Kleinrock (UCLA) constitue le premier nœud du réseau expérimental. Kleinrock est désigné responsable de la définition, du développement et de l'évaluation des protocoles et des procédures. Kleinrock « avait en charge l'analyse et la simulation de la performance du réseau ARPANET, ainsi que toutes les mesures basées sur les statistiques collectées par le programme IMP » (BBN, 1981, III-39). Léonard Kleinrock (UCLA) est ainsi désigné responsable du développement et de l'animation du « Network Measurement Center » (NMC) dont la finalité consiste à mesurer et à optimiser la performance du réseau. Le second groupe de chercheurs à jouer un rôle majeur lors des premières phases du projet est dirigé par Douglas Engelbart (SRI, Stanford). Deuxième nœud du réseau expérimental, ce groupe est responsable de la mise en œuvre du « Network Information Center » (NIC). Son objectif est de collecter les données du réseau, et de développer les outils logiciels permettant le stockage et la dissémination des données.

Les communautés de chercheurs impliquées dans le projet ARPANET sont ainsi principalement mobilisées sur des tâches de résolution de problèmes impliquant la création, la codification et la diffusion de connaissances à

la fois architecturale (e.g., topologie, tests et analyses de la performance du réseau) et modulaire (e.g., langage et protocoles, logiciels d'interfaçage et algorithmes de routage). La communauté académique (au sens large) contribue également au projet en offrant des compétences et une expertise technique en tant que concepteurs et, en même temps (futurs) utilisateurs du réseau. Ces compétences et cette expertise ont constitué pour l'IPTO un ensemble de ressources externes déterminantes, au sens propre, pour le succès du projet.

4.2.3. Les entreprises de R&D

Même si elles ont joué un rôle capital, les équipes de chercheurs ne peuvent pas communiquer sans interfaces robustes. La spécification des interfaces revêt donc un caractère bien plus critique techniquement. Son importance est telle qu'elle oriente significativement la division du travail et la définition des responsabilités entre les participants, au moins pendant la phase de déploiement du sous-réseau expérimental (BBN, 1981, III-20). Après avoir lancé un appel d'offres respectant les spécifications initialement adoptées par les participants aux premières réunions (e.g., Kleinrock, Engelbart, Roberts et Kahn notamment), l'IPTO désigne une entreprise de R&D pour développer les interfaces : Bolt Beranek et Newmann (BBN). Celle-ci soustraite une partie du travail à l'entreprise Honeywell, chargée de fournir la machine qui devait servir d'interface physique. Ce choix confère une position particulière à BBN dans l'architecture organisationnelle mise en place par l'IPTO. Même si ce dernier assume les principales décisions concernant la politique de régulation du réseau ou la sélection des sites, tandis que les centres de recherche assurent l'essentiel des tâches exploratoires, la responsabilité des opérations courantes de fonctionnement et de maintenance est confiée à BBN qui, dès 1969, « assume la quasi-totalité des tâches de fonctionnement au quotidien [...] sans aucune supervision directe de la part de l'IPTO » (BBN, 1981, III-26). Dès lors, BBN met en œuvre le *Network Control Center* (NCC) chargé d'identifier, de diagnostiquer et de résoudre les problèmes de gestion du réseau¹. L'autre entreprise de R&D ayant joué un rôle majeur en matière de sélection des sites et d'optimisation des liens entre

1 À noter qu'en 1975, une fois le réseau suffisamment mature, sa gestion et sa maintenance quotidienne sont confiées à une autre agence gouvernementale, la *Defense Communication Agency* (DCA), marquant ainsi un changement de modèle de gouvernance du réseau.

eux (routage et optimisation de la topologie du réseau) est la *Network Analysis Corporation* (NAC). Créée à la fin des années 1960 par Howard Franck, Ivan Frisch (Berkeley) et Steve Carr (SRI), cette entreprise privée de R&D s'est spécialisée dans l'optimisation des réseaux. Leonard Kleinrock se souvient,

« Vers 1971, Larry [Lawrence Roberts] était chez moi, et je lui ai suggéré de rencontrer Howie [Howard] Frank afin qu'il l'assiste dans ce problème de conception topologique du réseau. Donc je les ai fait se rencontrer et ça a collé. Ensuite, Larry a attribué à NAC le contrat pour la conception et l'optimisation de la topologie du réseau » (Entretien avec Judy O'Neill, *ibid.*).

Le design et l'optimisation topologique du réseau consistent à sélectionner les sites hôtes, à établir des liens entre eux et à reconfigurer le réseau lorsqu'un nouveau site joint le réseau. Selon le rapport final sur le projet ARPANET paru en 1972, « avec BBN, NAC a eu un rôle très important en matière de planification et d'ingénierie du réseau ARPANET » (ARPANET Study Final Report, 1972). En plus de l'optimisation topologique, NAC a également développé un certain nombre d'outils logiciels permettant au NMC et à l'IPTO de planifier l'évolution de l'architecture du réseau dans le temps et d'en anticiper les défaillances éventuelles.

Ainsi, les entreprises de R&D choisies pour participer au développement du projet ont offert des ressources externes spécialisées dans la résolution de problèmes, l'exploitation et la maintenance du réseau. Ces ressources, combinées à celles offertes par les centres de recherche et les agences gouvernementales, ont largement contribué à la mise en place du réseau expérimental et facilité son développement.

4.2.4. Les entreprises de télécommunication

Dernière catégorie d'acteurs, les compagnies de téléphone comme AT&T, Bell et d'autres compagnies régionales (e.g., *General Telephone* en Californie) ont la responsabilité de fournir l'architecture physique du réseau (e.g., les circuits, les données et les lignes), de loin la composante la plus coûteuse du projet. Ces compagnies interagissent principalement avec l'agence DECCO qui négocie pour le compte de l'IPTO l'obtention des services désirés avec, en prime, des réductions tarifaires significatives. Si les compagnies de téléphone fournissent et assurent la coordination des diverses infrastructures de télécommunication locale, nationale et internationale sur laquelle repose le réseau,

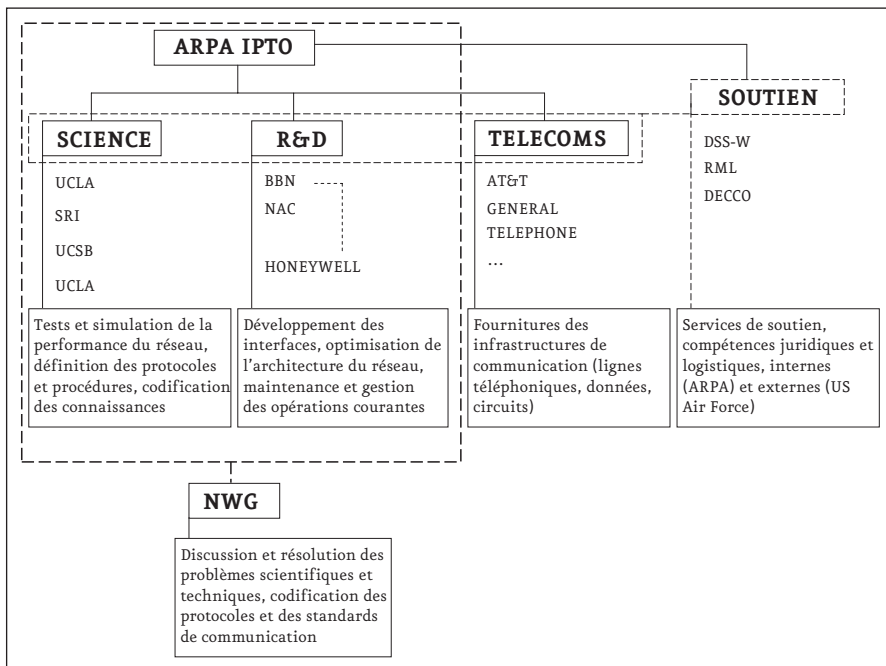
en aucun cas ces compagnies ne participent aux activités d'innovation en tant que telles. Ce point est confirmé par Leonard Kleinrock :

« On a dit que l'industrie des communications n'avait absolument rien fait dans le développement du réseau de l'ARPA [...] et dans l'ensemble, c'était vrai [...] IBM a abandonné [...] AT&T n'était pas impliqué en tant qu'organisation. [...] Cela leur a pris des décennies pour parvenir à développer une technologie comparable à celle d'ARPANET » (Entretien avec Judy O'Neill, *ibid.*).

Les entreprises de télécommunication ont finalement offert des ressources externes importantes à l'IPTO, mais elles n'ont pas contribué à la création de connaissances nouvelles, que ce soit dans le domaine de l'architecture ou des composants du réseau. En revanche, ces entreprises ont largement participé à l'exploitation commerciale du réseau et à son extension rapide au cours des années 1970 et 1980.

La figure 3 présente les domaines de compétences associées à chaque catégorie d'acteurs participant au projet ARPANET.

Figure 3. Architecture organisationnelle ARPANET par domaines de compétences



4.3. Une communauté de gestion des savoirs

Dans les premières années du projet ARPANET, la connaissance requise pour se connecter et utiliser le réseau est disséminée et partagée de façon informelle entre les utilisateurs. Léonard Kleinrock note ainsi

« La façon d'utiliser ARPANET n'était pas facile, mais son usage s'est développé avec la migration des gens d'un site à l'autre (typiquement lorsqu'ils changeaient d'emploi). Ils souhaitaient utiliser le software installé sur leurs anciens postes et ils savaient comment faire » (Entretien avec Judy O'Neill, *ibid.*).

Avec l'augmentation du nombre d'ordinateurs communiquant via le réseau, les problèmes liés aux protocoles ont peu à peu gagné en complexité et nécessité un effort de standardisation. Il est rapidement devenu indispensable de définir des standards génériques afin de réduire au minimum les coûts d'accès au réseau (BBN, 1981, III-58). Tel était le but du *Network Working Group* (NWG) que de spécifier les protocoles techniques et de codifier les standards de communication *host-to-host* en vue de faciliter la diffusion et l'adoption du réseau.

4.3.1. La création du *Network Working Group* (NWG)

À l'été 1968, Elmer Shapiro (SRI) est mandaté par l'IPTO pour explorer les solutions techniques aux problèmes de communication *host-to-host* (BBN 1981, III-45). Quelques mois plus tard, en février 1969, « la première rencontre entre les représentants des sites hôtes et ceux du NMC et de NAC, en présence du fournisseur des IMP, se tint chez BBN [...] ils s'appelèrent eux-mêmes le *Network Working Group* » (BBN 1981, III-45-46). En avril 1969, le NWG est composé de Steve Carr (Utah), Jeff Rulifson et Bill Duvall (SRI), ainsi que de Steve Crocker et Gerard Deloche (UCLA). Des copies des notes du groupe sont envoyées à six personnes pour validation : Robert Kahn (BBN), Lawrence Roberts (ARPA), Steve Carr (UCLA), Jeff Rulifson (Utah), Ron Stoughton (UCSB) et Steve Crocker (UCLA). Dans la mesure où l'appartenance au NWG n'est pas figée, sa composition évolue au fil du temps avec le développement du réseau.

L'objectif initial du NWG est de promouvoir des discussions informelles entre chercheurs dans le but d'affiner la moindre intuition, suggestion

ou critique susceptible de faciliter le développement et l'usage du réseau. Fondé sur les valeurs d'ouverture d'esprit et de pensée critique, le groupe encourage ainsi la participation des utilisateurs et des développeurs aux tâches de formulation et de résolution des problèmes, et de partage des bonnes pratiques. Le NWG émerge ainsi de la répétition de rencontres informelles entre membres de la communauté des informaticiens engagés dans une activité de recensement des questions de recherche qui leur apparaissent essentielles au regard du développement d'un concept robuste de réseau de communication. Steve Crocker, qui joue un rôle central aux premières heures du NWG, note ainsi

*« Les positions philosophiques sans exemples précis, les suggestions relatives à l'implémentation de solutions techniques dépourvues d'introduction ou d'explications, et les questions explicites non accompagnées de réponses éprouvées **sont toutes acceptables** »* (RFC, 3, 10, 24, 27 Et 30, p. 1 ; Gras ajouté par nous).

4.3.2. Les notes du NWG

Les notes de travail du NWG commencent à circuler à l'ensemble des participants. Leur édition donne naissance à la référence principale en matière de documentation ARPANET appelée les "Request for Comments" (RFC). Les deux premières notes produites par le NWG (RFC1 et RFC2) concernent la spécification du protocole *host-to-host*. Elles sont rédigées respectivement par Steve Crocker (UCLA) et Bill Duval (SRI) en avril 1969. Le même mois, Steve Crocker écrit la troisième note (RFC3) qui stipule les conventions de rédaction ainsi que la philosophie générale du groupe et des RFC. Comme mentionné dans l'introduction de la note 3 (RFC3) :

“Le Network Working Group (NWG) est impliqué dans les logiciels d'hôtes, les stratégies liées à l'usage du réseau, et les expérimentations initiales du réseau. La documentation relative aux efforts du NWG aura la forme de notes comme celle-ci. Les notes pourront être rédigées à partir de n'importe quel site du réseau, par n'importe quel utilisateur du réseau, et être incluses dans cette série” (RFC, 3, p. 1).

La note RFC3 définit également la forme que chaque note RFC doit respecter en vue d'être stockée, indexée et diffusée facilement. Les notes initiales du NWG doivent inclure les informations suivantes : un numéro de série (assigné par Steve Crocker), les noms et affiliation de l'auteur, une

date et un titre. Les conventions de la documentation proposées dans la note RFC₃ sont révisées et mises à jour régulièrement (cf. RFC, 10, 24, 27 et 30), notamment parce que la composition du NWG évolue rapidement avec la diffusion du réseau. Plus la taille du réseau augmente, plus la variété des notes RFC devient significative. Il est alors nécessaire de catégoriser les notes de façon plus fine, d'identifier les sujets de discussion de façon plus précise et d'indiquer exactement le statut de la note (e.g., obsolète, ou en cours). Écrite par Peter Karp (MITRE), la note RFC₁₀₀ propose à la communauté des utilisateurs le premier guide du NWG/RFC. L'auteur précise ainsi que le guide « vise à introduire de l'ordre dans les séries de notes NWG/RFC » (RFC, 100, p. 1). Neuf catégories sont introduites afin de classer les notes, chaque catégorie pouvant être décomposée en sous-catégories². Pour chaque catégorie, doivent être associés : un document officiel (s'il existe), l'ensemble des problèmes non résolus et l'ensemble des documents déjà publiés. « Pour chaque sous-catégorie, les notes NWG/RFC pertinentes sont indiquées sous la forme d'une liste et une brève description du thème soulevé par chaque note doit être proposée » (RFC 100, p. 1). Lorsque la note RFC₁₀₀ est publiée en 1971, 6 notes sont déjà classées « obsolètes ». Elles appartiennent toutes au groupe des dix premières notes publiées en 1969. En juin et juillet 1984, John Reynolds et Jon Postel cosignent les notes RFC 901 et 902 qui établissent les protocoles et les conventions permettant de gérer la transition de l'ARPANET à l'INTERNET. Ces deux notes désignent « les documents permettant de spécifier les protocoles officiels utilisés par Internet » (RFC, 901, p. 1) et décrivent « comment ces protocoles deviennent les standards officiels pour la communauté de recherche ARPA-Internet » (RFC, 902, p. 1). La rédaction des notes RFC se poursuit longtemps après que les standards NCP aient été convertis en standards TCP au cours des années 1980. La documentation RFC est toujours utilisée au sein de la communauté informatique.

5. DISCUSSION

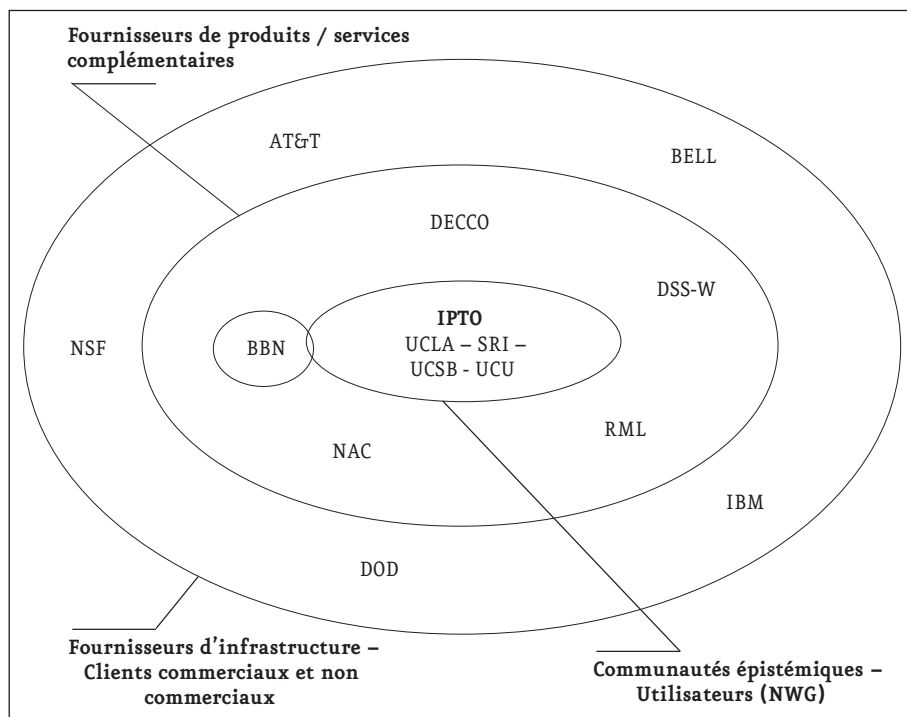
Le cas ARPANET confirme-t-il ou infirme-t-il l'hypothèse formulée dans cette contribution ? Autrement dit, la discontinuité technologique que

2 Les neuf catégories sont : *Administrative* (A.), *Host/IMP Protocol* (B.), *Host/Host Protocol* (C.), *Sub-System Level Protocol* (D.), *Measurement on Network* (E.), *Network Experience* (F.), *Site Documentation* (G.), *Accounting* (H.) et *Other* (I.).

représente l'invention d'ARPANET préfigure-t-elle l'émergence d'un écosystème d'affaires ? Tâcher de répondre à cette question suppose de comprendre si la gestion du projet ARPANET a nécessité le déploiement d'une architecture relationnelle et organisationnelle qui partage les attributs d'un « écosystème d'affaires ». Parmi ces attributs, certains apparaissent spécifiques de l'écosystème en tant que forme d'organisation des activités et de coordination des transactions (cf. section 2.1). Il s'agit (i) du design de l'organisation ARPANET (*i.e.*, sélection des acteurs et développement des applications) et (ii) de la gouvernance de l'organisation.

5.1. Design de l'écosystème : Diversité des acteurs et des applications

Si l'on retient le critère de l'identité et de la diversité des acteurs pour définir un écosystème (Koenig, 2012), il semble que le projet ARPANET ait permis l'éclosion d'un écosystème d'affaires au sens de Moore (2006) et Iansiti et Levien (2004). Pour les chercheurs en management stratégique, un écosystème est organisé en cercles concentriques avec en son centre une firme pivot. Situés à la périphérie, se trouve l'ensemble des fournisseurs, des clients, des organisations de régulation, des concurrents, des investisseurs avec lesquels la firme pivot entretient des relations de coopération ou de compétition (Ben Letaifa et Rabeau, 2012, p. 59). Or, l'écosystème qui apparaît avec ARPANET, s'il partage certains attributs des écosystèmes habituellement traités dans la littérature, n'a pas la même structure puisqu'il admet en son centre un noyau d'organisations publiques (*e.g.*, universités et agences gouvernementales) à la fois développeurs et utilisateurs de la technologie. Les entreprises de R&D, les grandes firmes commerciales et un ensemble d'organisations publiques extérieures aux domaines de la recherche fondamentale et appliquée en informatique (sans distinction d'applications civiles ou militaires), sont en revanche reléguées à la périphérie de l'écosystème naissant (cf. figure 4).

Figure 4. Écosystème ARPANET (1970)


On observe donc l'émergence d'une forme organisationnelle structurée autour d'une communauté pivot vers laquelle convergent les compétences critiques pour le développement du réseau de communication. La différence principale avec les modèles proposés par les chercheurs en management stratégique, notamment Moore (1993), Iansiti et Levien (2004), est que le noyau de l'écosystème ARPANET est une communauté épistémique composée de représentants d'agences gouvernementales et de laboratoires de recherche qui n'entretiennent pas de relations concurrentielles, les firmes commerciales étant dès le départ situées à la périphérie. Il s'agit donc d'un modèle original qui partage avec la forme organisationnelle écosystémique certaines propriétés dans la mesure où la variété des participants et de leurs interactions, ainsi que la forte décentralisation du contrôle des activités de conception devraient nous amener à classer l'écosystème ARPANET dans la catégorie des formes écosystémiques communautaires (« communautés de destin » et « communauté foisonnantes » ; Koenig 2012). Une nouvelle fois, l'écosystème ARPANET s'éloigne de ces formes types dans la mesure où son noyau n'est pas une firme, mais une

communauté épistémique composée de plusieurs individus provenant d'organisations différentes.

Dans le même ordre d'idées, et conformément à la définition habituelle d'un écosystème, la diversité des organisations partenaires du projet ARPANET a favorisé le développement d'une grande variété d'applications de la technologie ARPANET, franchissant les frontières des industries de l'informatique et des télécommunications (défense, transport aérien, etc.). Or ces applications sont le résultat, non pas de la décision stratégique des firmes installées, mais de l'intense période d'expérimentation et d'exploration qui caractérise les premières années de développement de la technologie ARPANET. Avant de désigner un segment ou une niche de marché, chaque application de la technologie est d'abord l'occasion d'apporter la preuve de la robustesse, de la fiabilité et de la performance d'une technologie qui rompt avec les technologies existantes. L'espace des opportunités émerge alors en situation d'expérimentation, lors de démonstrations souvent publiques (conférences notamment), la proximité entre les utilisateurs et les développeurs favorisant, en retour, la découverte et le développement d'applications complémentaires, notamment commerciales. ARPANET représente en ce sens un écosystème dont le potentiel de création de valeur concerne d'abord la communauté épistémique pivot située en son centre. Cet écosystème naissant préfigure toutefois ce que Fransman (2007, p. 91) nomme « le nouvel écosystème des TIC ». Selon cet auteur, l'écosystème des TIC articule quatre couches hiérarchiquement distinctes, chacune traduisant les interdépendances fonctionnelles et organisationnelles entre composants d'une part, et organisations d'autre part (cf. encadré 1). Ces quatre catégories d'acteurs entretiennent des relations d'interdépendance économique et technologique fortes, et définissent une architecture relationnelle ouverte, composée d'une variété d'organisations de toute taille et de tout statut, capables de produire les biens et les services générateurs de revenus pour les firmes partenaires, et de valeur pour leurs clients.

L'analyse du cas ARPANET montre que les différentes organisations constitutives de l'écosystème actuel des TIC sont également parties prenantes du processus d'invention de la technologie ARPANET. Dès 1969, les composantes de l'architecture organisationnelle supportant le développement d'ARPANET incluent les différentes catégories d'acteurs identifiées par Fransman (2007). La différence principale séparant l'écosystème

Encadré 1. L'architecture du nouvel écosystème des TIC (d'après Fransman 2007)

La première couche de la hiérarchie concerne les protocoles fondamentaux du réseau (*e.g.*, TCP/IP) développés par la communauté des chercheurs en informatique, ainsi que les infrastructures et les composants (*hardware, e.g.*, routeurs ou interfaces) fournis par les entreprises comme AT&T ou Bell (Alcatel Lucent ou Cisco aujourd'hui). La deuxième couche réunit les opérateurs des réseaux (notamment les entreprises de télécommunication, les opérateurs satellites, ou les entreprises des médias, qui utilisent la technologie du réseau pour développer des applications commerciales au-delà des frontières de l'industrie informatique). La troisième couche désigne les fournisseurs de contenus et d'applications (*software*) destinés à satisfaire les besoins des acteurs de la quatrième couche, à savoir les clients finaux, incluant les petites et moyennes entreprises, les ménages, les organisations publiques, mais également les organisations positionnées dans la deuxième couche.

ARPANET de celui des TIC modernes concerne la structure des relations hiérarchiques entre les partenaires ainsi que les gisements de valeur créés à partir de l'exploitation commerciale du réseau. Il apparaît alors que la forme actuelle de l'écosystème des TIC est le résultat d'évolutions successives survenues à partir de 1974 et l'adoption progressive des standards TCP/IP permettant d'inter relier les réseaux de communication existants.

5.2. Gouvernance de l'écosystème : l'alignement des relations formelles et informelles

Les résultats de l'étude de cas montrent que la variété et la complexité des défis scientifiques et techniques soulevés par le projet ARPANET ont nécessité le déploiement d'une organisation ouverte structurée autour de l'IPTO. L'analyse des relations entre les différentes parties prenantes au projet ARPANET suggère plus particulièrement que la gouvernance mise en œuvre par l'agence américaine reposait sur une combinaison de liens contractuels formels et de relations interpersonnelles informelles. Au

moment de décider de la mise en œuvre du concept de communication distribuée, l'IPTO sait qu'elle ne possède pas tous les savoir-faire et compétences nécessaires. En revanche, son directeur possède une connaissance approfondie des acteurs capables de développer l'architecture et les divers composants du réseau, notamment dans le domaine des sciences informatiques, ainsi qu'une expérience en matière de gestion des projets de R&D dans le domaine des sciences et techniques informatiques. Son choix consiste alors à mobiliser des groupes de chercheurs détenteurs de compétences et de connaissances spécifiques et à organiser le dialogue entre communautés de chercheurs et industriels détenteurs de capacités scientifiques et techniques de haut niveau. L'établissement d'arrangements contractuels entre les différentes organisations participantes au projet est alors renforcé par l'existence de relations interpersonnelles entre des individus qui, pour la plupart, partagent une culture et des valeurs communes. Cet alignement des relations contractuelles et interpersonnelles a clairement facilité le déploiement d'un modèle de gouvernance communautaire adapté aux enjeux soulevés par les multiples défis scientifiques et techniques qui accompagnent le développement d'ARPANET. Apparaît alors un modèle de gouvernance original qui associe (i) autorité formelle du leader et (ii) légitimité informelle basée sur la reconnaissance des pairs, chaque participant apportant à la communauté des compétences spécifiques. L'une des particularités du processus de sélection des membres de la communauté épistémique pivot (IPTO et NWG) est que ceux-ci sont à la fois choisis pour leurs compétences de concepteurs et, mais également d'utilisateurs du réseau. Dans les années 1960, le marché des télécommunications est encore embryonnaire et les propriétés techniques et architecturales du réseau ARPANET ne peuvent être conçues dans le but de répondre à des besoins ou à des préférences stables. Ces propriétés doivent d'abord correspondre aux aspirations des premiers utilisateurs du réseau, à savoir les communautés de chercheurs qui participent à son développement. L'immaturation relative des marchés, notamment de composants, a largement motivé l'adoption d'une stratégie exploratoire tournée, dans un premier temps, vers les futurs utilisateurs pour développer le réseau expérimental. Cette stratégie a conduit les utilisateurs/développeurs à créer un design dominant (*i.e.*, architecture modulaire décomposable et interfaces standardisées) en se regroupant au sein du NWG. Dans ce cadre, les directeurs successifs de l'ARPA-IPTO (Licklider et Roberts notamment) ont joué un rôle majeur en matière de gouvernance du projet. Dans la mesure où l'essentiel des interactions sujettes à discussion au sein du NWG étaient

redirigées vers eux, ces derniers ont joué le rôle d'arbitre et de modérateur de la communauté. L'exercice de l'autorité par les directeurs était d'autant plus légitime que les participants reconnaissent en eux des compétences et des connaissances (notamment architecturales) de haut niveau. Par bien des aspects, ce modèle de gouvernance a préfiguré les modèles de gestion de l'innovation aujourd'hui utilisés dans l'industrie des logiciels libres (Jullien et Zimmermann, 2011). Cette aptitude à la mise en relation des communautés tout en exerçant une autorité légitime s'est avérée déterminante pour le succès du projet. Là encore, la combinaison de relations formelles et informelles a favorisé l'exploitation des complémentarités entre acteurs et permis un développement contrôlé du réseau. Dans ce cadre, la standardisation des langages, des protocoles et des interfaces a préparé le développement des applications commerciales lors des phases ultérieures du cycle de vie.

6. CONCLUSION

Cette contribution conduit à porter un regard critique sur les conclusions de Moore (2006) concernant la naissance du plus représentatif des écosystèmes d'affaires : l'écosystème des TIC. Selon lui, la forme éco systémique, en tant que modèle d'organisation des activités économiques, trouve son origine dans les stratégies et les compétences organisationnelles déployées par les firmes leader des industries informatiques du milieu des années 1970. Or nos résultats suggèrent que ce n'est qu'après avoir observé la fiabilité et l'efficacité du réseau ARPANET que les firmes commerciales ont cherché à exploiter les opportunités d'affaires ouvertes par la nouvelle technologie. L'un des enseignements majeurs de cette recherche est donc que la naissance d'un écosystème requiert une analyse spécifique. Dans cette optique, nous avons suggéré que cette période cruciale de l'évolution des écosystèmes pouvait être étudiée comme le résultat d'un processus d'innovation disruptif. Partant de cette hypothèse, nous avons montré, à travers une étude de cas historique, que l'écosystème des TIC trouve son origine dans le projet d'innovation ARPANET. S'il partage certains attributs essentiels des écosystèmes d'affaires en matière de gouvernance et d'architecture organisationnelle, cet écosystème naissant diffère des représentations théoriques élaborées par les chercheurs en management stratégique. D'une part, le noyau central vers lequel convergent

les différentes parties prenantes au projet n'est pas une firme, mais une communauté épistémique composée d'individus appartenant essentiellement à des organisations publiques. D'autre part, les grandes firmes commerciales du secteur de l'informatique et des télécommunications impliquées dans le projet (Bell, AT&T, IBM, etc.) sont reléguées à la périphérie et ne participent pas au processus de création de valeur. Enfin, les organisations partenaires entretiennent exclusivement des relations de coopération renforcées par l'existence de liens interpersonnels entre leurs membres. Avant de croître jusqu'à devenir un écosystème d'affaires au sens de Moore (2006), l'écosystème des TIC a d'abord émergé en tant qu'innovation de rupture, portant en germe une évolution radicale des modèles d'organisation des activités et de coordination des transactions économiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ADNER, R. et KAPOOR, R. (2010), "Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations", *Strategic Management Journal*, vol. 31, pp. 306-333.
- ALDRICH, H. E., FIOL, C. M. (1994), "Fools rush in? The institutional context of industry creation", *Academy of Management Review*, vol. 19, n° 4, pp. 645-670.
- AMIT, R. et ZOTT, C. (2001), "Value creation in E-business", *Strategic Management Journal*, vol. 22, n° 6-7, pp. 493-520.
- ARPANET Study Final Report (1972), prepared for DARPA by RCA Service Company.
- AUDRESCHT, D. B. (1991), "New-firm survival and the technological regime", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 73, n° 3, pp. 441-450.
- BARAN, P. (1964), "On distributed communication networks", *IEEE Transactions on Communications Systems*, vol. 12 (March), pp. 1-9.
- BARBAROUX, P. (2011), "How do organisations manage to develop collaborative innovation? The case of the Tactical Strike and Reconnaissance aircraft (TSR-2)", *Journal of Innovation Economics & Management*, vol. 7, n° 1, pp. 161-179.
- BARBAROUX, P. (2012), "Identifying collaborative innovation capabilities within knowledge-intensive environments: insights from the ARPANET project", *European Journal of Innovation Management*, vol. 15, n° 2, pp. 232-258.
- BEN LETAIFA, S. et RABEAU, Y. (2012), « Évolution des relations compétitives et rationalités des acteurs dans les écosystèmes d'innovation », *Management International*, vol. 16, n° 2, pp. 57-84.
- BOLT BERANEK & NEWMAN, BBN (1981), *A History of the ARPANET: The First Decade*, DARPA Report n° 4799, April, 1, 1981 (Prepared for DARPA by Bolt Beranek and Newman, Inc.).
- CHESBROUGH, H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard business School Press: Boston Massachusetts.

- COHENDET, P., CREPLET, F. et DUPOUET O. (2006), *La Gestion des connaissances. Firmes et communautés de savoir*, Economica : Paris.
- EDOUARD, S. et GRATACAP, A. (2010), « Configuration des écosystèmes d'affaires de Boeing et d'Airbus : le rôle des TIC en environnement innovant », *Management & Avenir*, vol. 34, n° 4, pp. 162-182.
- EISENHARDT, K. M. (1989), "Building theory from case study research", *Academy of Management Review*, vol. 14, n° 4, pp. 532-550.
- EHRNBERG, E. (1995), "On the definition and measurement of technological discontinuities", *Technovation*, vol. 15, n° 7, pp. 437-452.
- FORBES, D. P. et KIRSCH, D. A. (2011), "The study of emerging industries: recognizing and responding to some central problems", *Journal of Business Venturing*, vol. 26, pp. 589-302.
- FRANSMAN, M. (2007), "Innovation in the new ICT ecosystem", *Communications & Strategies*, n° 68, pp. 89-110.
- HANNAN, M. T. (2005), "Ecologies of organizations: Diversity and identity", *The Journal of Economic Perspective*, vol. 19, n° 1, pp. 51-70.
- IANSITI, M. et LEVIEN, R. (2004), *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability?*, Boston: Harvard Business School Press.
- IANSITI, M. et RICHARDS, G. (2006), "The information technology ecosystem: Structure, health, and performance", *The Antitrust Bulletin*, vol. 51, n° 1, pp. 77-110.
- ISCKIA, T. et LESCOPI, D. (2009), "Open innovation within business ecosystems: A tale from Amazon.com", *Communications & Strategies*, n° 74, pp. 37-54.
- JULLIEN, N., et Zimmermann, J.-B. (2011), "FLOSS in an industrial economics perspective", *Revue d'économie industrielle*, n° 136, pp. 39-64.
- KEPPLER, S. et GRADY, E. (1990), "The evolution of new industry and the determinants of market structure", *The RAND Journal of Economics*, vol. 21, n° 1, pp. 27-44.
- KOENIG, G. (2012), "Le concept d'écosystème d'affaires revisité", *M@n@gement*, vol. 15, n° 2, pp. 209-224.
- KLEINROCK, L. (1964), *Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay*, McGraw-Hill: New York.
- KLEINROCK, L. (2008), "History of the Internet and its flexible future", *IEEE Wireless Communication*, February, pp. 8-18.
- LEINER, B. M., CERF, V. G., CLARK, D. D., KAHN, R. E., KLEINROCK, L., LYNCH, D. C., POSTEL, J., ROBERTS, L. G. et WOLF, S. S. (1997), "The past and future history of the Internet", *Communication of the ACM*, vol. 40, n° 2, pp. 102-108.
- LICKLIDER, J. et CLARK, W. (1962), "On-line man-computer communication", *Spring Joint Computer Conference*, National Press, Palo Alto CA, May 1962, vol. 21, pp. 113-128.
- MIRA-BONNARDEL, S., GENIAUX, I. et SERRAFERO, P. (2012), « Naissance d'un écosystème d'affaires : entre stratégie délibérée et stratégie chemin faisant », *Revue Française de Gestion*, 2012/3, n° 222, pp. 123-134.
- MOORE, J. (1993), "Predators and preys: A new ecology of competition", *Harvard Business Review*, may-june, pp. 75-86.
- MOORE, J. (2006), "Business ecosystems and the view of the firm", *The Antitrust Bulletin*, vol. 51, n° 1, pp. 31-75.

- PELLEGRIN-BOUCHER, E. et GUEGUEN, G. (2005), « Stratégies de “coopétition” au sein d’un écosystème d’affaires : une illustration à travers le cas de SAP », *Finance, Contrôle, Stratégie*, vol. 8, n° 1, pp. 109-130.
- ROBERTS, L. et MARRILL, T. (1966), “A cooperative network of time-sharing computers”, *Computer Corporation of America*, Technical Report n° 11, June 1, 1966.
- ROBERTS, L. (1985), *The ARPANET & Computer Networks*, NetExpress Inc. publications. (<http://ia3i1536.us.archive.org/o/items/TheArpanetAndComputerNetwork/MML.txt>).
- RONTEAU, S. (2009), « Embrasser la condition de firme-pivot : dynamiques d’innovation de Dassault Systèmes dans son écosystème d’affaires », *Management & Avenir*, 2009/8, n° 28, pp. 196-215.
- TEECE D., PISANO G. et SHUEN A. (1997), “Dynamic capability and strategic management”, *Strategic Management Journal*, vol. 18, n° 7, pp. 509-533.
- TEECE, D. (2010), “Business models, business strategy, and innovation”, *Long Range Planning*, vol. 43, pp. 172-194.
- ZOTT, C. et AMIT, R. (2010), “Business model design: An activity system perspective”, *Long Range Planning*, vol. 43, pp. 216-226.

