

# L'INNOVATION COMME COMMUNAUTE DE COMMUNAUTES : UNE ETUDE DE CAS HISTORIQUE<sup>1</sup>

Pierre Barbaroux

Ecoles d'Officiers de l'Armée de l'air (EOAA)  
Centre de Recherche de l'Armée de l'air (CReA)  
Equipe *Management des Organisations de Défense*  
EOAA/CReA

BA 701 F-13661 SALON AIR

Tel: +33 (0)4 90 17 83 30

[pierre.barbaroux@inet.air.defense.gouv.fr](mailto:pierre.barbaroux@inet.air.defense.gouv.fr)

## Résumé

*Cet article étudie comment les organisations développent des innovations intensives en connaissances en exploitant le potentiel de formes organisationnelles comme collections de communautés. Il explore les capacités qui permettent à l'organisation innovante d'intégrer une variété de connaissances enchâssées dans différentes communautés d'acteurs détenteurs de compétences spécifiques. A partir du cas du réseau ARPANET développé dans les années soixante par une variété de communautés de chercheurs et d'organisations privées sous l'autorité du Département de la Défense américain (U.S. Advanced Research Project Agency, ARPA), cette contribution suggère que la capacité de l'organisation de déployer une forme organisationnelle appropriée à la création, la codification et l'intégration des connaissances détermine son aptitude à coordonner une variété de communautés de savoir pour développer l'innovation.*

Mots clefs Innovation, communautés, capacités, ARPANET.

---

<sup>1</sup> Le cas développé dans cet article a fait l'objet d'une présentation en anglais, les 29-30 octobre 2009 à Copenhague (Danemark), lors d'une conférence intitulée « Organizing for internal and external knowledge creation and innovation : The role of resources », organisée par le Department of Innovation and Organizational Economics de la Copenhagen Business School (CBS).

# L'INNOVATION COMME COMMUNAUTE DE COMMUNAUTES : UNE ETUDE DE CAS HISTORIQUE

## Résumé

*Cet article étudie comment les organisations développent des innovations intensives en connaissances en exploitant le potentiel de formes organisationnelles comme collections de communautés. Il explore les capacités qui permettent à l'organisation innovante d'intégrer une variété de connaissances enchâssées dans différentes communautés d'acteurs détenteurs de compétences spécifiques. A partir du cas du réseau ARPANET développé dans les années soixante par une variété de communautés de chercheurs et d'organisations privées sous l'autorité du Département de la Défense américain (U.S. Advanced Research Project Agency, ARPA), cette contribution suggère que la capacité de l'organisation de déployer une forme organisationnelle appropriée à la création, la codification et l'intégration des connaissances détermine son aptitude à coordonner une variété de communautés de savoir pour développer l'innovation.*

Mots clefs Innovation, communautés, capacités, ARPANET.

## 1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, les chercheurs ont montré que la capacité de la firme d'inventer et de commercialiser de nouveaux produits et services dépend de leur aptitude à mobiliser, combiner et intégrer un ensemble de ressources hétérogènes et distribuées, disponibles à l'intérieur comme à l'extérieur de ses frontières (Cohen et Levinthal, 1990 ; Teece et al. 1997). Dans ce contexte, certains auteurs ont souligné l'importance des communautés en tant que sources de connaissances individuelles et collectives pouvant être combinées et intégrées par les firmes afin de développer de nouveaux produits et services (Brown et Duguid, 1991; Pickering et King, 1995; Amin et Cohendet, 2004). Ces auteurs ont montré que les formes organisationnelles « hybrides », telles que les communautés de savoir permettent aux firmes de mobiliser des ressources utiles pour innover. En établissant des connections entre les différents acteurs de l'innovation (e.g., utilisateurs, fournisseurs, designers, ingénieurs, experts, scientifiques, managers ...), ces formes organisationnelles alternatives de la firme et du marché facilitent la collecte d'informations utiles concernant les préférences et les besoins

des utilisateurs potentiels (von Hippel, 1988), les contraintes techniques liées aux usages des produits développés (e.g., interopérabilité), ou encore les complémentarités entre produits de conceptions différentes. Même si le rôle de ces nouvelles formes organisationnelles dans l'innovation a été largement documenté dans la littérature (cf., Cohendet et al., 2006 sur le rôle des communautés de savoir), la question fondamentale des capacités requises pour coordonner les différentes communautés demeure posée. Comment les firmes innovantes coordonnent-elles les communautés de savoir impliquées dans le processus d'innovation. Comment intègrent-elles leurs contributions ?

Cet article s'efforce de répondre à ces questions à travers une étude de cas historique. Celui-ci concerne le projet de déploiement du premier réseau de communication et de partage de ressources numériques entre ordinateurs distants : le projet ARPANET. Le cas a été choisi parce qu'il représente une innovation radicale, intensive en connaissances, ayant nécessité la participation de plusieurs organisations publiques et privées (e.g., agences gouvernementales, universités, entreprises de R&D, fournisseurs d'infrastructure de communication ...) qui ont collaboré pour produire l'une des technologies les plus influentes des cinq dernières décennies. Ce cas offre ainsi un matériau empirique pertinent si l'on cherche à inférer la nature des capacités organisationnelles requises pour concevoir un produit nouveau en faisant collaborer des communautés d'acteurs hétérogènes, détenteurs de compétences distribuées, dans un environnement ouvert.

Nous commençons par souligner que le défi principal soulevé par la gestion des innovations concerne la coordination des communautés et l'intégration de leurs contributions. Ce défi est d'autant plus difficile à relever que le processus d'innovation repose sur la participation de communautés de savoir différentes dans un environnement de travail ouvert qui dépasse les frontières de l'organisation innovante. Puis, nous présentons la méthodologie ainsi que les données utilisées pour étudier le développement du réseau de communication ARPANET. Les sections suivantes présentent et discutent les résultats de l'étude de cas. Finalement, nous discutons les enseignements principaux ainsi que les limites de cette recherche pour l'analyse du rôle des communautés de savoir dans le management de l'innovation.

## **2. CADRE CONCEPTUEL**

La capacité d'innovation est souvent présentée par les auteurs comme une source essentielle de différenciation et d'avantages concurrentiels pour les firmes (Teece et al., 1997). Elle est

perçue comme une compétence dynamique qui peut être distribuée et incorporée dans une variété d'acteurs individuels, d'artefacts et d'organisations situés à l'intérieur et à l'extérieur des frontières de la firme (Teece et Chesbrough, 1996). Dans ce cadre, l'hypothèse selon laquelle des groupes d'individus qui interagissent régulièrement, créent des connaissances, partagent des savoirs et développent des pratiques communes a conduit certains auteurs à développer la théorie de la firme comme collection de communautés (Brown et Duguid, 1991; Cohendet et al., 2003 ; Amin et Cohendet, 2004). En suggérant que les formes organisationnelles communautaires (e.g., communautés de pratique, communautés épistémiques) peuvent être mobilisées dans des contextes de création de connaissances et d'innovation, cette théorie propose un modèle de l'organisation des activités innovantes alternatif des modèles traditionnels. Traditionnellement, les auteurs distinguent les communautés de savoir en mobilisant plusieurs critères. Comme le soulignent Cohendet et al. (2003, p.102), une communauté se caractérise « par des traits spécifiques qui déterminent les manières dont cette communauté apprend et participe au développement et à l'expansion de la connaissance organisationnelle ». Plusieurs catégories de communautés de savoir ont ainsi été identifiées dans la littérature, parmi lesquelles deux sont particulièrement mobilisées dans des contextes de management des connaissances et de l'innovation : les communautés épistémiques et les communautés de pratique.

Au-delà des divergences relatives aux valeurs dominantes, aux buts et aux objets communs partagés par leurs membres, les communautés de savoir offrent à l'organisation des espaces d'interaction et de dialogue, physiques et virtuels, dans lesquels s'épanouissent des processus d'apprentissage et de gestion des connaissances (Nonaka, 1994). Ces processus sont utiles à l'organisation pour gérer des projets, capitaliser des connaissances, résoudre des problèmes ou développer des compétences. Les communautés sont également utiles en tant que formes organisationnelles, susceptibles d'offrir à la firme innovante des « ressources » (informations et connaissances, processus d'apprentissage, mécanismes de contrôle et de gouvernance) pouvant être combinées en vue de développer de nouveaux produits. En mettant l'accent sur des formes organisationnelles hybrides qui transcendent la dichotomie entre marché et hiérarchie, la théorie de l'organisation comme communauté de communautés suggère que le développement des innovations peut reposer sur des formes organisationnelles et des structures de gouvernance qui ne sont ni centralisées, ni verticalement intégrées. Toutefois, la gestion de l'innovation comme communauté de communautés pose également des problèmes nouveaux à la firme, notamment en termes de coordination des communautés et d'intégration des connaissances nécessaires pour développer l'innovation. Comment les

firmes innovantes coordonnent-elles les communautés de savoir impliquées dans le processus d'innovation. Comment s'y prennent-elles pour intégrer leurs contributions ? Brown et Duguid (1991) ont souligné que le « problème principal de la coordination dans l'organisation comme communauté de communautés est (...) de mettre en œuvre une *architecture* qui préserve et améliore la saine autonomie des communautés et, simultanément, établit l'*inter connectivité* nécessaire à la *dissémination* des résultats produits par les expérimentations de communautés séparées » (Brown et Duguid, 1991, p. 54; [italique ajouté par nous]). Les notions d'architecture et d'inter connectivité mises en avant par Brown et Duguid (1991) indiquent que les choix de la firme en matière de design organisationnel influence la coordination des communautés de savoir et l'intégration de leurs contributions. L'hypothèse que nous formulons dans cette contribution est que la capacité de la firme de concevoir une forme organisationnelle adaptée aux caractéristiques du projet d'innovation conditionne son aptitude à coordonner les communautés de savoir impliquées et, par extension, à exploiter les vertus du modèle de management de l'innovation comme communauté de communautés. Nous questionnons cette hypothèse à travers une étude de cas historique.

### **3. METHODOLOGIE**

Nous avons choisi dans cet article d'adopter 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. Nous avons plus spécifiquement opté pour une étude de cas historique et analysé le projet à travers la reconstruction de son histoire (Weick, 1993). Nous nous sommes inspirés du travail d'Hargadon et Douglas (2001) qui, à travers une étude de cas historique, analyse comment Thomas Edison a inventé et exploité commercialement les systèmes électriques de Thomas Edison et en tire un certain nombre d'enseignements théoriques relatifs au processus d'institutionnalisation de l'innovation. Plus récemment, Scranton (2007) et Lenfle (2009) ont adopté une méthodologie comparable, le premier s'intéressant à l'industrie aéronautique militaire américaine du début de la Guerre Froide pour élaborer le concept d'innovation dynamique ; le second, explorant les principes organisationnels ayant supporté la gestion du projet Manhattan afin de proposer un cadre théorique qui discute du management de projets d'innovation exploratoires.

### 3.1. SOURCES DE DONNEES

Nous avons exploité trois sources de données secondaires : 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) nous a permis d'obtenir une description riche et circonstanciée de l'industrie naissante des réseaux de communication. Dans les années soixante, 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) nous a permis d'identifier les inventions majeures dans le domaine des architectures réseaux 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 nous ont permis d'accéder aux arguments théoriques développés par les auteurs qui se sont intéressés 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 nous 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 notamment 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 DONNEES

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. Nous avons considéré trois types de contenu :

- 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 clés du projet d'innovation.
- Technologie. Éléments relatifs aux caractéristiques technologiques des divers composants du réseau et de son architecture globale.
- Acteurs. Éléments relatifs à l'identité, au rôle, à la stratégie et aux compétences des différents acteurs et groupes participant au développement du projet d'innovation.

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 ou tel composant technologique du réseau), la troisième étape consiste à interpréter les données ainsi traitées et à organiser la présentation des résultats selon deux thèmes : l'identification des problèmes scientifiques et techniques principaux et la sélection des acteurs capables de les résoudre, l'établissement de relations entre eux.

### 3.3. LE PROJET ARPANET

Avec l'intensification de la Guerre Froide dans les années cinquante, 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 (C<sup>3</sup>) 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. Le concept d'interactions sociales

supportées par des réseaux d'ordinateurs interconnectés sur de longues distances émerge au début des années soixante. 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. 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). A 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). A titre d'illustration, le chargement de données entre ordinateurs séparés géographiquement nécessite des compétences et savoirs 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 ; Kleinrock, 1964). Cette expérimentation (Marrill, 1966 ; Roberts et Marrill, 1966) montre que les ordinateurs connectés peuvent travailler ensembles en temps réel et de façon synchrone, lancer des programmes informatiques en parallèle et rechercher des données stockées à distance sur d'autres ordinateurs. A 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 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'offre qui marque le lancement officiel du projet. L'entreprise Bolt Beranek et Newmann (BBN), spécialisée dans la consultance et la R&D, 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'offre, 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 ». 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 (appelé SUBNET): 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, 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 –lors de réunions informelles- 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). A 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 (« Interneting ») 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. RESULTATS

### 4.1. DEFIS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Le projet 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. A cette époque, 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 réuni par Lawrence Roberts pour discuter des spécifications du futur réseau compte une dizaine de membres seulement (dont les représentants des quatre sites de ce qui deviendra le réseau expérimental). Lors de cette première réunion, 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 noeud 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 03 avril 1990).

Cette réunion liminaire fût suivie 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). Ces difficultés scientifiques et techniques sont présentées dans le tableau 1 (BBN 1981).

Défis	Formulation	Solution adoptée
<i>Topologie</i>	Concevoir une architecture réseau (agencement des $M$ liens entre les $N$ nœuds du réseau) qui satisfasse l'ensemble des contraintes (e.g., délai de transmission des paquets de données, fiabilité) à moindre coût.	Léonard Kleinrock (NMC-UCLA) propose un algorithme de design appelé <i>Concave Branch Elimination</i> (CBE). L'entreprise NAC ( <i>Network Analysis Corporation</i> ) propose une solution concurrente appelée <i>Cut Saturation Method</i> (CSM). La solution proposée par NAC sera retenue.
<i>Contrôle des erreurs</i>	Minimiser les erreurs de transmission des paquets de données d'un site à un autre.	La solution adoptée a consisté à comparer de façon cyclique les données entrées (nœud récepteur) avec les données sorties (nœud émetteur). Un message était alors transmis au nœud émetteur (accompagné de son « checksum ») si l'erreur est nulle. En cas d'erreur, l'émetteur ne recevait aucun message et le paquet était redirigé.
<i>Interfaçage des sites hôtes.</i>	Permettre une correspondance logique entre la « passerelle » et le site hôte, chacun disposant d'un langage (la longueur des mots de l'ordinateur hôte ne correspond pas à celle du nœud « passerelle » (interface) et d'un ensemble de routines de gestion des entrées/sorties spécifiques.	La solution développée par BBN reposait sur l'implantation d'un système hardware spécialisé, appelé « special host interface », dans chaque ordinateur hôte afin de faire dialoguer le site hôte et l'interface, celle-ci interrompant la communication à chaque <i>bit</i> de données transmises
<i>Passerelles</i>	Permettre à des ordinateurs distants de partager des ressources et des données suppose de disposer de passerelles performantes en terme de fiabilité, de vitesse et de capacité de calcul.	L'ordinateur initialement choisi pour assurer le rôle de passerelle intégrée à l'interface IMP est un Honeywell 516. Ce modèle est sélectionné par BBN en raison des capacités qu'il offre aux utilisateurs : horloge, langage, système opérant, performance et fiabilité.
<i>Le contrôle à distance</i>	La multiplication du nombre d'ordinateurs connectés au réseau, nécessite la mise en œuvre d'une technologie permettant de gérer, de mettre à jour et de « déboguer » les ordinateurs à distance.	Le « Network Control Center » a rendu possible l'accès et la modification des systèmes opérants incorporés dans n'importe quelle machine à partir du centre de contrôle du réseau (NCC).
<i>Routage</i>	Comment optimiser le chemin que doit prendre un paquet de données pour transiter d'un ordinateur à un autre dans un environnement qui n'est pas (encore) entièrement connecté ?	L'approche adoptée par les concepteurs du réseau ARPANET repose sur un algorithme adaptatif distribué qui évalue la route optimale à partir d'un nœud spécifique en « interrogeant » les nœuds directement adjacents. Ceux-ci communiquent alors, via un tableau mis à jour régulièrement, la route la plus rapide vers les interfaces de destinations en fonction du trafic et des défaillances ponctuelles de certains nœuds.

<i>Protocoles et langage</i>	Le défi ici est de permettre à des machines hétérogènes de communiquer facilement entre elles.	Le NWG développe alors un programme appelé « Network Control Program » (NCP) dont la fonction principale est d'établir, de rompre et de basculer les connections, et de contrôler le flux d'informations circulantes.
------------------------------	--	---

Tableau 1. Principaux défis scientifiques et techniques du réseau expérimental.

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 dépendaient essentiellement de leurs compétences respectives en matière de résolution de problèmes. De plus, la hiérarchisation des problèmes détermina, de fait, la nature des relations entre les acteurs. Par chance, l'expertise scientifique et technique indispensable au déploiement du réseau expérimental était connue de l'agence ARPA dans la mesure où les groupes de chercheurs sélectionnés pour composer l'architecture initiale du réseau avaient tous préalablement travaillé pour le gouvernement américain. Ainsi, la plupart des chercheurs (Kleinrock, Sutherland et Engelbart notamment) avaient 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 existait 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. Les relations entre les communautés de chercheurs, les entreprises de R&D et les fournisseurs d'infrastructures étaient donc à la fois définies sur une base contractuelle et supportées par des relations informelles et interpersonnelles. A ce propos, Léonard Kleinrock précise :

*« Nous travaillions directement avec BBN. Lorsque nous avions 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 membres entretenaient des relations directes et partageaient des valeurs communes, formant ainsi une communauté qui transcendait les frontières de leurs organisations respectives.

#### 4.2. ACTEURS ET COMPETENCES

#### 4.2.1. Les agences gouvernementales

Le projet ARPANET a nécessité les efforts conjoints de plusieurs agences gouvernementales placées sous la responsabilité de l'IPTO au sein de l'ARPA. 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 de nombreux domaines technologiques et organisationnels clefs. L'acteur central en matière de gouvernance et de leadership, tant organisationnel que technologique, a été 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 Etats-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 ont joué 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, a offert son expertise en matière de négociation contractuelle et de relations avec les industriels. Le champ d'action de DSS-W incluait 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, a proposé des compétences de soutien logistique mais également juridiques complémentaires de celles offertes par la DSS-W. Finalement, la Defense Commercial Communication Office (DECCO) a assisté l'IPTO dans ses relations avec les entreprises de télécommunication chargées de fournir l'infrastructure télécoms du réseau. DECCO a notamment assuré l'ensemble des négociations contractuelles avec les compagnies locales et nationales de téléphone et obtenu les capacités de larges bandes passantes qui ont permis la montée en puissance rapide du réseau dans les années 1970.

#### 4.2.2. Les centres de recherche

Au milieu des années 1960, rares sont les centres de recherche où les entreprises ont réussi à 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 ont été capables de permettre le téléchargement de 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 en effet que

*« Les premiers sites devant être connectés impliquait une décision difficile. Nous savions que nous avions besoin d'au moins quatre sites pour avoir un bon test. A 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 dans 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 furent particulièrement impliqués dans le déploiement du premier réseau expérimental. Le premier groupe, dirigé par Léonard Kleinrock (UCLA) constitua le premier nœud du réseau expérimental (SUBNET). Kleinrock fût 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) était responsable du développement et de l'animation du « Network Measurement Center » (NMC) dont la finalité était de mesurer et d'optimiser la performance du réseau. Le second groupe de chercheur qui

joua un rôle majeur lors des premières phases du projet était dirigé par Douglas Engelbart (SRI, Stanford). Deuxième nœud du réseau expérimental (SUBNET), ce groupe fut désigné responsable de la mise en œuvre du « Network Information Center » (NIC). Son objectif était de collecter les données du réseau, et de développer les outils logiciels permettant le stockage et la dissémination des données. Les premiers sites ont donc été recrutés parmi la communauté académique, seule capable de répondre aux défis scientifiques et techniques posés par le développement du réseau. Les communautés de chercheurs impliquées dans le projet ARPANET ont ainsi principalement été 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) a contribué 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 s'elles ont joué un rôle capital, les équipes de chercheurs ne pouvaient pas communiquer sans interfaces robustes. La spécification des interfaces revêtait donc un caractère bien plus critique techniquement. Son importance était telle qu'elle orienta 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'offre respectant les spécifications initialement adoptées par les participants aux premières réunions (*e.g.*, Kleinrock, Engelbart, Roberts et Kahn notamment), l'IPTO désigna une entreprise de R&D pour développer les interfaces : Bolt Beranek et Newmann (BBN). Celle-ci sous traita une partie du travail à l'entreprise Honeywell, chargée de fournir la machine qui devait servir d'interface physique. Ce choix conféra une position particulière à BBN dans l'architecture organisationnelle mise en place par l'IPTO. Même si ce dernier assumait les principales décisions concernant la politique de régulation du réseau ou la sélection des sites, tandis que les centres de recherche assuraient l'essentiel des tâches exploratoires, la responsabilité des opérations courantes de fonctionnement et de maintenance fut 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 a mis en œuvre le Network Control Center

(NCC) chargé d'identifier, de diagnostiquer et de résoudre les problèmes de gestion du réseau. En 1975, une fois le réseau suffisamment mature, sa gestion et sa maintenance quotidienne fût confiée à une autre agence gouvernementale, la Defense Communication Agency (DCA). L'autre entreprise de R&D ayant joué un rôle majeur en matière de la sélection des sites et l'optimisation des liens entre eux (routage et optimisation de la topologie du réseau) est la Network Analysis Corporation (NAC). Créée à la fin des années soixante par Howard Franck, Ivan Frisch (Berkeley) et Steve Carr (SRI), cette entreprise privée de R&D s'est spécialisées dans l'optimisation des réseaux. Leonard Kleinrock se souvient,

*« Vers 1971, Larry [Lawrence Roberts] était chez moi, et je lui est 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 consistait à sélectionner les sites hôtes, à établir des liens entre eux et à reconfigurer le réseau lorsqu'un nouveau site joignait 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 et son adoption au delà des secteurs de l'informatique et des télécommunications.

#### **4.2.4. Les entreprises de télécommunication**

Les compagnies de téléphone comme AT&T, Bell et d'autres compagnies régionales (*e.g.*, General Telephone en Californie) avaient 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 interagissaient principalement avec l'agence DECCO qui négociait pour le compte de l'IPTO l'obtention des services désirés avec, en prime, des réductions tarifaires significatives. Si les compagnies de téléphone ont fournit et assuré la coordination des diverses infrastructures de télécommunication locale, nationale et internationale sur



laquelle reposait le réseau, en aucun cas ces compagnies n'ont participé 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 du réseau et à son extension rapide au cours des années 1970.

#### 4.3. GESTION DES CONNAISSANCES ET NAISSANCE D'UNE COMMUNAUTE

Dans les premières années du projet ARPANET, la connaissance requise pour se connecter et utiliser le réseau était 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 était devenu indispensable de définir des standards génériques afin de réduire au minimum les coûts d'accès au réseau (BBN 1981, III-58). Le but du Network Working Group (NWG) consistait justement à spécifier les protocoles techniques et à 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)**

A l'été 1968, Elmer Shapiro (SRI) fût 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 même le Network Working Group » (BBN 1981, III-45-46). En avril 1969, le NWG était 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 furent 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'a jamais été figée, sa composition a évolué au fil du temps avec le développement du réseau. Au cours de ces rencontres en chercheurs, des décisions fondamentales ont été prises concernant l'architecture du (futur) réseau (e.g., contrôle distribué, protocole, algorithmes de routage). L'objectif initial du NWG était de promouvoir des discussions informelles entre les développeurs et les utilisateurs du réseau dans le but d'affiner la moindre intuition, suggestion ou critique susceptibles de faciliter le développement et l'usage du réseau. Fondé sur les valeurs d'ouverture d'esprit et de pensée critique, le groupe encouragea 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 émergea ainsi de la répétition de rencontres informelles entre membres de la communautés des informaticiens engagés dans une activité de recensement des questions de recherche qui leur apparaissaient essentielles au regard du développement d'un concept robuste de réseau de communication. Steve Crocker, qui joua un rôle central durant les premières années 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 & 30, p. 1; Gras ajouté par nous).*

#### **4.3.2. Les notes du NWG**

Les notes de travail du NWG ont commencé à circuler à l'ensemble des participants. Leur édition a donné naissance à la référence principale en matière de documentations APANET appelée les “Request for Comments” (RFC). Les deux premières notes produites par le NWG (RFC1 et RFC2) concernèrent la spécification du protocole host-to-host. Elles ont été rédigées respectivement par Steve Crocker (UCLA) et Bill Duval (SRI) en avril 1969. Le même mois, Steve Crocker écrivit la troisième note (RFC 3) qui stipula les conventions de rédaction ainsi que la philosophie générale du groupe et des RFC. Comme mentionné dans l'introduction de la note 3 (RFC 3) :

*“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 inclus dans cette série” (RFC 3, p. 1).*

La note RFC 3 définit également la forme que chaque note RFC devra respecter en vue d'être stockée, indexée et diffusée facilement. Les notes initiales du NWG devaient 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 RFC 3 ont été révisées et mises à jour régulièrement (cf. RFC 10 24, 27 and 30), notamment parce que la composition du groupe évoluait rapidement avec le développement du nombre d'utilisateurs du réseau. Plus la taille du réseau augmentait, plus la variété des notes RFC devint significative. Il devint 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, en cours). Ecrite par Peter Karp (MITRE), la note RFC 100 proposa 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 son introduites afin de classer les notes, chaque catégorie pouvant être décomposée en sous-catégories<sup>2</sup>. «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). Notons que chaque note pouvait être classée en mobilisant plusieurs catégories et sous-catégories.

Lorsque la note RFC 100 fût publiée en 1971, 6 notes étaient déjà classées comme étant obsolètes. Elles appartenaient toutes aux dix premières notes publiées en 1969. En juin et juillet 1984, John Reynolds et Jon Postel co-signent les notes RFC 901 et 902 qui établissent les protocoles et les conventions permettant de gérer la transition ARPA-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). En Août 2003, la série des RFC comptait 3587 notes. La rédaction des notes RFC se poursuivit longtemps après que les standards NCP furent convertis en standards TCP au cours de années 1980. La documentation RFC est toujours utilisée au sein de la communauté informatique et de l'Internet.

---

<sup>2</sup> 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.) and Other (I.).

## 5. DISCUSSION

Les paragraphes suivants discutent les implications de nos résultats pour la recherche et le management des innovations.

### 5.1. IMPLICATIONS POUR LA RECHERCHE

La décision de l'IPTO de développer le concept de réseau de communication distribuée a reposé sur une architecture organisationnelle fondées sur la collaboration entre des chercheurs (e.g., UCLA, SRI), des entreprises de R&D (e.g., BBN, NAC) et un ensemble d'agences gouvernementales offrant des services spécialisés (e.g., IPTO, RML, DSS-W). Le déploiement d'une forme organisationnelle adaptée à la nature des enjeux scientifiques et techniques rencontrés est donc essentielle. Le cas ARPANET montre que les capacités de conception (*design*) de l'organisation innovante déterminent son aptitude à sélectionner, coordonner et intégrer les communautés de savoir participant au projet. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Sosa, Eppinger et Rowles (2004). Ces auteurs ont en effet montré que la capacité de la firme d'aligner l'architecture du produit et la forme organisationnelle permettant de la développer peut faciliter l'intégration des connaissances et limiter les défauts de communication. L'alignement des conceptions du produit et des organisations facilite, d'une part, la coordination des différents acteurs (individus, groupes et organisations) participant au projet d'innovation et, d'autre part, l'intégration des connaissances attachées à l'architecture et aux composants de l'innovation en tant que produit. Dans cette perspective, Ethiraj (2007) a suggéré que la firme augmente ses chances d'effectuer un choix opportun en matière de design organisationnel si elle concentre son attention sur la dynamique d'interaction des connaissances clefs (*core concepts*) incorporées dans l'architecture et les composants du produit. En insistant sur les capacités de conception, à la fois organisationnelle et technologique, de la firme innovante, ces auteurs suggèrent l'existence d'une correspondance entre l'architecture de l'innovation et la forme organisationnelle qui permet son développement<sup>3</sup>. Il est remarquable d'observer que, dans le cas du projet ARPANET, les architectures de l'organisation mise en œuvre par l'IPTO et du réseau partagent certains attributs fondamentaux. En particulier, la décentralisation du contrôle est un attribut commun au réseau et à l'architecture de l'organisation, notamment le NWG.

---

<sup>3</sup> Pour une discussion de l'hypothèse d'isomorphisme entre architectures du produit et de l'organisation, voir Catel (2007).

L'analyse plus précise des relations entre les participants suggère que l'architecture organisationnelle mise en œuvre par l'ARPA-IPTO était fondée sur une combinaison de liens formels (contractualisation) et informels (connaissances interpersonnelles). Il semble donc que le développement d'innovations intensives en connaissances suppose de savoir gérer une architecture formée d'une variété de relations entre composants reposant chacun sur des connaissances spécifiques. Comme suggéré par Tödtling et al. (2009), les interactions entre composants d'un système complexe et l'intégration des connaissances associées, sont supportées par une combinaison de relations formelles et informelles qui facilite/contraint le partage des connaissances et l'apprentissage collectif. Il est ainsi remarquable d'observer que l'établissement d'arrangements contractuels entre l'IPTO et les différentes organisations participantes au projet (communautés épistémiques, entreprises de R&D, fournisseurs d'infrastructures télécoms, et agences gouvernementales) a été renforcé par l'existence de relations interpersonnelles et d'interactions informelles entre les acteurs qui, pour la plupart, partageaient une culture (scientifique et technique) commune. L'alignement des relations contractuelles et des relations interpersonnelles a alors permis d'exploiter les vertus des formes communautaires de gouvernance. Les travaux de Eng et Wong (2009) éclairent les raisons de cet alignement. Celui-ci semble dû à la capacité de l'ARPA-IPTO de prendre en considération les différents facteurs susceptibles d'affecter le choix des mécanismes de gouvernance des relations entre les participants au projet ARPANET. En particulier, l'agence américaine est parvenue à intégrer les facteurs relationnels et contextuels liés à la complexité technologique et à la compatibilité culturelle, à connecter les facteurs endogènes relatifs à la confiance et au contrôle des résultats et à gérer les facteurs endogènes associés à l'incertitude technologique et financière et à l'opportunisme des participants (Eng et Wong, 2009, p. 763).

## 5.2. IMPLICATIONS POUR LES MANAGERS

Cette contribution soulève de nombreux enjeux pour les praticiens en charge de la conception d'une forme organisationnelle adaptée au management de l'innovation comme communauté de communautés. Plus spécifiquement, nos résultats indiquent que les responsables du projet (IPTO) ont été capables d'accomplir quatre tâches qui apparaissent fondamentales en matière de design organisationnel : la veille, la sélection, la connexion et le soutien.

### 5.2.1. Veille

Lorsque l'agence ARPA lance son projet de réseau de communication, elle commence par identifier les acteurs situés à la pointe de la recherche fondamentale et appliquée dans les

domaines des réseaux informatiques et de la communication distribuée. Pour ce faire, l'ARPA-IPTO a été capable de « veiller » les projets scientifiques et techniques prometteurs et de récolter des informations utiles en vue de saisir les opportunités d'innovation. Au moment de décider de la mise en oeuvre le concept de communication distribuée, l'ARPA sait qu'elle ne possède pas tous les savoir faire et compétences nécessaires. En revanche, l'agence 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 d'industriels détenteurs de capacités scientifiques et techniques de haut niveau. Ce faisant, l'agence a su exploiter deux catégories de ressources internes : un *savoir qui* largement tacite permettant d'identifier les acteurs compétents et un *savoir comment* gérer les projets de R&D en collaboration. Dans le cas du projet ARPANET, ces deux catégories de savoirs sont le fruit d'une expérience commune partagée entre les acteurs clefs de l'organisation mise en oeuvre par l'IPTO.

### **5.2.2. Sélection**

L'activité de veille oriente la sélection, parmi l'ensemble des ressources disponibles et accessibles en interne et en externe, de celles qui paraissent les plus prometteuses au regard des objectifs et des contraintes attachés au projet d'innovation. L'une des particularités du processus de sélection des participants au projet ARPANET est que ceux-ci sont à la fois les choisis pour leurs compétences de concepteurs et mais également de futurs utilisateurs du réseau. Dans les années soixante, 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 scientifiques qui participent à son développement. L'immatunité 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 nouveau design dominant en se regroupant au sein du NWG. Dans ce cadre, la standardisation des langages, des protocoles et des interfaces a préparé le développement des applications commerciales. En déployant une structure organisationnelle de type communautaire pour

résoudre des problèmes, codifier les connaissances et favoriser la diffusion de la documentation, l'IPTO a préfiguré les modèles de management de l'innovation ouverte aujourd'hui mise en œuvre dans l'industrie des logiciels (Free/Libre Open Source Software).

### **5.2.3. Connexion**

L'IPTO a également été capable de connecter l'ensemble des ressources, compétences, technologies et communautés susceptibles de contribuer au projet. Le réseau ARPANET lui-même a servi d'interface supportant le dialogue et les communications entre communautés. De plus, l'organisation de réunions formelles (conférence et démonstration) et informelles (création du NWG) régulières au cours desquelles les participants passaient en revue les différentes difficultés techniques et solutions associées a permis de favoriser le dialogue et d'optimiser les capacités de résolution de problème de l'organisation. Cette aptitude à la mise en relation des communautés s'est avérée déterminante. Les directeurs successifs de l'ARPA-IPTO (Licklider et Roberts notamment) ont d'ailleurs été décisifs dans la mesure où l'essentiel des interactions sujettes à discussion (entre scientifiques et BBN notamment) étaient redirigées vers les directeurs qui jouaient alors leur rôle d'arbitre et de modérateur. L'exercice de l'autorité par les directeurs était d'autant plus légitime que les participants reconnaissaient en eux des compétences et des connaissances (notamment architecturales) de haut niveau. Là encore, la capacité de combiner des relations formelles et informelles dans un environnement de travail ouvert a facilité l'exploitation des complémentarités entre les acteurs et permis un développement contrôlé du réseau phase après phase, de l'exploration des connaissances architecturales fondamentales à la standardisation des composants et des langages et l'exploitation commerciale du réseau.

### **5.2.4. Soutien**

Le gouvernement américain, à travers l'ARPA, a su allouer une partie de ses ressources internes (*e.g.*, mise à disposition des compétences de la DSS-W ou de RML) afin de soutenir financièrement, juridiquement et techniquement les acteurs mobilisés sur le projet, de faciliter la coordination de leurs actions et de supporter l'intégration de leurs contributions. Le résultat final est que l'ARPA –qui n'est certes pas une entreprise privée- a été capable d'utiliser au mieux ses compétences et ses ressources internes afin de soutenir, dans la durée, une variété d'acteurs privés et publics porteurs de projets et de compétences indispensables au développement d'une innovation technique et organisationnelle radicale.

## 7. CONCLUSION

Cet article a exploré les mécanismes permettant à des communautés d'acteurs différentes de collaborer dans le but de développer une innovation. Le but était de mettre en lumière les facteurs qui sous tendent la coordination des communautés et l'intégration de leurs contributions dans un environnement innovant. La recherche a consisté à examiner le cas d'une innovation technologique majeure survenue dans le secteur des télécommunications aux Etats-Unis à la fin des années soixante : ARPANET. Nos résultats montrent que le succès du projet a reposé sur la capacité de l'agence fédérale en charge du projet (ARPA) de concevoir une forme organisationnelle et un modèle de gouvernance communautaires adaptés aux caractéristiques de l'innovation. Dans ce cadre, nous avons suggéré que l'IPTO a été capable d'accomplir quatre tâches, chacune correspondant à une capacité en matière de design organisationnel : la veille, la sélection, la connexion et le soutien. Nous espérons que la question de recherche et la méthodologie utilisée dans cette contribution susciteront l'intérêt des chercheurs et encourageront les travaux sur le thème de l'innovation comme communauté de communautés.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- Amin, A. et Cohendet, P. (2004), "Communities and governance of knowledge in the firm", in : Amin, A. et Cohendet, P., *Architectures of Knowledge, Firms Capabilities, and Communities*, Oxford, U.P.
- ARPANET Study Final Report (1972), prepared for DARPA by RCA Service Company.
- Baran, P. (1964), "On distributed communication networks", *IEEE Transactions on Communications Systems*, 12 (March), pp. 1-9.
- Bolt Beranek and 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.).
- Brown, J.S., Duguid, P. (1991), "Organizational learning and communities-of-practice: Toward a unified view of working, learning, and innovation", *Organization Science*, vol. 2, n°1, pp. 40-57.
- Catel, F. (2007), « Modularité et organisation industrielle : vers un isomorphisme entre produits et organisation ? », *Economie Appliquée*, vol. 60, n°2, pp. 183-207.
- Chesbrough, H., Teece, D. (1996), "When is virtual virtuous? Organising for innovation", *Harvard Business Review*, vol. 74, n°1, pp. 65-73.
- Chesbrough, H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Boston Massachusetts: Harvard business School Press.
- Cohen, W.M., Levinthal, D.A. (1990), "Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n°1, pp. 128-152.
- Cohendet, P., Créplet, F., Dupouët O. (2003), « Innovation organisationnelle, communautés de pratique et communautés épistémiques : le cas de Linux », *Revue Française de Gestion*, vol. 146, n°5, pp. 99-121.



- Cohendet, P., Créplet, F., Dupouët O. (2006), *La Gestion des Connaissances. Firms et Communautés de Savoir*, Economica : Paris.
- Davies, D.W., Barber, D.L.A. (1973), *Communications Networks for Computers*, John Wiley & Sons.
- Eisenhardt, K.M. (1989), "Building theory from case study research", *Academy of Management Review*, vol. 14, n°4, pp. 532-550.
- Ethiraj, S. (2007), "Allocation of inventive effort in complex product systems", *Strategic Management Journal*, vol. 28, n°6, pp. 563-584.
- Hargadon, A.B., Douglas, Y. (2001), "When innovations meet institutions: Edison and the design of electric light", *Administrative Science Quarterly*, vol. 46, n° 3, pp. 476-501.
- 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., Wolf, S.S. (1997), "The past and future history of the Internet", *Communication of the ACM*, vol. 40, n°2, pp. 102-108.
- Lenfle, S. (2009), "Exploration, project evaluation and design theory: A rereading of the Manhattan case", Communication to the 11<sup>th</sup> IRNOP Conference. Berlin, October 11-13, 2009, 26 pages.
- Licklider, J., Clark, W. (1962), "On-line man-computer communication", *Spring Joint Computer Conference*, National Pres, Palo Alto CA, May 1962, vol. 21, pp. 113-128.
- Nonaka, I. (1994), "A dynamic theory of organizational knowledge creation", *Organization Science*, vol. 5, n°1, pp. 14-37.
- Pickering, J., King, J. (1995), "Hardwiring weak ties: Interorganizational computer-mediated communications, occupational communities, and organizational change", *Organization Science*, vol. 6, n°4, pp. 479-486.
- Roberts, L., 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://ia311536.us.archive.org/0/items/TheArpanetAndComputerNetwork/MML.txt>).
- Scranton, P. (2007), "Turbulence and redesign: dynamic innovation and the dilemmas of US military jet propulsion development", *European Management Journal*, vol. 25, n° 3, pp. 235-248.
- Sosa, M.E., Eppinger, S.D., Rowles, C.M. (2004), "The misalignment of product architecture and organisational structure in complex product development", *Management Science*, vol. 50, n°12, pp. 1674-1689.
- Teece D., Pisano G., Shuen A. (1997), "Dynamic capability and strategic management", *Strategic Management Journal*, vol. 18, n°7, pp. 509-533.
- Thomke, S., von Hippel, E. (2002), "Customers as innovators: a new way to create value", *Harvard Business Review*, vol. 80, pp. 74-81.
- Von Hippel, E. (1988), *The Sources of Innovation*, Oxford University Press: New York.
- Von Hippel, E. (2005), *Democratizing Innovation*, MIT Press. Available online at: <http://web.mit.edu/evhippel/www/books.htm>
- Weick, K.E. (1993), "The collapse of sensemaking in organisations: The Mann Gulch disaster", *Administrative Science Quarterly*, vol. 38, n°4, pp. 628-652.