

Titre: Étude de l'évolution du réseau de collaboration dans l'industrie canadienne des technologies de l'information et des communications : le secteur matériel en mutation
Title:

Auteur: Melik Hamida Bouhadra
Author:

Date: 2016

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Bouhadra, M. H. (2016). Étude de l'évolution du réseau de collaboration dans l'industrie canadienne des technologies de l'information et des communications : le secteur matériel en mutation [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2237/>
Citation:

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/2237/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Beaudry
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU RÉSEAU DE COLLABORATION DANS L'INDUSTRIE
CANADIENNE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES
COMMUNICATIONS : LE SECTEUR MATÉRIEL EN MUTATION

MELIK HAMIDA BOUHADRA

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AOÛT 2016

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU RÉSEAU DE COLLABORATION DANS L'INDUSTRIE
CANADIENNE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES
COMMUNICATIONS : LE SECTEUR MATÉRIEL EN MUTATION

présenté par : BOUHADRA, Melik Hamida

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., président

Mme BEAUDRY Catherine, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. DOLOREUX David, Ph. D., membre

DÉDICACE

À ma grand-mère, 96 ans et toujours aussi vive d'esprit, ma source d'inspiration

REMERCIEMENTS

Ce travail de longue haleine n'est pas le résultat d'un effort de ma propre personne uniquement. L'aide et l'appui reçus au cours des deux dernières années m'ont permis d'accomplir cet ouvrage avec motivation et bonne humeur. J'aimerais donc remercier toute personne ayant contribuée, de près ou de loin, à ce mémoire.

Tout d'abord, un gros merci à ma directrice de recherche, Mme Catherine Beaudry, pour son appui, sa direction et sa créativité. Même si ce dernier élément peut parfois rajouter du travail, ce fut un plaisir de côtoyer un esprit aussi vif. De plus, j'ai eu l'immense plaisir de l'accompagner en conférences à Ottawa, Saskatoon, Montréal et à Londres, point culminant de mon expérience à la maîtrise.

J'aimerais remercier mes collègues de la Chaire de recherche pour l'incroyable ambiance que nous avons créée au local A-304. Plus spécifiquement, merci à Constant Rietsch et à Anaïs Dorseuil pour m'avoir aidé avec le développement d'une macro Excel.

Une mention spéciale pour Pauline Huet, qui collabore avec notre groupe de recherche depuis son poste à L'Observatoire des sciences et des technologies. Elle fut d'une grande aide pour l'extraction et le nettoyage des données bibliométriques. Elle m'a aussi permis de raffiner ma définition du secteur matériel des TIC.

Je remercie également Martin Trépanier et David Doloreux, respectivement directeur et membre externe du jury pour l'évaluation de mon mémoire de maîtrise.

Enfin, amis et famille, je ne saurai exprimer ma gratitude par quelques mots mais sachez que toutes mes réalisations sont imprégnées de votre confiance en mes moyens et de votre soutien indéfectible.

RÉSUMÉ

Le secteur matériel de l'industrie des technologies de l'information et des communications (TIC) est en déclin sur le territoire nord-américain. Pourtant, il fait partie des domaines technologiques qui veut permettre aux nations de bénéficier des opportunités offertes par le tournant numérique qui est aujourd'hui en branle. Il est donc pertinent d'accroître notre compréhension des dynamiques dictant ce secteur.

Au cours des dernières décennies, la reconnaissance de l'importance des réseaux de collaboration dans la recherche scientifique a grandement augmenté. Le secteur matériel des TIC ne fait pas exception à la règle. Les firmes et les chercheurs universitaires tentent, pour différentes raisons, d'établir des partenariats de recherche. Par ailleurs, les instances gouvernementales favorisent les collaborations mais peu d'évidence existe sur l'effet de ces politiques. Dans la littérature récente, il a été démontré que la structure des réseaux de collaboration a un impact sur la diffusion de connaissances au sein de ceux-ci.

Ce travail caractérise les réseaux de collaboration du secteur matériel des TIC, au Canada. Pour ce faire, des données de financement sont jumelées aux données bibliométriques de co-publication. On analyse donc, l'aspect de recherche universitaire mais également les liens avec les différentes organisations de l'écosystème. Plus précisément, les données de subvention de la recherche proviennent du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et de l'organisme MITACS, pour les projets ayant eu lieu entre 1998 et 2014.

D'un point de vue méthodologique, la technique d'analyse de réseaux sociaux est employée. Cette méthode permet de construire les réseaux de collaboration, couvrant des périodes de cinq ans, et de calculer des mesures de centralité, en plus de déterminer la structure des réseaux.

Les résultats montrent que les réseaux de collaboration, tirés du financement des projets collaboratifs de recherche et des données bibliométriques, possèdent une structure résiliente de type *petit-monde*. Cela signifie qu'elles ont des propriétés optimales de transfert de connaissances. Les mesures de centralité ont aussi permis de déterminer que la dynamique de collaboration évolue de plus en plus vers une formule université-industrie. Parmi, les universités, c'est l'université de Colombie-Britannique qui possède la plus grande centralité dans le réseau.

ABSTRACT

The hardware sector of the information and communications technologies (ICT) industry is loosing ground in North America. Yet, it is one of the technological fields that can allow nations to capitalize on opportunities brought by the digital revolution. Therefore, it is crucial to increase our understanding of the forces and dynamics dictating this sector.

Over the last few decades, the importance of collaboration networks has increased in scientific research in a vast number of sectors. The ICT hardware industry is no exception and both firms and academic researchers are, for different reasons, seeking to establish partnerships. Moreover, government's agencies are encouraging and fostering collaboration practices but they lack evidence of the effects theses policies have. In recent literature, the collaboration networks structure has shown impact on knowledge diffusion properties.

In this thesis, we characterize the collaboration networks from the ICT hardware sector in Canada. In order to achieve this, we used collaboration data from funding sources and more traditional bibliometric data, co-authorship to be precise. We analyzed the academic research links but also the connections between the different organisations within the ecosystem. More specifically, data regarding research funding comes from Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and from the not-for-profit organization MITACS, for collaborative research projects in the 1998-2014 period.

From a methodological standpoint, a social network analysis (SNA) has been performed. This technic allowed the construction and visualization of the collaborations networks, using five years windows. On the quantitative side, we could calculate centrality measures, as well as determine the structure of the studied networks.

Results show the presence of a resilient *small-world* structure in the collaboration networks mapped with both the funding and bibliometric data, which suggests that they possess optimal properties in terms of knowledge transfer and information diffusion. Centrality measures helped us highlight the evolution of the collaboration pattern toward a university-industry formula. Amongst academic institutions, the University of British-Columbia is the most central and collaborative actor.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVI
LISTE DES ANNEXES	XVII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Définition du secteur matériel des TIC (<i>Hardware</i>)	3
1.3 Secteur matériel des TIC au Canada	4
1.3.1 Structure de l'industrie des TIC et positionnement du secteur matériel	5
1.3.2 Dynamique d'innovation.....	9
1.4 Résumé	12
CHAPITRE 2 RECENSION DE LA LITTÉRATURE	13
2.1 Diffusion de connaissances	13
2.2 Collaboration.....	14
2.2.1 Relations Universités - Industrie	14
2.2.2 Collaboration entre chercheurs (<i>Research collaboration</i>)	18
2.2.3 Facteurs de proximité	25
2.3 Analyse de réseaux sociaux dans un contexte de collaboration.....	32

2.3.1 L'impact de la structure du réseau	32
2.4 Convergence matériel-logiciel dans les TIC	37
2.5 Résumé	40
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE	42
3.1 Données	42
3.1.1 Le CRSNG	42
3.1.2 L'organisme MITACS	43
3.1.3 Structure des données	44
3.2 Hypothèses et objectifs de recherche	49
3.2.1 Objectifs de recherche	50
3.3 Méthodologie générale de recherche	50
3.4 Traitement Excel: construction des matrices de collaboration	51
3.5 Analyse de réseaux sociaux et indicateurs	54
3.5.1 Propriétés des réseaux et des nœuds	57
3.5.2 Construction et visualisation des réseaux avec Gephi	64
3.6 Résumé	67
CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET ANALYSE	68
4.1 Évolution globale de la collaboration	68
4.1.1 Financement CRSNG	68
4.1.2 Financement MITACS	71
4.2 Structure du réseau de collaboration CRSNG	73
4.2.1 Réseaux de chercheurs	73
4.2.2 Réseaux de chercheurs et de firmes	80
4.2.3 Réseaux d'organisations	87

4.3	Structure du réseau de collaboration MITACS	95
4.4	Structure du réseau de co-publications.....	99
4.4.1	Analyse de petit-monde.....	99
4.4.2	Lien entre financement et co-publication.....	103
4.5	Étude de la convergence.....	107
4.5.1	Convergence dans la recherche	107
4.6	Résumé	111
CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		113
5.1	Limites de recherche et propositions de travaux futurs.....	116
BIBLIOGRAPHIE		119
ANNEXES		132

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1: Rappel des éléments principaux de chaque dimension de proximité (Source: basé sur Boschma (2005b, p. 71))	31
Tableau 3-1: Nombre de liens de co-publications entre paires d'auteurs de liste CRSNG	49
Tableau 3-2: Exemple de consolidation de données CRSNG.....	52
Tableau 3-3: Liens CRSNG créés par la macro Excel	53
Tableau 3-4: Exemple de disposition des données pour les projets MITACS	53
Tableau 3-5: Extraction des liens de collaboration MITACS	54
Tableau 3-6: Exemple d'un fichier de liens pour le logiciel Gephi	65
Tableau 3-7: Exemple d'un fichier de nœuds pour le logiciel Gephi	65
Tableau 4-1: Évolution de la collaboration dans les projets TIC	68
Tableau 4-2: Nombre de projets CRSNG reliés au secteur matériel des TIC	70
Tableau 4-3: Budget alloué aux projets CRSNG reliés au secteur matériel des TIC.....	70
Tableau 4-4: Subvention CRNSG moyenne par type de projet dans le secteur matériel des TIC	71
Tableau 4-5: Nombre de projets MITACS.....	72
Tableau 4-6: Biais de sélection des projets MITACS du secteur matériel.....	72
Tableau 4-7: Propriétés de petit-monde de la composante principale	78
Tableau 4-8: Propriétés de petit-monde de la seconde composante.....	79
Tableau 4-9: Impact des liens avec les organisations sur la taille de la composante principale ...	81
Tableau 4-10: Propriétés de petit-monde pour la composante principale du réseau de collaboration chercheurs-organisations.....	81
Tableau 4-11: Ratio entre le degré et le degré pondéré des universités	91
Tableau 4-12: Top 5 des liens ayant le plus grand poids pour la période 2007-2011.....	92
Tableau 4-13: Top 10 des chercheurs selon la centralité de degré.....	96

Tableau 4-14: Top 10 des firmes selon la centralité de degré.....	97
Tableau 4-15: Top 10 des universités selon la centralité de degré (MITACS).....	98
Tableau 4-16: Provinces les plus actives auprès du financement MITACS (centralité de degré)	98
Tableau 4-17: Propriétés de petit-monde du réseau de co-publications.....	103
Tableau 4-18: Part du top 20 des chercheurs les plus centraux dans le réseau de co-publications provenant du top 20 d'intermédiarité dans le réseau de financement CRSNG.....	103
Tableau 4-19: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2010-2014.....	105
Tableau 4-20: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2009-2013.....	105
Tableau 4-21: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2008-2012.....	105
Tableau 4-22: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2010-2014	106
Tableau 4-23: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2009-2013	107
Tableau 4-24: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2008-2012	107
Tableau 4-25: Évolution des liens de collaboration entre sous-secteurs des TIC	108
Tableau 4-26 : Composition du réseau de chercheurs.....	109
Tableau 4-27: Évolution des liens de collaboration entre sous-secteurs des TIC (en valeur absolue)	110
Tableau 4-28: Comparaison des composantes principales pour les réseaux 1998-2002 et 2010-2014.....	111
Tableau B-1 : Données des revenus, en milliards, par sous-secteurs des TIC au Canada en 2014	133

Tableau H-1: Centralité d'intermédiarité normalisée pour les organisations gouvernementales.	148
Tableau H-2: Centralité de vecteurs propres pour les organisations gouvernementales.....	148
Tableau I-1: Centralité d'intermédiarité normalisée pour les entreprises privées.....	149
Tableau I-2: Centralité de vecteurs propres pour les entreprises privées.....	149
Tableau K-1: Centralité d'intermédiarité pour les universités.....	151
Tableau K-2: Centralité de vecteurs propres pour les universités.....	152

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Répartition des entreprises TIC selon leur sous-secteur, en 2014	5
Figure 1-2: Taille des entreprises en TIC au Canada, 2014	6
Figure 1-3: Revenu, en milliards de dollars, entre 2007-2014 par sous-secteur des TIC au Canada (Source: Government of Canada, 2014).....	7
Figure 1-4: Dépenses en R et D par sous-secteur des TIC au Canada en 2014	8
Figure 1-5: Répartition des biens TIC exportés en 2014	9
Figure 1-6: Loi de Moore (Source: Intel)	10
Figure 2-1: Cadre d'analyse pour la littérature sur la collaboration dans le milieu de recherche ..	20
Figure 2-2: Réseau évoluant selon le degré d' <i>aléatoirité</i> , p	36
Figure 2-3: Cadre d'analyse du media numérique (<i>digital media</i>)	39
Figure 3-1: Méthodologie générale de recherche.....	51
Figure 3-2: Exemple d'un graphe à six nœuds et sept liens (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)	56
Figure 3-3: Illustration de la centralité de degré (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)	60
Figure 3-4: Illustration de la centralité d'intermédiarité (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)....	61
Figure 3-5: Illustration de la centralité de vecteurs propres (Source: (Mascolo, Cambridge, 2016))	62
Figure 3-6: Exemple de graphe créé avec Gephi dans le cadre de ce travail	66
Figure 4-1: Évolution de la composition de la composante principale pour le réseau de chercheurs universitaires	73
Figure 4-2: Réseau 2008-2012 de collaboration entre chercheurs universitaires	74
Figure 4-3: Évolution de la composition de la seconde composante pour le réseau de chercheurs universitaires	75
Figure 4-4: a) la composante principale du réseau 2004-2008 et b) la seconde composante du réseau 2005-2009	76

Figure 4-5: Évolution de la taille (nombre de noeuds) des deux majeures composantes du réseau de collaboration entre chercheurs universitaires	76
Figure 4-6: Coefficients de groupement (CC) de la composante principale du réseau de collaboration et d'un réseau aléatoire.....	77
Figure 4-7: Longueurs de chemin moyen de la composante principale du réseau de collaboration et d'un réseau aléatoire.....	77
Figure 4-8: a) La composante principale du réseau 2009-2013 de collaboration chercheurs-organisations (où les organisations sont en vert et les chercheurs en rouge) et b) les liens surlignés d'une firme qui lient des sous-groupes de chercheurs.....	80
Figure 4-9: Évolution de variable <i>SW</i> pour les deux types de réseaux (avec et sans organisations)	82
Figure 4-10: Centralité d'intermédiairité normalisée des firmes dans le réseau de collaboration ..	83
Figure 4-11: Centralité de vecteurs propres des firmes dans le réseau de collaboration	84
Figure 4-12: Centralité d'intermédiairité normalisée des organisations publiques dans le réseau de collaboration.....	85
Figure 4-13: Centralité de vecteurs propres des organisations publiques dans le réseau de collaboration.....	87
Figure 4-14: Réseau de collaboration CRSNG des organisations pour la période 2009-2013	88
Figure 4-15: Centralité de degré des universités	89
Figure 4-16: Degré pondéré des universités.....	90
Figure 4-17: Centralité d'intermédiairité normalisée des universités	93
Figure 4-18: Centralité de vecteurs propres des universités	94
Figure 4-19: Réseau de collaboration MITACS 2013-2015 entre chercheurs et entreprises.....	95
Figure 4-20: a) Réseau de co-publications 2010-2014 et b) sa composante principale	100
Figure 4-21: Évolution de la composition de la composante principale	101
Figure 4-22 : a) Réseau de co-publications 1998-2002 et b) sa composante principale	101

Figure 4-23: Réseau 2010-2014 de collaboration universitaire pour les projets TIC du CRNSG, où les chercheurs du secteur matériel sont en bleu et les autres (logiciel et services) en vert.

.....108

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CDO	<i>Creating Digital Opportunity</i>
CRSH	Conseil de recherche en sciences humaines
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
FQRNT	Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies
R&D	Recherche et développement
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OST	L'Observatoire des sciences et des technologies
TIC	Technologies de l'information et des communications
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A - CLASSIFICATION DU SECTEUR MATÉRIEL	132
ANNEXE B – REVENUS PAR SOUS-SECTEUR DES TIC	133
ANNEXE C – LISTE DE CHERHEURS DU SECTEUR MATÉRIEL SELON LA CLASSIFICATION DU CRSNG	134
ANNEXE D – CHAMPS NON PERTINENTS AU SECTEUR MATÉRIEL.....	144
ANNEXE E – MACRO EXCEL POUR DONNÉES CRSNG.....	145
ANNEXE F – MACRO EXCEL POUR DONNÉES MITACS	146
ANNEXE G – CENTRALITÉ DE DEGRÉ POUR LES FIRMES (CRSNG)	147
ANNEXE H – DONNÉES DE CENTRALITÉ (ORGANISATIONS).....	148
ANNEXE I – DONNÉES DE CENTRALITÉ (FIRMES)	149
ANNEXE J – DONNÉES DE CENTRALITÉ DE DEGRÉ (UNIV.).....	150
ANNEXE K – DONNÉES DE CENTRALITÉ DES UNIVERSITÉS (CRSNG).....	151
ANNEXE L - BUDGET CRSNG EN DOLLARS CONSTANTS PAR RAPPORT À 2013	153
ANNEXE M - SUJET DE RECHERCHE CRSNG.....	154

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Afin de bien circonscrire le sujet de ce mémoire, ce premier chapitre vise d'abord à faire la lumière sur les raisons nous poussant à étudier le secteur matériel des TIC au Canada. Ensuite, pour s'assurer de bien cerner le secteur, une définition de ce dernier, en plus d'une description de sa structure et sa dynamique d'innovation, seront également présentées.

1.1 Mise en contexte

Les technologies numériques en constante évolution sont critiques à l'économie globale ainsi qu'à la prospérité et à la future croissance économique du Canada. Le rythme d'innovation rapide combiné au changement de leadership se produisant à l'échelle globale génèrent des défis de taille pour les industries numériques canadiennes. Ce dynamisme crée également de nouvelles opportunités. Afin que le Canada bénéficie de celles-ci, le gouvernement et les entreprises se doivent d'agir. La compétitivité du pays et ses perspectives de croissance sont inextricablement liées à sa capacité de saisir cette *opportunité du numérique*. D'ailleurs, le Québec a récemment lancé sa Stratégie Numérique, pilotée par Dominique Anglade (alumna du programme de génie industriel à Polytechnique Montréal), Ministre de l'Économie, de la Science et de l'Innovation.

À la veille de cette transformation numérique, le Canada manque d'information et de connaissances pertinentes afin de réussir ce virage technologique. Cette insuffisance de la recherche au niveau de la position du Canada dans le monde du numérique laisse un vide inquiétant dans la base de connaissances nécessaires à l'établissement de politiques efficaces. C'est dans l'optique de répondre à ce manquement que le projet de recherche *Creating Digital Opportunities* (CDO) a été lancé en 2014. Ce partenariat de recherche sur l'économie numérique, qui regroupe 16 universités et plus de 10 organisations partenaires à travers le pays, vise plus spécifiquement à répondre au questionnement suivant: comment le Canada peut-il faire face aux défis amenés par l'environnement numérique en continual changement, tout en bénéficiant d'opportunités émergentes qui apporteront une prospérité économique (*Creating Digital Opportunity | Innovation Policy Lab*). Le but premier du partenariat est de positionner le Canada dans l'économie numérique à l'échelle globale et d'identifier les occasions qui lui permettront de formuler des politiques favorisant le renforcement ou le développement d'avantages compétitifs à l'international. Ce faisant, le défi posé par ce projet est d'identifier quelles sont ces opportunités,

ainsi que les risques qui y sont rattachés, et de proposer les politiques les plus efficaces afin d'assurer des bénéfices pour le Canada et la future prospérité des canadiens.

Ce projet pancanadien se concentre sur deux des cinq priorités de recherche du Conseil de Recherche en Sciences Humaines (CRSH), soit *l'Économie numérique et l'Innovation, leadership et prospérité*. En faisant usage d'une variété de méthodes de recherche, le partenariat vise à identifier les forces du Canada dans les secteurs numériques actuels et émergents, en soulignant la place des organisations canadiennes dans le réseau global de production et dans le réseau global d'innovation. Dans le même ordre d'idées, le projet examine comment les régions et même les villes peuvent investir dans des compétences spécifiques et des infrastructures clés, en plus d'établir des politiques appropriées, afin de soutenir les entreprises locales et d'attirer des firmes étrangères. D'autre part, le partenariat étudie aussi la diffusion et l'adoption des technologies numériques dans les autres secteurs cruciaux de l'économie canadienne.

Dans le cadre du projet CDO, l'équipe de Polytechnique Montréal, par le biais de la Chaire de recherche du Canada sur la création, le développement et la commercialisation de l'innovation, se concentre sur la caractérisation des liens de collaboration dans le secteur matériel de l'industrie des technologies de l'information et des communications (TIC). Plus précisément, notre étude porte sur les liens de collaboration au niveau de la recherche. Il a été démontré dans de nombreuses études que la recherche collaborative était chose courante dans les domaines technologiques, tel que les TIC (e.g., Kraut, Egido, et Galegher, 1988; Subramanyam, 1983). Les activités reliées à la fabrication de composantes matérielles dans l'industrie des TIC se déplacent vers des régions où les coûts de main-d'œuvre sont plus faibles, telle que l'Asie du Sud-Est. La pertinence de ce travail réside dans la compréhension des mécanismes de collaboration, visant à augmenter les capacités d'innovation, dans le secteur matériel des TIC au Canada.

Ce choix d'étudier le secteur matériel vient en partie du fait que le Québec contient un des derniers châteaux forts de ce secteur, notamment dans la région de Bromont. On peut y trouver, entre autres, des firmes ancrées telles que IBM Bromont et Teledyne Dalsa, l'Université de Sherbrooke, une université renommée dans le domaine, et un centre de collaboration, le C2Mi. Le projet CDO continuera jusqu'en 2019. Ce faisant, le travail présenté dans cet ouvrage se veut un premier pas vers une compréhension approfondie de l'écosystème d'innovation du secteur matériel des TIC au Canada.

1.2 Définition du secteur matériel des TIC (*Hardware*)

Il est important de définir le secteur avant de l'étudier plus en profondeur. D'autant plus que les TIC n'ont pas les frontières bien établies que peuvent avoir d'autres industries. Dans cette sous-section, on présente la définition que nous utilisons pour le secteur matériel des TIC. D'abord, d'un point de vue industriel, le gouvernement canadien, via Industrie Canada, établit que le sous-secteur matériel ou de fabrication contient les éléments suivants (Government of Canada, 2014):

- Matériel informatique et périphérique
- Matériel de communication
- Composants électroniques
- Matériel audio et vidéo
- Supports magnétiques et optiques

En 1998, les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ont également défini le secteur. Ils se sont entendus sur le fait que les TIC sont la combinaison des industries de fabrication et de services qui capturent, transmettent et présentent de l'information et des données de manière électronique (OCDE, 2002). Pour les industries de fabrication, les produits doivent répondre à une des exigences suivantes :

- Doivent être conçus afin de réaliser une fonction de traitement d'information et de communications, incluant la transmission et l'affichage.
- Doivent utiliser un traitement électronique afin de détecter, mesurer et/ou enregistrer des phénomènes physiques ou contrôler un processus physique.

Les classes plus précises de produits sont en Annexe A, à des fins de consultation. En 2002, l'OCDE a pris la décision de garder la définition inchangée. L'organisation reconnaît cependant la difficulté d'encadrer l'aspect production de biens en TIC car ces produits se retrouvent partout dans l'économie (OCDE, 2002). En 2006-2007, le *Working Party on Indicators for the Information Society* (WPIIS), a invité un groupe d'experts afin de revoir les définitions. Suite à cette révision, qui a provoqué beaucoup de débats, une proposition simplifiée pour les produits de l'industrie manufacturière des TIC a été présentée:

- Doivent être conçus afin de réaliser une fonction de traitement d'information et de communications par un processus électronique, incluant la transmission et l'affichage.

Celle-ci n'a pas engendré le consensus nécessaire à son adoption au sein de l'OCDE. Des produits, tel que la fibre optique, représentent un cauchemar en terme de classification. En effet, la fibre optique, en pratique, utilise de la lumière et non de l'électricité lorsqu'elle transmet de l'information, mais cette dernière est pratiquement toujours utilisée dans le cadre des TIC. À ce jour, les discussions continuent mais elle est considérée comme faisant partie du secteur matériel des TIC (OECD, 2014). Bref, la première définition est toujours utilisée et c'est sur cette dernière que s'est basé le Canada pour définir le secteur (OECD, 2014).

À titre d'illustration, voici une liste de produits qui représente bien la grande variété de produits que contient le sous-secteur :

- Un GPS
- Une antenne de télécommunications
- Un démarreur à distance
- Une carte graphique pour les ordinateurs, une imprimante, etc.

Lorsqu'on considère tous ces produits et qu'on désire établir une définition pour le secteur matériel des TIC dans un contexte de recherche, on fait face à tâche ardue. Dans le cadre de ce travail, on considère toute recherche menant aux développements ou à l'étude de composantes ou de technologies visant à être implémentées dans un produit du sous-secteur matériel des TIC comme étant sujet d'intérêt. Ce faisant, on couvre des domaines pointus, tel que l'informatique quantique, mais également des sujets plus communs comme les semi-conducteurs.

1.3 Secteur matériel des TIC au Canada

Les TIC sont de plus en plus utilisées dans tous les secteurs de l'économie. C'est également une industrie qui évolue rapidement contrairement à d'autres plus traditionnelles, telles que la finance et les services légaux. Ce faisant, il est pertinent d'avoir une vue d'ensemble de l'industrie, et plus précisément du secteur matériel, avant d'aller plus loin dans cette recherche. Cela permet également de mettre en contexte les résultats trouvés et de penser à des recommandations pratiques à des fins de développement de politiques d'innovation.

1.3.1 Structure de l'industrie des TIC et positionnement du secteur matériel

L'industrie des technologies de l'information et des communications est vaste. Selon le ministère Innovation, Sciences et Développement économique du Canada, ce dernier est subdivisé en quatre grandes catégories : Logiciels et services informatiques, Commerce de gros, Fabrication et Services de communications. Le sujet de ce mémoire porte, plus spécifiquement, sur le sous-secteur de Fabrication au Canada puisque c'est le contexte d'innovation entourant la production et la commercialisation des composantes matérielles qui nous intéresse ici. On peut voir la répartition des entreprises par sous-secteur des TIC en 2014 à la Figure 1-1. On note que la part d'entreprises du sous-secteur Fabrication est de seulement 2,8 %. De plus, cette part est en diminution depuis 2013 (3 % vs 2,8 %). L'industrie des TIC au Canada est largement dominée par le secteur des logiciels et des services informatiques.

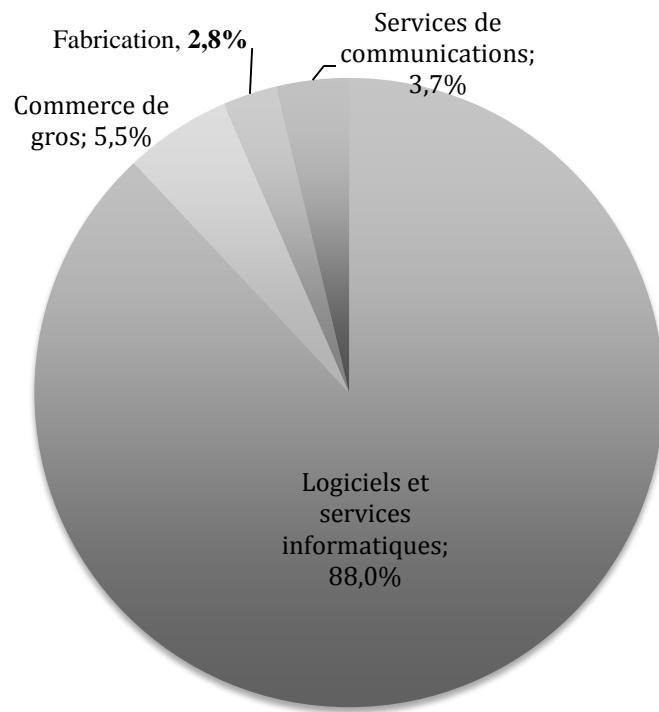


Figure 1-1: Répartition des entreprises TIC selon leur sous-secteur, en 2014

(Source: Government of Canada, 2014)

La Figure 1-2 montre la répartition des entreprises de l'industrie des TIC au Canada, en fonction de leur taille, pour l'année 2014. Ici, la taille est mesurée à l'aide du nombre d'employés. La

grande majorité des entreprises (85,6 %) ont un nombre d'employés se situant entre un et neuf. Cependant, selon les données d'Industrie Canada, le sous-secteur de Fabrication possède la plus importante part de grandes d'entreprises, avec 14,5 % d'entreprises ayant plus de 50 employés contre 3,1 % pour la moyenne de l'industrie, en 2014.

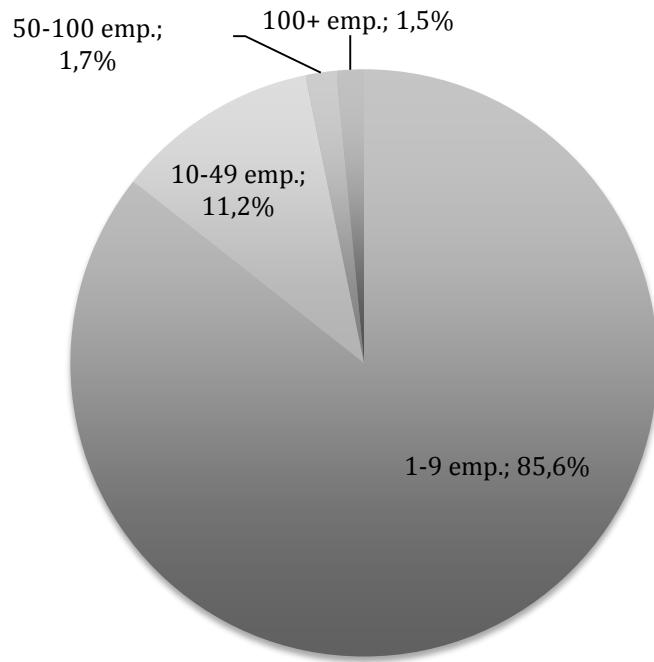


Figure 1-2: Taille des entreprises en TIC au Canada, 2014

(Source: Government of Canada, 2014)

Au niveau des revenus, le portrait n'est pas très encourageant pour notre secteur d'étude au Canada. En effet, on peut voir à la Figure 1-3 que son revenu généré est en constante baisse depuis 2007. Pour être plus précis, ses revenus ont diminué de 16 à 8,5 milliards de dollars entre 2007 et 2014, soit une chute d'environ 50 %. C'est en raison de chiffres de cette nature que le contexte de notre recherche prend de l'importance. Si le Canada veut tirer son épingle du jeu, elle doit en comprendre les mécanismes. Le tableau de données relié à la Figure 1-3 se trouve en Annexe B.

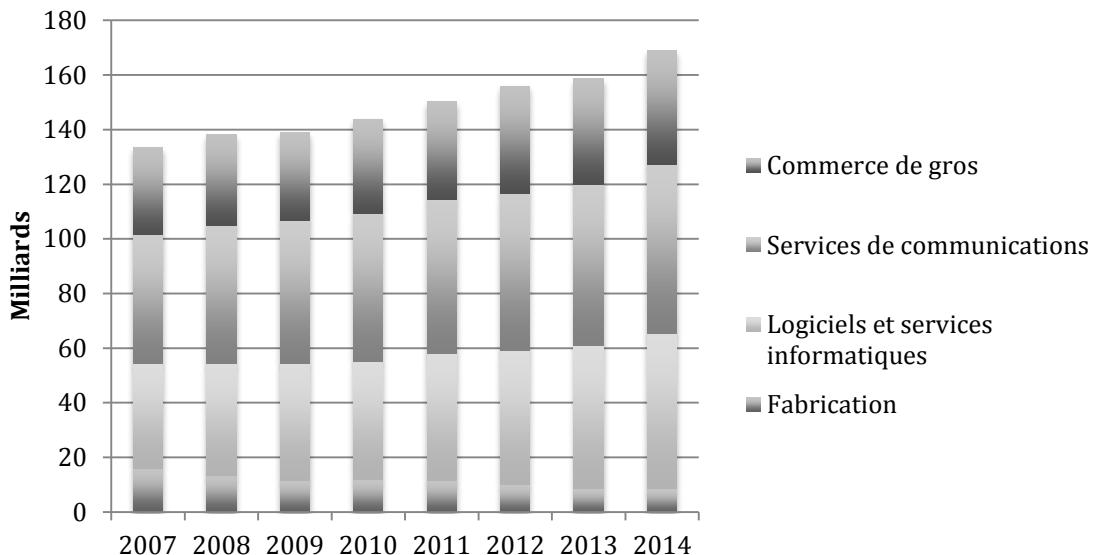


Figure 1-3: Revenu, en milliards de dollars, entre 2007-2014 par sous-secteur des TIC au Canada

(Source: Government of Canada, 2014)

À l'échelle nationale, l'industrie des TIC est celle où les entreprises effectuent le plus de recherche et développement (R et D). En 2014, elle représentait 31,1 % de toutes les dépenses en R et D du secteur privé, pour un total de 4,9 milliards de dollars. Cependant, de 2007 à 2014, les dépenses en R et D de l'industrie ont baissé de 9 %. De manière plus marquée, ces dépenses ont diminué de 25 % pour le sous-secteur Fabrication. On peut voir, à la Figure 1-4, comment les 4,9 milliards de dollars de dépenses en R et D sont divisés parmi les différents sous-secteurs. Si on regroupe toutes les composantes de fabrication (équipements de communications, composantes électroniques et les autres produits manufacturés), cela totalise 37,8 % des dépenses. On peut donc dire que le sous-secteur Fabrication en est un d'importance au niveau de la recherche et du développement de produits.

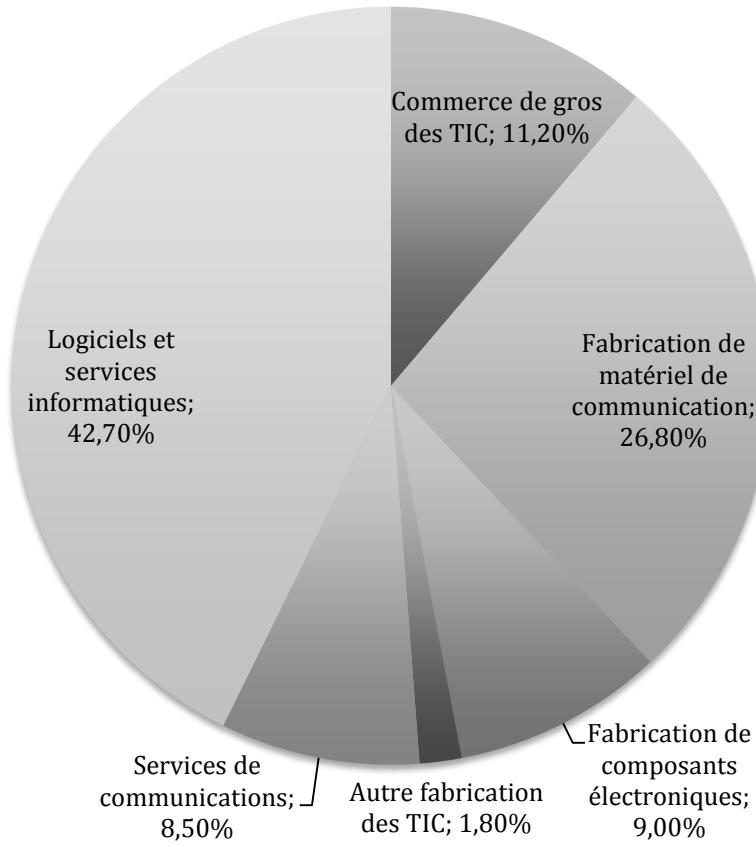


Figure 1-4: Dépenses en R et D par sous-secteur des TIC au Canada en 2014

(Source: Government of Canada, 2014)

Un autre aspect caractérisant le sous-secteur Fabrication au Canada est le marché d'exportations. En 2014, 86% des biens manufacturés de l'industrie des TIC ont été exportés, totalisant 10,5 milliards de dollars. Cependant, entre 2007 et 2014, les exportations ont chuté de 37,2%. Le seul groupe de produits à avoir vu ses exportations augmentées est celui des équipements audio et vidéo. On peut voir les exportations de 2014 selon les grandes familles de produits à la Figure 1-5. Le Canada semble avoir une bonne diversification dans ses produits exportés, puisqu'aucun groupe de produits ne dépasse les 28% des exportations. Les pays partenaires dans ce commerce international sont les États-Unis (67,7% des exportations), la région Asie-Pacifique (11,4%) et l'Union Européenne (10,2%).

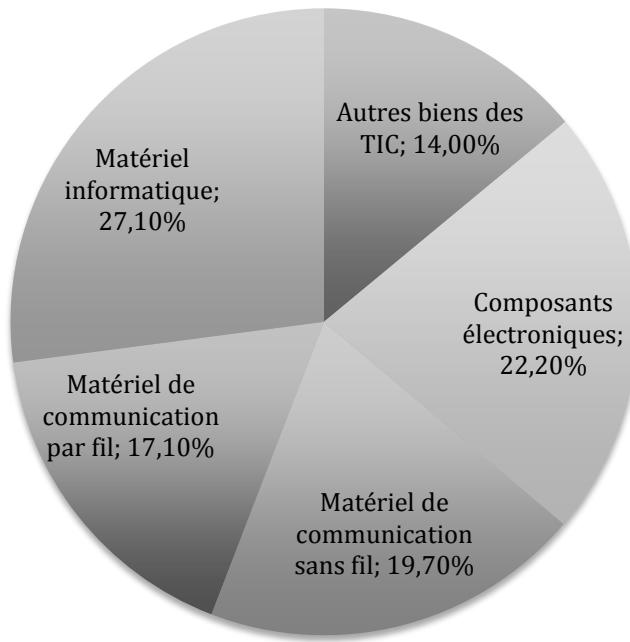


Figure 1-5: Répartition des biens TIC exportés en 2014

(Source: Government of Canada, 2014)

1.3.2 Dynamique d'innovation

Le sous-secteur matériel comporte plusieurs industries, telles que, l'industrie des semi-conducteurs et celle des fibres optiques, pour ne nommer que celles-là. De manière générale, la dynamique de l'industrie des semi-conducteurs explique assez fidèlement celle du secteur de la fabrication des TIC. À l'échelle globale, celle-ci n'a pas cessé de croître pendant les 40 dernières années malgré les difficultés économiques, telles que la crise financière de 2008-2009 ou la bulle internet en 2001. On dénombre de plus en plus d'applications pour les puces électroniques composées de matériaux semi-conducteurs. En effet, en plus des appareils électroniques comme les téléphones intelligents ou les écrans plats, les puces sont désormais utilisées en aérospatial, dans le secteur automobile et dans le domaine de la santé. Ce secteur peut être subdivisé en plusieurs sous-marchés, tels que les appareils de mémoire informatique, les microprocesseurs ou les circuits intégrés. Dans ce résumé, le secteur sera traité de manière générale, afin de donner une vue d'ensemble de la dynamique d'innovation.

Ce secteur d'activité est, sans aucun doute, caractérisé par des innovations technologiques rapides. L'innovation est devenue, au fil des années, la stratégie maîtresse des entreprises œuvrant dans des secteurs de haute technologie, comme celui des semi-conducteurs. En effet, selon Santoro et Chakrabarti (2002), ce secteur est souvent caractérisé par de la compétition féroce, des cycles de vie de produits courts ainsi qu'une tendance à différentier les produits. Sachant que plusieurs grandes entreprises dans le domaine de l'électronique se basent toujours sur les principes de la *loi de Moore* afin de viser leurs objectifs de croissance, il va sans dire, que l'investissement en recherche et développement est primordial dans le secteur. Cette *loi* empirique, exprimée en 1975 par Gordon Moore, cofondateur d'Intel, stipule que le nombre de transistors des microprocesseurs sur une puce de silicium double tous les deux ans. Étonnamment, ces observations se sont avérées être très près de la réalité, comme le démontre la Figure 1-6.

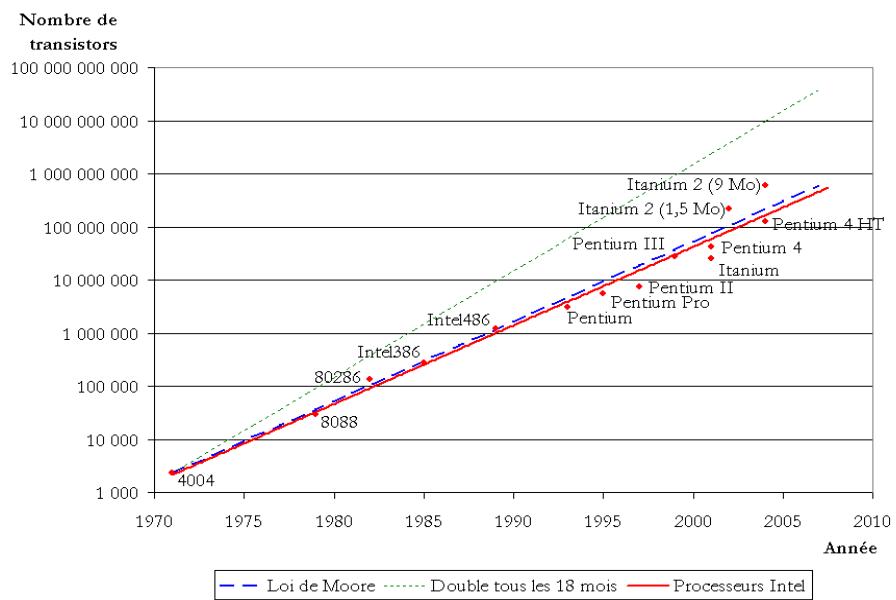


Figure 1-6: Loi de Moore (Source: Intel)

De nos jours, une version plus commune de cette loi est utilisée par les firmes. Celle-ci voudrait qu'un paramètre quelconque, comme la puissance de l'appareil ou la vitesse des processeurs, double chaque 18 mois. Ce modèle d'innovation est de type *technology push* puisque ce sont les chercheurs qui visent cet objectif (Van den Ende et Dolsma, 2005). Le marché, donc les consommateurs, veut ce qu'il y a de plus rapide mais n'exprime pas de manière explicite de

demandes auprès des fabricants de semi-conducteurs. De plus, cela correspond aussi à de l'innovation incrémentale, chaque 18 ou 24 mois, les appareils deviennent plus rapides mais ce ne sont pas des créations destructrices, d'un point de vue schumpétérien (Abernathy et Utterback, 1978; Ali, 1994).

Ce rythme de changement technologique explique, en partie, la domination des gros joueurs sur le marché. En effet, le coût de production est un facteur très important puisque le secteur en est un de production de masse. En fait, les transistors et les microprocesseurs sont considérés comme des technologies à usage général (Gambardella et McGahan, 2010). Alors, les joueurs de plus grande taille peuvent profiter d'économies d'échelle. En 2012, les six fournisseurs de semi-conducteurs qui généraient le plus de revenus représentaient environ 40 % du marché global.

De plus, dans un secteur où le rythme de l'innovation fait en sorte qu'une technologie devient obsolète, ou presque, au bout de deux ans, le rôle des brevets n'est pas aussi essentiel que pour le secteur pharmaceutique, par exemple. Ce faisant, cela renforce l'aspect de recherche et développement qui permet aux entreprises de se démarquer. C'est dans le cadre de cette recherche que les firmes font appel aux universités.

Selon Chesbrough (2003), l'industrie des semi-conducteurs est riche en connaissances et celles-ci proviennent de diverses sources. Par exemple, les compagnies ont souvent leurs centres de recherche et développement mais les universités travaillent aussi beaucoup sur l'étude de nouveaux matériaux. Puisque les microprocesseurs et les puces électroniques formées de semi-conducteurs sont une technologie à général, les sommes investies en recherche et développement sont importantes. Selon Santoro et Chakrabarti (2002), il est donc de plus en plus difficile pour ces firmes de suivre la cadence de l'industrie et des innovations technologiques en s'appuyant uniquement sur leur capacité interne. Les entreprises peuvent avoir accès à différentes sources de savoir via des centres de recherche, des laboratoires gouvernementaux, des universités, de grappes industrielles et même de firmes rivales.

De plus, toujours selon Santoro et Chakrabarti (2002), les grandes firmes, dans ce type de secteur, vont financer des projets de recherche, via les universités, qui ne sont pas directement reliés à leurs activités. Puisque les complémentarités innovantes sont une caractéristique des technologies à usage général, ces firmes espèrent pouvoir trouver de nouvelles applications et augmenter le niveau de connaissances, au sens large, afin de pouvoir en bénéficier par la suite

(Bresnahan et Trajtenberg, 1995). Par exemple, des firmes du secteur matériel des TIC, telle que Intel, financent via leur branche de capital de risque des technologies connexes qui pourraient être un moteur de croissance future (Chesbrough, 2003). Les plus grandes entreprises ont généralement une importante capacité d'absorption même si elles ne sont pas les instigatrices de la totalité des découvertes (Cohen et Levinthal, 1990).

1.4 Résumé

En résumé, ce chapitre a d'abord établi l'importance de la portée de ce travail dans son contexte de recherche. Le Canada doit se questionner sur son positionnement dans l'industrie des TIC, à l'échelle mondiale. Les résultats présentés dans ce mémoire permettent de mieux comprendre les mécanismes de collaboration dans le milieu de la recherche du secteur matériel des TIC.

Ensuite, la définition du secteur matériel des TIC a été présentée. Celle-ci contient un vaste éventail de produits. D'un point de vue de recherche scientifique, on retrouve également de nombreux domaines, tels que l'optique-photonique et la physique du solide, contribuant à ce secteur. On retient donc que les organismes, comme l'OCDE, éprouvent des difficultés de classification causées par les continuels progrès de l'industrie, apportant de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux à catégoriser.

Ensuite, on a vu que l'industrie des TIC joue un rôle clé pour assurer une croissance soutenue dans une économie moderne. Malheureusement, un de ses secteurs phares, celui de la fabrication, est en déclin au Canada. On a pu voir qu'il représente uniquement 3% des entreprises du secteur des TIC au Canada. Ce secteur est intensif en R et D et requiert un riche écosystème d'innovation. Parmi les mécanismes favorisant cette innovation, on retrouve les réseaux de collaboration dans le milieu de la recherche.

Le prochain chapitre, une revue de littérature plus centrée sur le sujet de ce mémoire, couvre ces aspects de collaboration.

CHAPITRE 2 RECENSION DE LA LITTÉRATURE

Afin d'avoir les bases nécessaires à la compréhension du sujet d'étude, une recension de la littérature a été réalisée. Celle-ci couvre d'abord le concept de diffusion de connaissances. Ensuite, différentes notions de collaboration seront présentées, plus précisément, la collaboration entre chercheurs (ou recherche collaborative) et la collaboration de type universités-entreprise.

Aussi, une revue de l'utilisation de l'analyse de réseaux sociaux dans un cadre de collaboration a été faite. Afin d'expliquer les motivations de partenariat, une attention particulière est porté aux dimensions des diverses proximités. Enfin, on couvre une brève recension du phénomène de convergence dans les TIC.

2.1 Diffusion de connaissances

La connaissance est définie par Howells (2002) comme étant un cadre dynamique dans lequel de l'information peut être stockée, traitée et comprise. Le partage de connaissances, dans un contexte d'apprentissage, est essentiel et primordial afin que l'innovation puisse prendre place et va de pair avec l'objectif (ou la mission) de la recherche universitaire (Moodysson et Jonsson, 2007). Selon Berger et Luckmann (1991), si on prend en considération cette interprétation d'échange d'information et de partage d'apprentissages, la connaissance est alors perçue comme un processus social.

De manière générale, la littérature en innovation associe les réseaux sociaux au concept de vecteurs de diffusion de connaissances entre différents acteurs (Ahuja, 2000). En évaluant des propriétés des réseaux, ainsi que leur structure, des études ont démontré que celles-ci ont un impact significatif sur la diffusion de connaissances (Cowan & Jonard, 2004). Ces études, lorsqu'elles ont comme objet les communautés scientifiques, ont révélé leur capacité d'analyse et de compréhension de la diffusion de l'information. Ce faisant, depuis peu, les recherches sur la collaboration et les flux de connaissances portent sur les technologies émergentes (Eslami, Ebadi, et Schiffauerova, 2013), tels que les TIC.

En considérant le rôle clé que les flux de connaissances jouent dans de multiples domaines (Howells, 2002), les processus impliqués dans leur diffusion ont été l'objet de plusieurs recherches, surtout en sociologie à l'origine. L'évolution, la direction et la dynamique de ces flux ont été le focus d'analyses et d'études qui avaient pour objectifs de visualiser et de documenter

l'influence des acteurs dans un réseau, ainsi que la nature et l'intensité des relations entre ceux-ci (Ahuja, 2000).

2.2 Collaboration

Dans cette sous-section, on s'intéresse à la littérature qui traite de la collaboration, autant entre chercheurs universitaires que celle ayant lieu entre les universités et les firmes. La collaboration entre universités et entreprises s'apparentent à de la collaboration entre chercheurs. La nuance étant que certains chercheurs travaillent en milieu privé, dans des laboratoires de R et D.

Les tendances et les mécanismes généraux de la collaboration sont couverts. De plus, les éléments de la littérature se concentrant spécifiquement sur les aspects matériels des TIC sont soulignés.

2.2.1 Relations Universités - Industrie

Les chercheurs universitaires ne collaborent pas uniquement avec d'autres chercheurs universitaires, ils ont de plus en plus de liens avec l'industrie, surtout dans les domaines hautement technologiques où la connexion entre les sciences fondamentale et appliquée est forte (Meyer et Persson, 1998). Il existe plusieurs types d'interaction entre l'industrie et les chercheurs universitaires. Selon un sondage réalisée dans une étude de Cohen, Florida, et Goe (1994), voici la liste des interactions les plus pertinentes d'après les chercheurs répondants, en ordre d'importance qu'ils leurs accordent:

- Recherche collaborative
- Contacts informels
- Éducation de personnel
- Thèses de doctorat
- Contrat de recherche
- Conférences
- Services de consultation
- Séminaires pour l'industrie

- Échange de scientifiques, sabbatique, etc.
- Publications
- Comités scientifiques

Le cœur de ce mémoire, pour la partie des relations entre l'industrie et les universités, porte sur la recherche collaborative. C'est-à-dire que les firmes contribuent, dans les projets de recherche, par l'intermédiaire de l'implication de leurs propres chercheurs et possiblement de l'équipement et des fonds. C'est d'ailleurs l'interaction privilégiée des chercheurs universitaires selon la liste ci-dessus.

Toujours du point de vue universitaire, les chercheurs universitaires ont plusieurs raisons de collaborer avec les firmes. Selon Lee (2000), les motivations principales sont menées par le besoin des chercheurs de faire progresser leur agenda de recherche. Plus spécifiquement, le facteur le plus significatif est la sécurisation de fonds pour financer leurs étudiants aux cycles supérieurs et leur équipement de recherche. Ensuite, les chercheurs sont intéressés d'apprendre les avancées ou les tendances industrielles dans leur domaine de recherche auprès des départements de recherche et développement des entreprises. Dans le même ordre d'idées, dans un sondage répondu par des chercheurs de cinq domaines de recherche, dont la microélectronique, les raisons évoquées par ces derniers sont: l'obtention de fonds additionnels, l'échange de connaissances, la flexibilité des fonds industriels, l'équipement additionnel fourni par les partenaires et les références pour des projets publics (Meyer-Krahmer et Schmoch, 1998).

Du côté des firmes, évidemment, elles utilisent les universités, qui sont des bassins de talents, afin de recruter leurs chercheurs et leurs autres employés (gestionnaires de technologie, ingénieurs, etc.). D'autre part, les universités sont souvent mandatées pour faire la recherche (fondamentale ou appliquée). Les raisons poussant les entreprises à faire appel aux universités, qui se trouvent dans la liste suivante, sont celles qui apparaissent le plus dans la littérature (Lee, 2000):

- Résoudre des problèmes techniques spécifiques
- Développer de nouveaux produits et procédés
- Conduire de la recherche menant à des brevets

- Améliorer la qualité des produits existants
- Conduire de la recherche ayant un horizon lointain, sans balise précise, afin de trouver de nouvelles technologies (recherche de type *blue-sky*, en anglais). On définit ce type de recherche par une démarche exploratoire sans de consignes précises. À ne pas confondre avec de la recherche fondamentale sans application évidente.
- Conception de prototypes
- Recrutement de talent

Lee démontre que les trois facteurs privilégiés par les firmes comme motivation principale de collaboration avec les universités sont: la recherche visant à améliorer leurs lignes de produits, la conception de prototypes et la recherche exploratoire afin de découvrir de nouvelles technologie. Cependant, lorsque les chercheurs universitaires collaborent avec plusieurs entreprises, avec de potentiels compétiteurs, les firmes n'osent pas toujours confier des projets qui concernent des projets en cours (Balconi et Laboranti, 2006).

Si les deux parties n'y trouvent pas leur compte, la littérature est assez unanime pour affirmer que la collaboration échoue ou ne dure pas longtemps.

Il est à noter que la collaboration, entre les universités et les entreprises, fait souvent l'objet de recherche qualitative faisant usage d'études de cas (Meyer-Krahmer et Schmoch, 1998). Dans notre cas, c'est plutôt l'usage d'une méthode quantitative permettant l'analyse d'un plus grand nombre de collaborations qui est privilégié. Les mesures généralement utilisées, dans les méthodes quantitatives, sont les données de co-inventions des brevets et les publications de type université-industrie. Dans ce mémoire, ce sont les données de financement qui nous permettent d'étudier les liens de collaboration.

2.2.1.1 Collaboration Universités – Industrie dans le secteur matériel des TIC

Pour les produits hautement technologiques comme ceux de l'industrie des semi-conducteurs, et plus largement pour le secteur matériel des TIC, le rôle des universités est primordial dans le processus d'innovation (Lee, 2000). Effectivement, on retrouve beaucoup d'interactions entre l'industrie et les universités dans le domaine de la microélectronique (Meyer-Krahmer et Schmoch, 1998).

Dans une industrie dictée par la loi de Moore, les entreprises se doivent d'investir dans ce type de collaborations. La miniaturisation et l'augmentation incessante de la densité de semi-conducteurs dans les produits du marché amènent constamment de nouveaux défis (Balconi et Laboranti, 2006). Le financement public permet aux chercheurs universitaires de performer de la recherche exploratoire afin d'affronter ces défis. Cependant, la recherche universitaire des domaines tels que la microélectronique demeure dirigée vers des applications potentielles. Ce faisant, assez tôt dans la recherche, une forme de collaboration avec l'industrie voit généralement le jour afin d'orienter les projets.

Balconi et Laboranti (2006) décrivent très bien la dynamique de recherche du secteur italien de l'électronique, dans un contexte de collaboration universités-industrie. Selon eux, la différence entre les projets réalisés par l'industrie ou par les universités est le niveau de risque associé à ceux-ci. Les explorations plus risquées sont réalisées dans les universités par les chercheurs universitaires et sont financées par le public. Lorsque vient le temps de s'interroger sur les applications potentielles, ces mêmes chercheurs visent à obtenir une direction ou une orientation provenant de l'industrie. Pour ce faire, les rencontres de type face à face sont largement bénéficiées car les industriels peuvent partager leurs ressources matérielles servant à accélérer la phase de prototypage. Ainsi, les chercheurs universitaires seraient fortement connectés aux équipes industrielles les plus avancées technologiquement.

La recherche moins risquée consiste généralement à améliorer des produits déjà existants, comme c'est le cas avec les microprocesseurs. Ces travaux sont typiquement réalisés par les firmes car ils sont associés à de fortes demandes du marché et à des contraintes de temps serrées. Entre les deux niveaux de risque, on retrouve la recherche qui vise à découvrir de nouvelles applications pour un marché déjà existant, par exemple, ou à développer des versions drastiquement différentes d'un produit existant. Dans cette catégorie, on retrouve certaines applications de la technologie sans-fil ou la progression de performance des disques durs. Ces projets sont menés par des équipes industrielles, isolées volontairement des pressions du marché, et de plus en plus localisées sur les campus universitaires.

Dans la région de Vancouver, Rees (2005) trouve que les firmes locales de télécommunications se spécialisent en recherche appliquée et en développement de prototypes, tandis qu'elles se fient

à des liens externes afin de mener la production et la recherche en amont dans la chaîne d'innovation.

Dans le travail mené par Meyer-Krahmer et Schmoch (1998), on retrouve une distinction entre la recherche appliquée ou fondamentale exercée dans le cadre de la collaboration université-industrie. Dans le domaine de recherche de la microélectronique en Allemagne, ils ont trouvé que 41% de la recherche était fondamentale, 47% appliquée et 12% concentrée sur le développement de produits. Cela renforce l'hypothèse que les firmes peuvent faire appel aux chercheurs du secteur matériel des TIC pour l'un ou l'autre des besoins. En fait, cela va dans la même lignée que les travaux de Rosenberg et Nelson (1994) qui critiquent la dichotomie entre la recherche appliquée et la recherche fondamentale dans les domaines qui requièrent une forte collaboration avec l'industrie, tel que l'électronique. Les chercheurs ne font plus soit l'un ou l'autre mais plutôt les deux types de recherche.

Certaines études s'intéressent également à la productivité des chercheurs qui collaborent régulièrement avec l'industrie. Les résultats de celle menée par Balconi et Laboranti, sur le secteur électronique, ont montré que les chercheurs qui étaient co-inventeurs de brevets avec des firmes privées affichaient une productivité significativement plus élevée que celle de leurs collègues. Dans la même veine, Breschi et Catalini (2010) ont démontré que les chercheurs universitaires étant également co-inventeurs de brevets en collaboration avec des firmes présentaient une forte centralité d'intermédiarité dans le réseau scientifique. Cette mesure sera décrite dans la section méthodologique mais grosso modo, cela signifie qu'ils ont une position centrale dans le réseau et qu'ils se trouvent à la confluence de plusieurs flux de connaissances. Donc, leur rôle est essentiel à la réduction de l'écart séparant la science et la technologie.

2.2.2 Collaboration entre chercheurs (*Research collaboration*)

La collaboration entre chercheurs est de plus en plus commune, sinon la norme. Il est largement accepté dans la communauté scientifique qu'elle est bénéfique et qu'elle devrait être encouragée (Katz et Martin, 1997a). Cependant, le concept de collaboration n'est pas toujours clair et on retrouve plusieurs définitions de celle-ci dans la littérature. En effet, le terme *research collaboration* est utilisé pour décrire des relations entre individus, mais également entre organisations et même entre individus et organisations (Bozeman, Fay, et Slade, 2012). La

nuance est mince car même lorsque des organisations collaborent entre elles, ce sont des individus qui, au final, communiquent et exécutent un travail d'équipe.

Afin de rester concis, on ne présentera pas la liste exhaustive des définitions. Plutôt, dans un contexte large de production de connaissances, nous prenons comme référence la définition de Bozeman et al. (2012). Dans cette dernière, la collaboration se veut un ensemble de processus sociaux dans lequel les êtres humains font usage de leur capital humain avec comme objectif de produire du savoir et des connaissances. Ici, l'atteinte de l'objectif n'est pas une condition reliée à la collaboration. Une collaboration peut très bien ne pas engendrer de livrables.

La définition élaborée par Laudel (2002) est plus précisément dirigée vers le contexte de recherche. Elle stipule que la collaboration est définie par un ensemble d'activités de recherche, impliquant plusieurs acteurs liés pour une raison fonctionnelle, afin d'atteindre un objectif de recherche où chacun satisfait ses propres intérêts. Ainsi, les partenaires ne partagent pas nécessairement un but commun.

Dans leur revue de littérature, Bozeman et al. (2012) amènent un cadre d'analyse pour la collaboration en recherche. Ce dernier est illustré à la Figure 2-1. On peut y voir trois grandes catégories d'attributs qui reviennent fréquemment dans la littérature: ceux du collaborateur en soi, ensuite les attributs propres à la collaboration et enfin les attributs organisationnels. Ces attributs sont tous des variables ayant un impact sur les extrants de la collaboration. Au niveau des extrants de la collaboration, les auteurs expliquent la différence entre trois types de résultats: concentrés sur la connaissance, sur la propriété ou sur une forme intermédiaire. De la recherche concentrée sur la production de connaissances se veut de la recherche qui contribue au savoir général du domaine avec très peu ou sans gain monétaire ou de propriété pour les chercheurs du projet. La recherche concentrée sur la propriété, quant à elle, résulte en un gain monétaire ou de propriété pour les chercheurs, comme dans le cas des brevets ou des essaimages (*spin-offs*). Puisque les deux situations ne sont pas mutuellement exclusives, une forme hybride est aussi rajoutée au cadre d'analyse. Ca faisant, nous pouvons constater de la complexité du domaine d'intérêt qu'est la collaboration en recherche.

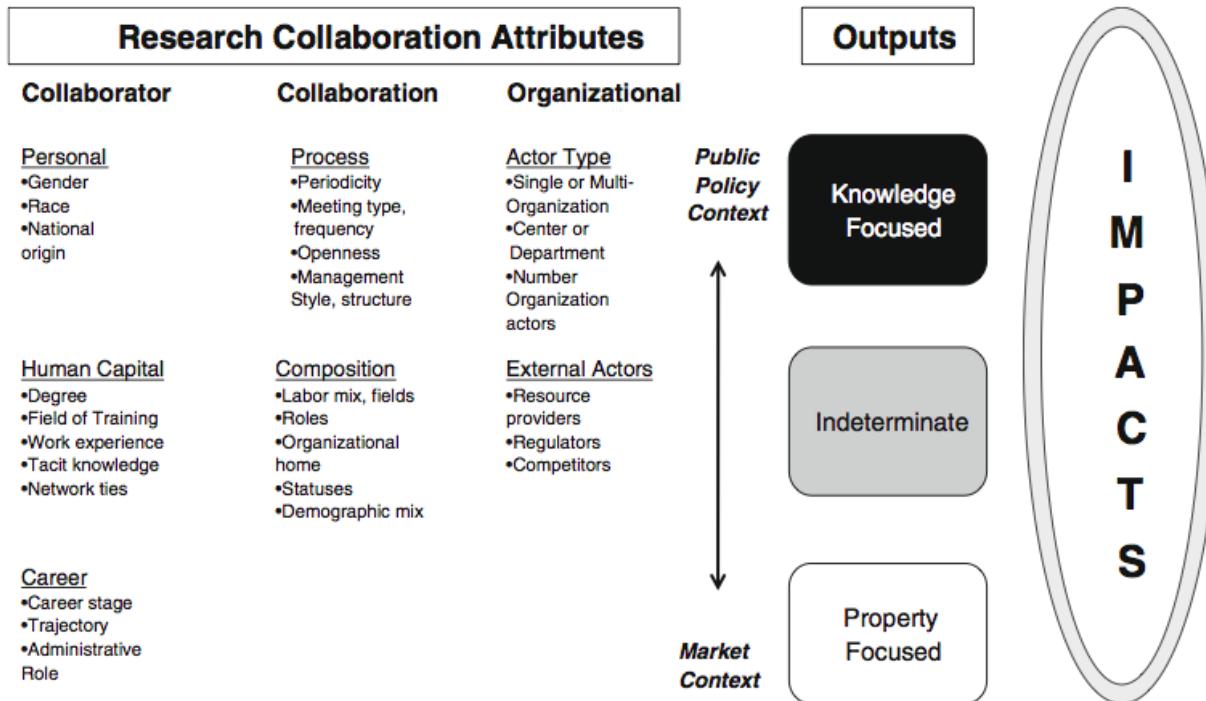


Figure 2-1: Cadre d'analyse pour la littérature sur la collaboration dans le milieu de recherche

(Source: Bozeman et al., 2012)

2.2.2.1 Motivations de la collaboration entre chercheurs

La récente montée de la collaboration, dans le milieu de la recherche, peut être expliquée par plusieurs facteurs de motivation, tels que l'augmentation des coûts liés aux travaux recherche et la spécialisation de la science. Lee et Bozeman (2005) ont également relevé que l'accès à du financement public, l'aspiration d'un plus grand prestige et de visibilité accrue en collaborant avec des groupes de recherche renommés, ainsi que les opportunité d'accroître la productivité sont d'importantes motivations de collaboration.

Selon Ziman (1994), les agences de financement essaient de favoriser la collaboration et la communication entre les chercheurs afin de réduire les coûts de la recherche. L'argument étant que les budgets de recherche ont atteint une limite. Au niveau des politiques d'innovation, il y a une tendance bien établie vers la collaboration scientifique puisque le transfert de connaissance et le partage de savoir se veulent un moyen d'augmenter l'efficacité de la recherche (Adams et al., 2005). D'ailleurs, l'Union Européenne, par exemple, a développé des politiques de recherche qui supportent et reconnaissent l'importance des réseaux de collaboration comme un outil essentiel

pour le partage de connaissances et la promotion de l'innovation en vue de l'accomplissement de buts précis (Abramo et al., 2008). Le Canada n'a pas fait exception à cette tendance. Effectivement, depuis plus de 25 ans, les scientifiques canadiens sont encouragés à travailler en grandes équipes via les Réseaux de Centres d'Excellence (Beaudry et Kananian, 2013).

La complexité grandissante de la recherche, menant à la spécialisation et à l'expertise profonde, est une autre raison poussant à la collaboration (Gordon, 1980). En fait, dans certains domaines hautement multidisciplinaires, il est presque impossible, ou du moins très chronophage et inefficace, pour un unique chercheur d'exécuter toutes les activités de recherche.

D'autres facteurs énumérés dans la littérature sont l'accessibilité et la baisse des coûts de la communication (Kraut et al., 1988), des facteurs politiques (Subramanyam, 1983), et l'émergence de nouveaux domaines où plusieurs disciplines sont nécessaires à leur compréhension. De nos jours, avec l'établissement d'internet, les scientifiques peuvent communiquer plus efficacement que jamais. D'autre part, les prix abordables de certains vols d'avions permettent l'interaction physique en personne (Melin, 2000). Cela réduit l'importance de l'effet de proximité géographique (*proximity effect*), en mettant l'emphasis sur les proximités sociale et cognitive (Boschma, 2005). L'effet de proximité géographique voulant que l'intensité de collaboration soit inversement proportionnelle à la distance séparant les acteurs en jeu.

Pour l'aspect politique, les rapprochements entre nations peuvent inciter les chercheurs à collaborer entre eux. Dans ce cas, les liens culturels peuvent avoir un impact dans la recherche de partenaires. Les initiatives européennes, par exemple, proviennent d'un désir politique de rapprochements entre les différents pays et cultures (Narin et al., 1991). On peut penser, notamment, au Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN) qui regroupe des chercheurs de toute l'Europe et qui à un but clair de collaboration.

À un niveau plus micro, dans l'étude menée par Melin (2000), des chercheurs évoquent les compétences spécifiques des potentiels collaborateurs comme un facteur décisionnel important lorsqu'ils cherchent à créer des partenariats. Ensuite, les répondants mentionnent, dans leur processus décisionnel, l'accès à des données d'intérêt et à de l'équipement de pointe que leurs collègues chercheurs pourraient leur fournir. Curieusement, en terme d'importance, ces facteurs sont évoqués avant les raisons sociales, telles que les relations d'amitié et les collaborations passées. Cependant, deux scientifiques, ayant déjà travaillé ensemble par le passé, ont une grande

probabilité de rester en contact et d'échanger de l'information, augmentant ainsi les chances de collaborer à nouveau ensemble (Schiffauerova et Beaudry, 2012).

2.2.2.2 Impact de la collaboration sur la productivité des chercheurs

Depuis les années 1980, la question de l'impact de la collaboration sur la productivité scientifique a attiré l'attention des chercheurs. À la base, la productivité scientifique n'est pas aisément identifiable et mesurable, en raison de son caractère multidimensionnel (Abramo et al., 2008). De plus, elle dépend de plusieurs variables, qu' Abramo et ses collègues divisent en trois catégories: attributs personnels (âge, sexe, etc.), attributs institutionnels et départementaux (taille de la faculté, infrastructure disponible, etc.) et les attributs environnementaux (politiques d'innovation, financement public et privé, etc.). Le cadre d'analyse présenté plus tôt, à la Figure 2-2, est plus complet à ce niveau.

Par ailleurs, Dundar et Lewis (1998) ont démontré que la productivité dans les universités américaines variaient selon les disciplines et ont observé que la taille de la faculté affectait la productivité des chercheurs. De même, les facultés de grande taille offraient les meilleures opportunités de collaboration.

Toujours selon Abramo et al. (2008), la collaboration scientifique est un des déterminants de la productivité unanimement reconnu comme ayant un impact significatif, autant au niveau de l'efficacité que de l'efficience de la recherche. Il est vrai qu'on trouve très peu d'articles scientifiques contredisant ce point.

Parmi les études qui abondent en ce sens, on retrouve le travail de Lee et Bozeman (2005). Afin de déterminer l'impact de la collaboration sur la productivité en recherche, ils ont utilisé les données de publications d'un échantillon de chercheurs américains. Les résultats ont montré que le nombre de collaborateurs est le meilleur indicateur de productivité et que la corrélation positive entre la productivité et la collaboration est robuste statistiquement. Cela corrobore les observations antérieures de Lawani (1980) et Pao (1980) (Subramanyam, 1983).

Adams et al. (2005) ont également démontré, dans le système universitaire américain, que la production scientifique augmentait avec la taille des équipes de recherche. Ils se sont basés sur le nombre d'auteurs mentionnés dans les publications. Il a donc été conclu que l'augmentation de productivité scientifique provenait directement de la division des tâches dans la recherche.

Lawani (1986) avait déjà démontré que le nombre de citations d'une publication variait proportionnellement en fonction du nombre de co-auteurs. Van Raan (1998) avait également utilisé le nombre de citations comme indicateur et a prouvé que l'influence des collaborations internationales a plus d'effets positifs sur la qualité de la recherche que lorsqu'aucune collaboration n'a lieu. Ce faisant, la visibilité des travaux dans la communauté est bénéficiée par la collaboration.

Il est à noter que ces résultats englobent toutes les disciplines. C'est une tendance générale dans le monde de la recherche. Ces études englobent le domaine des TIC, donc le secteur matériel également.

2.2.2.3 Mesure de la collaboration par les co-publications

On retrouve principalement trois méthodes d'analyse de la collaboration scientifique: les méthodes qualitatives (utilisant des entrevues et des sondages), des méthodes quantitatives basées sur la bibliométrie (citations, co-publications, etc.) et plus récemment des méthodes quantitatives basées sur l'analyse de réseaux complexes (centralités, analyse de petit-monde, etc.). Les deux dernières peuvent se chevaucher lorsque les réseaux sont des réseaux de co-publications, par exemple, comme dans un des cas étudiés dans ce mémoire.

L'analyse bibliométrique pure (sans l'utilisation de réseaux) se concentre sur le compte de citations, ce qui rend la méthode moins sensible aux connexions sociales et à une importante portion de la communication scientifique (Ding, 2011). À l'inverse, l'analyse de réseaux sociaux permet de caractériser les liens entre les acteurs et à caractériser les modèles de collaboration.

En bibliométrie, l'utilisation des co-publications, ou de co-rédactions de documents scientifiques, est très souvent utilisée afin de mesurer la collaboration. C'est aussi le cas dans la littérature de collaboration en recherche où l'on retrouve cette mesure dans de nombreuses études (e.g., (Heinze et Bauer, 2007), (Adams et al., 2005). Bien sûr, celle-ci n'est pas parfaite et ne capture qu'une partie de la réelle collaboration. En effet, plusieurs auteurs, Katz et Martin (1997b) et Subramanyam (1983), pour ne nommer qu'eux, mettent en garde les chercheurs quant à l'utilisation et à l'interprétation des données de co-publications.

Uniquement les aspects tangibles de la collaboration ayant lieu dans un travail de recherche peuvent être quantifiés (Katz et Martin, 1997b). Subramanyam prend l'exemple suivant: une

suggestion brillante faite par un chercheur dans une conversation informelle peut avoir plus de valeur, dans la définition et l'aboutissement d'un projet de recherche, que plusieurs semaines d'activités intenses de scientifiques qui collaborent dans un laboratoire. Ce type de collaboration n'est pas nécessairement capturé dans la mesure par co-auteurs. Aussi, deux chercheurs collaborant ensemble peuvent décider de publier deux articles indépendamment (sans mettre l'autre comme co-auteur) afin de cibler des domaines différents (Katz et Martin, 1997a).

D'un autre côté, les données de co-publications peuvent également attribuer le statut de collaborateur à des individus qui ne les sont pas vraiment. En effet, lorsqu'on utilise ce type de données, l'hypothèse est que toute personne apparaissant comme co-auteur d'un document scientifique a collaboré, d'une quelconque manière, à la recherche. Selon la définition de la collaboration de Bozeman et al. (2012), si un individu ne fait que fournir des ressources, il est un patron et non un collaborateur. Or, dans certains cas, ces personnes sont mentionnées comme co-auteurs. Dans la revue de Katz et Martin (1997b), on retrouve un concept semblable avec ce qu'ils appellent des auteurs honoraires, qui ne contribuent pas réellement au travail. À l'inverse, un technicien de laboratoire, amenant du capital humain au projet, de par son expertise des équipements et son intuition de l'expérimentation, sera peut-être mentionné dans les remerciements d'un article mais rarement le verra-t-on co-auteur.

Malgré cela, la mesure de collaboration par co-publications a aussi de nombreux avantages. D'abord, il s'agit d'une mesure invariante et vérifiable (Katz et Martin, 1997b). C'est-à-dire qu'avec le même ensemble de données, d'autres investigateurs devraient être en mesure de reproduire les mêmes résultats. Ensuite, cette méthode de quantification de la collaboration est relativement abordable et grandement pratique. D'autant plus, la force d'analyse est plus grande qu'avec des cas d'études. Effectivement, l'échantillon de données peut être de grande taille, permettant une significativité statistique. Enfin, certains avancent que cette méthode est non-intrusive et non-réactive, i.e. qu'elle n'affecte pas le processus de collaboration en soi.

Bref, l'utilisation des données de co-publications est un proxy de la collaboration qui a ses avantages et ses inconvénients. Il est important d'être conscient de ceux-ci et de juger si cette mesure est adéquate dans le cadre d'un travail précis. Par exemple, dans ce mémoire, les relations entre chercheurs universitaires et l'industrie sont étudiées. Or, ce type de collaboration n'a pas toujours comme finalité la publication d'un document scientifique. Parfois, l'industrie pilote la

collaboration et désire l'obtention d'un brevet, par exemple. Dans ce cas précis, l'utilisation de données de co-publications n'est pas l'idéal afin de mesurer l'impact de la collaboration.

2.2.3 Facteurs de proximité

Comme mentionné plus tôt, les réseaux sociaux représentent le squelette permettant d'étudier de la diffusion de connaissances. Les raisons favorisant les liens dans un réseau sont de multiples natures. Les similitudes, telles que l'âge et le genre, sont des caractéristiques typiques que l'on retrouve dans la littérature. Pour être plus précis, on appelle ces facteurs de rapprochement des proximités. Boschma (2005) a beaucoup participé à la popularisation de cette terminologie dans l'étude de l'Innovation.

Cependant, il n'était pas le premier à utiliser cette notion. Gilly et Torre (2000), du groupe français des « Dynamiques de proximité », ont défini la proximité par l'interaction ayant lieu entre acteurs. Ce groupe travaillait sur le domaine de l'économie plus précisément. Depuis, le concept a attiré des chercheurs de diverses disciplines. Aujourd'hui, la notion de proximité est reconnue comme un facteur important des flux de connaissances en science et joue un rôle essentiel dans la compréhension des dynamiques de collaboration (Balland et al., 2009; Cunningham et Werker, 2012; Katz, 1994; Knoben et Oerlemans, 2006; Kraut, Fussell, Brennan, et Siegel, 2002).

Dans un contexte d'analyse de réseaux sociaux, on fait l'hypothèse qu'une certaine proximité entre deux acteurs doit exister afin de pouvoir créer un lien. Ainsi, une plus grande proximité, parmi des membres, signifierait une intensité de collaboration plus forte pouvant mener à une augmentation de créativité et de performance d'innovation (Knoben et Oerlemans, 2006). La proximité n'est pas unique. Il existe plusieurs types distincts de proximité qui offrent un cadre d'analyse permettant l'étude de la collaboration.

2.2.3.1 Les types de proximités

La littérature sur la proximité a amené plusieurs définitions comportant différents types de proximités. Ces études ont été déclenchées par le manque de profondeur lié à l'unique proximité géographique dans l'analyse de systèmes complexes. Effectivement, la proximité géographique, la plus intuitive, fut la première à apparaître dans la littérature. Avec la montée des TIC, étant un levier significatif dans les moyens de communications entre les individus et les firmes, la

proximité géographique a été mise en doute. Les chercheurs du groupe des Dynamiques de proximité ont été les premiers à proposer plusieurs dimensions sous le couvert du concept. Ils ont, entre autres, introduit la notion de proximité organisationnelle (Gilly et Torre, 2000). Dans la taxinomie des proximités, on retrouve les définitions de: Gilly et Torre (2000), Zeller (2004), Boschma (2005b) et Moodysson et Jonsson (2007). Malgré la terminologie différente, les mêmes facteurs de rapprochement sont sensiblement couverts dans toutes leurs études.

La définition de Boschma semble être le standard dominant depuis 2005. C'est sur celle-ci que nous basons notre analyse de la proximité. Elle comporte 5 types de proximités: géographique, organisationnelle, institutionnelle, cognitive et sociale. Selon lui, dans un contexte de réseaux d'innovation, les différentes proximités sont des substituts et non des compléments. C'est-à dire qu'une seule suffit afin d'établir un lien entre les acteurs et qu'une redondance avec d'autres types de proximités n'augmentent que très peu la probabilité de relier avec succès ces acteurs. Les différentes dimensions de proximité peuvent se chevaucher empiriquement mais et être corrélées mais analytiquement elles sont orthogonales (indépendantes) (Cunningham et Werker, 2012).

Une définition de chacun des types de proximité suit dans les sous-sections suivantes. Certaines ont moins d'importance dans le cadre de ce travail, leur définition sera donc moins étayée.

Proximité institutionnelle

La proximité institutionnelle est reliée à des facteurs environnementaux (ou macroscopiques). Elle fait référence à l'ensemble formel et défini des lois, pratiques, et règles dans un contexte géographique précis, à l'intérieur d'un pays ou d'une région. Selon Ben Letaifa et Rabeau (2013) cette proximité fait appel aux normes socio-culturelles informelles (langue, ethnies, croyances, etc.) qui régulent les activités d'affaires ou pas dans un contexte. Ces institutions (formelles et informelles) favorisent ou contraignent les différents mécanismes affectant le niveau de transfert de connaissances, l'apprentissage interactif et donc l'innovation (Boschma, 2005a). Par exemple, une forte proximité, composée d'un ensemble d'institutions trop conservatrices et strictes, pourrait n'offrir que très peu d'occasions d'innover. À l'inverse, toujours selon Boschma, trop peu de ce type de proximité est aussi néfaste pour l'innovation et l'action collective, en raison d'institutions formelles faibles ainsi qu'un manque de cohésion sociale et de valeurs communes.

Puisque la proximité institutionnelle découle de l'environnement global, elle est fortement reliée aux autres, notamment à la proximité sociale. Le focus géographique de notre étude est le Canada. Ce faisant, la proximité institutionnelle ne devrait pas avoir un impact significatif sur les relations étudiées puisque les acteurs partagent un même environnement institutionnel.

Proximité sociale

Boschma (2005c) explique la proximité sociale par les liens de confiance entre les acteurs, basés sur l'expérience, l'intimité et l'amitié. Ainsi, ce sont les relations individuelles encastrées dans le contexte social. On est donc au niveau micro des relations entre individus ou organisations. La proximité sociale facilite la communication, le transfert de connaissances et la collaboration au fur et à mesure que les acteurs développent une relation basée sur la confiance et l'engagement mutuel (Ben Letaifa et Rabeau, 2013). Ce faisant, il est plus facile pour des chercheurs de collaborer s'ils ont le même statut social ou appartiennent aux mêmes regroupement sociaux car le lien de confiance est plus probable.

Ce rapprochement entre les membres d'un réseau est crucial dans l'échange de connaissances tacites (Maskell et Malmberg, 1999). Une distance sociale est donc un frein à la diffusion de connaissances mais une trop grande proximité peut également engendrer de mauvais résultats, dû à la formation de cercles (cliques) trop fermés. Effectivement, des liens émotionnels peuvent mener à un manque d'opportunisme dans les partenariats potentiels (Boschma, 2005a).

Proximité organisationnelle

La proximité organisationnelle est définie par la capacité des organisations à échanger diverses informations entre elles. Selon Kirat et Lung (1999) elle réfère à un ensemble d'interdépendances intra et inter-organisationnelles où le lien peut être de nature économique ou financière. Plus concrètement, Boschma inclut un aspect de contrôle ou d'autonomie dans les relations, et même de hiérarchie. À un extrême, on a une proximité organisationnelle nulle entre deux entités totalement indépendantes et non-reliée ou une proximité faible, illustrée par des entités autonomes collaborant dans un *joint-venture*, par exemple. À l'autre, on retrouve de fortes liaisons organisationnelles (interdépendances), où une hiérarchie peut être dépeinte. Par exemple, un contrat formel entre un donneur d'ordre et un fournisseur. Dans ce type de relations, on peut

observer des externalités de connaissances (*knowledge spillover*) entre les collaborateurs (Ben Letaifa et Rabeau, 2013).

Ce faisant, trop de proximité de ce type engendre une rigidité tandis qu'une proximité faible représente un manque de contrôle, augmentant le danger d'opportunisme des partenaires. La proximité sociale est généralement un levier de proximité organisationnelle.

En analysant des données de subventions (financement) au Royaume-Uni, dans un contexte de collaboration université-industrie, D'Este, Guy, et Iammarino (2012) ont trouvé que la proximité organisationnelle augmentait la probabilité de partenariat. Cependant, ils mesurent la proximité organisationnelle en fonction des relations passées entre les partenaires, ce qui s'apparente plutôt à de la proximité sociale selon Boschma.

Proximité cognitive

La proximité cognitive tire son concept de la nature cumulative, localisée et tacite de la connaissance (Antonelli, 1995). C'est cette nature même qui peut créer des différences cognitives. Boschma explique cette dimension de la proximité en se basant sur la capacité absorptive de Cohen et Levinthal. Il souligne l'importance de la proximité cognitive entre acteurs afin d'être en mesure de communiquer, absorber, comprendre et de traiter de la nouvelle information. On peut donc la définir par la base de connaissances communes partagée entre individus ou organisations (Cunningham et Werker, 2012). Wuyts et al. (2005) l'expliquent par une vision du monde partagée entre partenaires, qui inclut les technologies, l'éducation et plusieurs autres dimensions. La proximité technologique est donc un sous-concept de la proximité cognitive. La proximité technologique, définie par Zeller (2004), est reliée au transfert de connaissances et aux infrastructures communes d'acteurs, leur permettant de communiquer efficacement sur des sujets précis.

Ce faisant, la proximité cognitive augmente la probabilité de collaboration car les firmes (et les individus) ont tendance à chercher des partenaires ayant une base de connaissances similaires. Sans un minimum de proximité, l'assimilation de nouvelle technologie ou de nouvelle information n'est pas possible (Cohen et Levinthal, 1990). À l'inverse, une trop grande proximité mène à une routine et bloque les nouveaux apprentissages ce qui nuit à l'innovation même si la communication est optimale entre les parties (Boschma, 2005b). Boschma établit donc trois raisons de garder une distance cognitive:

- La construction de nouvelles connaissances dépend de l'accès à différentes sources complémentaires de connaissances.
- La proximité cognitive peut facilement mener à des blocages (*lock-in*), dans le sens que les routines organisationnelles obscurcissent la vision des possibilités et des opportunités offertes par les nouvelles technologies ou les nouveaux marchés.
- La proximité cognitive augmente le risque d'externalités de connaissances involontaires, ce qui peut mener à des pertes au niveau de l'avantage compétitif. C'est pourquoi, dans un contexte technologique, des firmes rivales tentent de ne pas situer aux mêmes endroits.

L'idéal étant de trouver un juste milieu où on trouve de la proximité mais également une complémentarité au niveau technologique. Ces sources d'informations variées mènent à des nouvelles idées et à la créativité (Cohendet et Llerena, 1997).

Proximité géographique

La dimension géographique de la proximité est la plus intuitive et la plus répertoriée dans littérature. C'est tout simplement la distance physique ou spatiale entre les acteurs. Elle peut être mesurée de façon absolue, avec des unités de distance telle que le système métrique le permet, ou avec des mesures relatives, comme les heures de vol d'avion entre deux endroits. Cette dernière correspond sensiblement à la proximité fonctionnelle de Moodysson et Jonsson (2007) qui privilégie l'effort d'interaction plutôt que la distance en soi.

La littérature sur les grappes industrielles (*industrial clusters*) soutient que des firmes co-localisées, ou concentrées dans une même région, bénéficient d'externalités de connaissances. Pour Boschma, les courtes distances encouragent les regroupements de personnes, ce qui favorise les contacts informationnels et facilite l'échange de connaissances tacites. En se basant sur les travaux de Howells (2002), il va même jusqu'à prétendre que cela pourrait aussi être le cas avec de la connaissance codifiée puisque son interprétation nécessite toujours une dose de connaissances tacites.

La collaboration de recherche entre les universités et les firmes est un cas typique pouvant bénéficier de la proximité géographique puisque la recherche implique un transfert de connaissances à deux sens (réciprocité) et requièrent des processus d'apprentissage, ainsi que

l'établissement de relations sociales durables (Katz et Martin, 1997b). L'argument que la proximité géographique favorise les liens universités-industrie en conséquence de la nature tacite et adhésive (*sticky*) de la connaissance est particulièrement justifiée dans le cadre d'interactions avec des domaines hautement techniques (D'Este et al., 2012).

Selon Ben Letaifa et Rabeau (2013), la proximité géographique a un effet positif sur l'innovation. Cependant, il existe quelques risques reliés à une trop grande proximité. D'abord, une paranoïa de méfiance peut affecter des acteurs oeuvrant dans le même domaine et se trouvant dans la même localité (Gittelman, 2007). Cela engendre des politiques de protection de propriété intellectuelle favorisant le secret industriel.

Ensuite, dans une grappe industrielle, par exemple, le danger de se refermer sur la communauté et de perdre ainsi les capacités de générer de nouvelles idées est à considérer. C'est pourquoi il est primordial pour une firme innovante de garder une ouverture aux sources externes de connaissances (Chesbrough, 2003).

Dans un contexte de collaboration entre universités et l'industrie, on a vu plus tôt que les firmes approchent les chercheurs universitaires pour de multiples raisons, dont le recrutement. Cela pousse les firmes à s'installer là où les bassins de talent se situent. La formation de grappes industrielles dépend donc de divers facteurs mais évidemment la proximité géographique joue un rôle important (Porter, 1998).

Bref, l'unique proximité géographique ne semble pas suffire à expliquer la dynamique de collaboration dans un réseau. Effectivement, les réseaux de connaissances ont rarement de frontières physiques, en raison de la nature intangible des idées et de la sophistication des TIC permettant une efficacité de communication accrue (Gittelman, 2007). Sans dire, comme certains auteurs, que l'impact de la proximité géographique est chose du passé, elle est moins primordiale qu'elle ne l'était, surtout lorsque les autres dimensions de proximité entrent en jeu.

Résumé des dimensions de proximité

Suite aux définitions, on peut retrouver les éléments principaux des différentes dimensions de proximité de Boschma, dans le Tableau 2-1. L'idée ressortie est qu'aucune dimension n'est nécessairement suffisante à une collaboration fructueuse et que l'équilibre est de mise quelque soit la situation.

Tableau 2-1: Rappel des éléments principaux de chaque dimension de proximité (Source: basé sur Boschma (2005b, p. 71))

Type de proximité	Élément clé	Trop peu de proximité	Trop de proximité	Solution possible
Institutionnelle	Confiance, basée sur les institutions communes	Opportunisme	Inertie et blocage (<i>lock-in</i>)	Équilibre institutionnel
Sociale	Confiance, basée sur les relations sociales	Opportunisme	Manque de rationalité économique	Mélange de relations fortes et nouvelles
Organisationnelle	Contrôle	Opportunisme	Bureaucratie	Système faiblement couplé
Cognitive	Connaissances communes	Incompréhension	Manque de nouveauté	Base de connaissances communes avec complémentarités
Géographique	Distance	Pas d'externalité	Manque d'ouverture	Mélange de forte localité avec liens externes

Interdépendance des proximités

La raison pour laquelle il est difficile de traiter l'impact de la proximité géographique est qu'elle est rarement isolée. Effectivement, on peut toujours suspecter la présence d'un autre type de proximité affectant les relations étudiées. C'est encore plus le cas avec les phénomènes sociaux, tel que la collaboration. Boschma (2005c) avance que la proximité géographique devrait toujours être traitée en regard aux autres dimensions. Par exemple, Ponds, Van Oort, et Frenken (2007) affirment que les désavantages d'initier et d'ensuite gérer un partenariat à distance peuvent être mitigés par la proximité organisationnelle entre les collaborateurs. D'autre part, Cooke, Uranga,

et Etxebarria (1997) ont montré que la proximité géographique peut combler la distance institutionnelle dans un contexte de collaboration de recherche, pour des sciences appliquées.

La proximité géographique a la capacité de renforcer les autres dimensions de proximité car elle leur offre des canaux de transfert de connaissances (culturels, sociaux, etc.) (Howells, 2002). Si on prend le contexte des collaborations universités-industrie, les universités et les entreprises privées n'ont pas les mêmes objectifs, donc elles n'ont pas les mêmes incitatifs. Ces différences institutionnelles mènent à des arrangements complexes lorsqu'elles collaborent. Ces complexités sont difficilement codifiables dans un contrat formel, ce faisant, les partenaires doivent également utiliser des formes moins formelle de collaboration. Dans ce cas-ci, la proximité géographique, via des interactions en personnes, par exemple, aide grandement à faire régner un climat de confiance (Ponds et al., 2007).

2.3 Analyse de réseaux sociaux dans un contexte de collaboration

L'analyse de réseaux sociaux est une des méthodes utilisées dans l'étude de la collaboration. Les réseaux de chercheurs, créés à partir de données de co-publications d'articles scientifiques, ont permis d'établir des mesures de dynamique de collaboration (Newman, 2004). En effet, le plus souvent ce sont les données de co-rédaction de documents scientifiques qui sont utilisées. Nous avons vu dans la section précédente les avantages reliés à cette mesure de collaboration. L'accès à des bases de données structurées rend le traitement, la construction et l'interprétation des réseaux sociaux beaucoup plus faciles (Krebs, 2004).

En plus d'étudier les liens de collaboration, les réseaux sociaux permettent de traiter de sujets tels que la diffusion de connaissances et les rapports de communication, parmi un ensemble d'individus ou d'acteurs organisationnels. La structure du réseau a un impact immédiat sur ces observations. La sous-section suivante traite de cet impact.

2.3.1 L'impact de la structure du réseau

La structure du réseau permet de distinguer les phénomènes globaux lorsqu'on l'étudie les relations avec une vue d'ensemble. À l'inverse, si on veut de l'information plus micro, on utilise des mesures de centralité qui s'appliquent sur les acteurs mêmes. Ces mesures sont expliquées dans la section Méthodologie.

Cette structure n'est pas figée dans le temps, elle est dynamique et peut être transformée par ses acteurs ou par des forces externes. Forger et maintenir des liens demandent un coût en termes de temps et d'effort (Martindale, 1995). Ce faisant, au fil du temps, les liens négligés entre les acteurs faiblissent jusqu'à disparaître. Ce coût explique, en partie, pourquoi il est difficile d'être connecté à tous les acteurs du réseau. En raison des ressources limitées (temps, argent, etc.), les liens sont ainsi le résultat de processus décisionnels, conscients ou non, des acteurs (Steyvers et Tenenbaum, 2005). L'argument que le coût de maintien d'une relation est plus faible que celui relié à la création d'un nouveau lien explique la formation de groupements dans les réseaux.

De plus, il est avancé que les acteurs prennent conscience de la structure du réseau ou du moins reconnaissent là où se trouve l'information qui leur est réellement utile (Giddens, 1979). Ce faisant, ils orientent leur collaboration différemment au fil du temps et modifie la structure du réseau. La réputation des membres a également une influence sur l'évolution du réseau. Les acteurs qui ne respectent pas les normes informelles de la coopération se voient évités par leurs pairs (Fleming, King, et Juda, 2007).

De ce fait, la position relative de chaque acteur leur confère des propriétés de diffusion des connaissances. La sous-section suivante présente davantage l'impact du positionnement des acteurs sur leur rôle dans un réseau.

2.3.1.1 Position des acteurs dans le réseau

Un grand nombre d'études portent sur le rôle des acteurs jouant un rôle d'intermédiaire dans les réseaux (Schiffauerova et Beaudry, 2012; Hargadon et Sutton, 1997). Certains de ces acteurs centraux sont en mesure de lier des sous-groupes qui ne pourraient communiquer ou échanger de l'information sans eux.

Beaudry et Allaoui (2012) ont montré qu'une position centrale plus grande dans le réseau scientifique, en utilisant la variable de centralité d'intermédiarité, a un impact positif sur le nombre d'articles publiés par les chercheurs. Yan et Ding (2009) ont également démontré que la centralité engendrait un plus grand nombre de citations chez les chercheurs. Leur étude se basait sur les données de co-publications de 16 journaux dans le domaine de la science de l'information (*information science*) et leurs variables de centralité incluaient non seulement l'intermédiarité mais également la centralité de degré, de proximité ainsi que celle des vecteur propres.

Burt (1992) suggère que ces acteurs qui combinent des trous structurels du réseau gagnent en efficacité dans l'activité collective représentée par les liens (co-publications, co-inventions, etc.). La théorie des trous structurels, développée par Burt, propose que ces derniers existent entre deux connaissances (nœuds qui se connaissent) s'ils sont connectés au même individu mais ne sont pas liés entre eux.

Gould et Fernandez (1989) ont nommé les membres qui fournissent de l'information extérieure à leurs pairs des *gatekeepers*, pouvant se traduire par le terme gardien du savoir. On retrouve aussi souvent, dans la littérature, le terme *knowledge brokers* (courtier de la connaissance) pour ces mêmes acteurs centraux. Ceux-ci auraient une influence accrue dans le réseau (Gould & Fernandez, 1989) et feraient des alliances plus fructueuses que la moyenne. Marsden (1982) définit ces courtiers comme des individus ou des organisations qui facilitent les transactions entre d'autres acteurs qui manquent d'accès ou de confiance entre eux.

Burt fut un des premiers à étudier les trous structurels dans les réseaux. Il étudia d'abord des réseaux de firmes et avance que la position d'intermédiaire est en une de contrôle puisque l'information passe par ces acteurs. Plus tard, ces caractéristiques ont aussi été analysées dans des réseaux d'individus. D'ailleurs, c'est Burt (2004) qui trouve que les individus qui occupent des trous structurels dans une organisation gagnent substantiellement en capital social (rémunérations, promotions, etc.).

Ces positions ne sont pas uniquement un point où l'information transite, elle y reste et permet à l'acteur (individu ou firme) d'intégrer de multiples concepts et de générer de nouvelles idées (Hargadon et Sutton, 1997). Ainsi, dans la littérature sur les organisations, les firmes intermédiaires se veulent des intégratrices de connaissances et de technologies. En conséquences, les capacités absorptive et transformative de ces acteurs doivent être développées (Pandza et Holt, 2007).

Les centres de recherche et les universités démontrent aussi une grande centralité d'intermédialité dans les réseaux d'innovation. Une étude menée par Graf, Krüger, et al. (2009) suggère que ces derniers occupent plus fréquemment des fonctions de *gatekeepers* que les entreprises privées.

2.3.1.2 Structure petit-monde

Watts et Strogatz ont introduit le modèle du petit-monde en 1998. Ils se sont basés sur l'expérience de Milgram, qui remonte à 1967. Cette expérience a démontré que, dans tout réseau de grande taille, seulement six intermédiaires sont nécessaires afin d'atteindre n'importe qui. Ce concept s'est popularisé dans la littérature sous le nom de « six degrés de séparation ».

L'apparition fréquente de la structure du petit-monde dans divers types de réseaux (biologiques, écologiques, technologiques, etc.) a suggéré que cette disposition spécifique offrait un mécanisme d'organisation pouvant augmenter la performance (Uzzi, Amaral, et Reed-Tsochas, 2007). Les chercheurs universitaires abondent avec l'idée que cette structure facilite la diffusion de l'information dans un réseau. Par exemple, dans un contexte épidémiologique, cette structure permet une diffusion de maladie rapide à l'ensemble des acteurs (Watts, 1999). Cette efficacité de diffusion dans le réseau est une propriété fondamentale de la structure petit-monde (Kleinberg, 2000).

Un réseau petit-monde permet la coexistence entre des liens très forts dans des groupements (*clusters*) et des liens plus éparses et distants. Les parties plus fortement regroupées du réseau rend possible d'étroites collaborations et l'instauration de liens de confiance entre les acteurs tandis que les liens plus distants amènent de l'information nouvelle aux groupes (Fleming et al., 2007). En effet, les cliques (ou les groupements) permettent de créer un environnement coopératif, des consensus et un partage de modèles mentaux (Watts et Strogatz, 1998). Les autres liens évitent que ces groupements ne restent isolés.

On peut voir à la Figure 2-2 le schéma utilisé par Watts et Strogatz en 1998 afin d'illustrer l'état de petit-monde. Celui-ci se trouve entre un réseau régulier, à gauche sur le schéma, où chaque nœud est connecté à ses quatre voisins immédiats, et un réseau où les liens se font de manière complètement aléatoire, à droite.

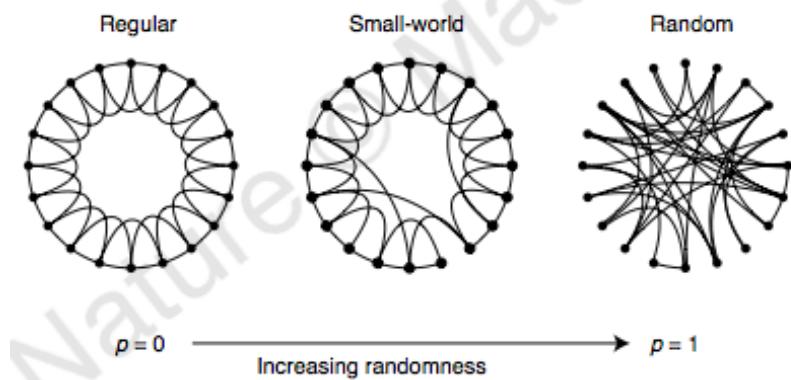


Figure 2-2: Réseau évoluant selon le degré d'*aléatoirité*, p

Source: (Watts et Strogatz, 1998)

Cowan et Jonard (2004) ont développé un modèle afin d'étudier l'efficacité des réseaux dans un contexte de diffusion de connaissances. Ils ont démontré que le transfert est maximal lorsque les réseaux présentent les caractéristiques d'un petit-monde. Cela en fait une structure parfaite pour son efficacité de transport d'informations, d'innovations, de routines, d'expériences et d'autres ressources menant à l'apprentissage organisationnelle, à l'adaptation et à l'avantage compétitif (Baum, Shipilov et Rowley, 2003). Cependant, ils ont également montré qu'à partir d'un certain point, un trop grand coefficient de groupement amène de la redondance dans les liens et peut avoir un effet négatif sur la productivité des chercheurs.

Un bon nombre d'études antérieures se sont concentrées sur l'impact de la structure de petit-monde sur des réseaux de firmes, en s'intéressant à des sujets tels que leur performance d'innovation et le transfert de connaissances. Par exemple, Sullivan et Tang (2012) ont cartographié les liens intra-firmes de l'industrie américaine du capital de risque et ont évalué l'impact de la structure du réseau sur la productivité des firmes. Ils ont observé une relation positive entre les propriétés de petit-monde et la productivité. Dans une autre étude, (Schilling et Phelps, 2004) ont visé à déterminer l'impact de la structure de petit-monde sur la performance en innovation des firmes en analysant des données de brevets. Leur travail a montré un effet positif en raison du haut coefficient de groupement (*clustering coefficient*) et de la petite valeur de plus court chemin (*average path length*) permettant aux firmes d'avoir accès aux connaissances requises pour mettre en œuvre leurs innovations.

Dans la littérature de l'innovation, on peut également trouver des travaux qui amènent l'idée que les réseaux petit-mondes favoriseraient la créativité et la performance d'innovation des acteurs. Cependant, il n'existe pas de consensus clair quant à ces éléments (Uzzi et al., 2007). En réalité, un nombre égal d'études montre que la structure petit-monde n'a pas d'impact direct sur la performance (Fleming et al., 2007; Fleming et Marx, 2006).

Sur le plan de l'individu et non de l'organisation, plusieurs études ont aussi été menées à l'aide de données de co-publications afin de caractériser les réseaux de scientifiques (Goyal, Van Der Leij et Moraga-González, 2006; Newman, 2000). Dans ces travaux, les réseaux petit-mondes ont été trouvés dans des domaines tels que la physique, les mathématiques, la biologie et l'économie. Les réseaux de co-publications montrent une tendance vers la structure de petit-monde (Ebadi et Schiffauerova, 2015a). Par exemple, en se concentrant sur la discipline de l'économie entre 1980 et 1999, Goyal et al. (2006) ont trouvé des propriétés de petit-monde. De plus, ils ont montré que le réseau affichait une tendance croissante de degré moyen, au fil du temps, et que le nombre de *gatekeepers* augmentait également.

Dans l'étude de Ebadi et Schiffauerova (2015), l'importance du rôle des acteurs les mieux connectés dans l'établissement des groupements du réseau a été soulignée. Aussi, la dynamique de co-publication (taille des équipes de recherche, multidisciplinarité, etc.) est un facteur significatif qui mène à l'obtention de réseaux petit-mondes. En fait, la probabilité d'obtenir une structure petit-monde est plus grande lorsque que les disciplines scientifiques sont orientées vers du travail réalisé en grandes équipes (Wuchty, Jones, et Uzzi, 2007). De ce fait, la présence de petit-mondes est commune dans les domaines où le travail d'équipe est la norme.

D'autre part, la structure petit-monde est résiliente. Effectivement, Kogut et Walker (2001) ont testé la robustesse de cette dernière. Ils ont trouvé que la structure petit-monde tend à conserver ses propriétés de coefficient de groupement et de longueur moyenne de chemin même si des chocs structurels l'affectent. Ainsi, un réseau de forme petit-monde bien établi maintient ses propriétés à moins qu'une forte restructuration de ses liens l'oblige à changer de structure.

2.4 Convergence matériel-logiciel dans les TIC

L'idée d'étudier la convergence est venue, en partie, d'entrevues réalisées auprès de firmes du secteur matériel des TIC, au cours de la dernière année. Effectivement, une seconde portion du

projet CDO consiste à interviewer les firmes afin de caractériser davantage leurs pratiques de collaboration et d'innovation. À la lueur des résultats préliminaires, la combinaison de composantes matérielles et logicielles dans des solutions intégrées semble être la norme dans l'industrie.

Dans la littérature, le terme convergence est galvaudé, si on peut se permettre l'expression. D'ailleurs, c'est pourquoi Roger Silverstone a écrit « *Convergence is a dangerous word* » (Silverstone, 1995, p. 11). On le retrouve dans une multitude de contextes:

- Mathématiques
- Standards de télécommunications
- Numérique versus analogique
- Matériel versus logiciel

L'informatique est un domaine où l'on recense de nombreuses convergences. L'une d'entre elles est la convergence entre l'aspect matériel (ordinateurs, réseaux de communications, lecteurs de sons et d'images, etc.) et les contenus (l'information et son traitement, la commande, etc.) (Hubert et Vinck, 2012). Pour Liestøl (2007), il s'agit plutôt d'une distinction entre le matériel (*hardware*), le logiciel (*software*) et le contenu, qu'il nomme *meaningware*, comme on peut le voir sur son cadre d'analyse à la Figure 2-3. Les lignes pointillées représentent les frontières floues entre les composantes et l'entourage des utilisateurs et des producteurs signifie l'impact de l'environnement. La convergence est justement cette incapacité grandissante à distinguer les différentes fonctions des composantes des appareils ou produits. Pour Miège et Vinck (2012), il s'agit d'une déconstruction des frontières disciplinaires et institutionnelles des mondes logiciel et matériel.

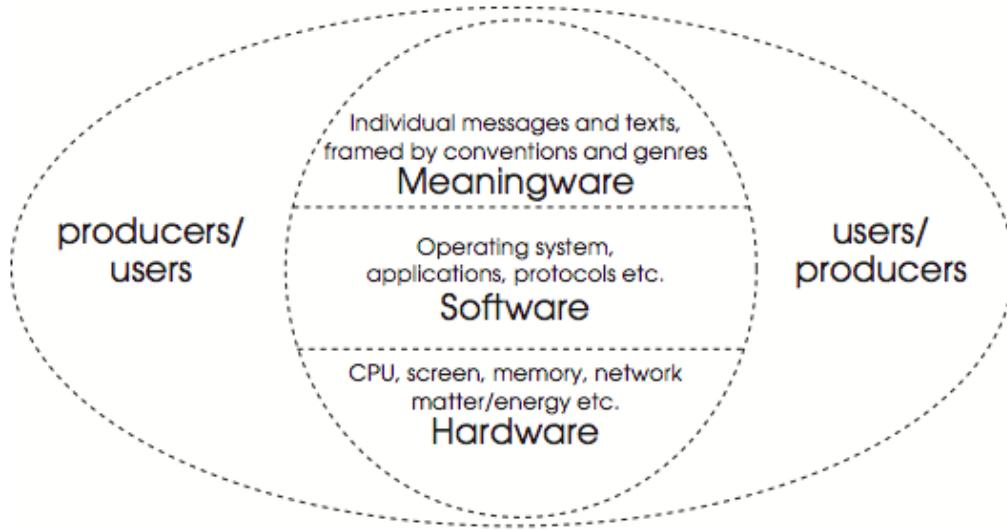


Figure 2-3: Cadre d'analyse du media numérique (*digital media*)

Source: (Liestøl, 2007)

Dans le contexte qui nous intéresse, la potentielle convergence matériel-logiciel fut d'abord une divergence. Dans les années 1970, les entreprises, telle que IBM, découplaien leurs divisions matérielles et logicielles. Les divisions de R et D de logiciels des entreprises du secteur matériel sont devenues, après le démantèlement, le moteur de croissance du secteur de logiciel indépendant (*stand-alone*) (Rao, 1999). C'est à cette époque qu'on a vu apparaître la tendance d'acheter des logiciels séparément du matériel TIC.

En télécommunications, une tendance semblable, la fin de l'intégration verticale, est survenue. Par exemple, en 1995, AT&T s'est départie de son segment d'équipements de communications pour former Lucent Technologies, de son segment d'équipements d'ordinateurs (NCR) et de Bell Communications Research, Inc. (Rao, 1999).

De nos jours, l'évolution des technologies des secteurs matériel et logiciel semble aller de pair. La distinction entre les deux est de plus en plus difficile à faire. Selon Hubert et Vinck (2012), ce que le consommateur lambda perçoit parfois comme étant du matériel (*hardware*) est en fait une couche « basse » de logiciel. Par exemple, c'est la *toolbox* de Mac, une couche logicielle, qui a grandement amélioré l'expérience utilisateur, ce qui a engendré une popularité du matériel.

Un autre exemple d'interdépendance vient du monde des jeux vidéo. Les jeux ont d'abord évolué en fonction des capacités matérielles. Ensuite, les exigences techniques de ces derniers ont poussé

les constructeurs d'ordinateurs à s'inspirer du monde cinématographique afin de développer des interfaces en couleurs (Hubert et Vinck, 2012). Cette boucle de progrès technologique mène à croire qu'il y a présence de convergence. C'est pourquoi il est désormais le rôle des fabricants de composantes matérielles, à l'exception de celles à usage général, de travailler sur l'interface matériel-logiciel.

En revanche, certains châteaux forts du secteur matériel ne sont pas touchés par la convergence mais les fournisseurs de produits et services de télécommunications vivent cette réalité. Par exemple, les technologies sans-fil, comme les nouvelles générations d'émetteurs radio, visent la conception d'appareils intégrant les logiciels (Bjorkqvist et Virtanen, 2006). La littérature portant sur la convergence en télécommunications est grande mais, une importante partie touche des aspects de standardisation.

Enfin, d'un point de vue de la convergence en recherche, il existe peu de littérature à ce niveau mais on voit qu'une tendance vers les centres de recherche interdisciplinaire est grandissante (Katz et Martin, 1997a). Par exemple, en France, certains pôles d'innovation, tel que Le Pôle d'Innovation pour les Logiciels et Systèmes Intelligents (PILSI), tentent d'intégrer les aspects de logiciel et de matériel au sein d'un même endroit (Hubert et Vinck, 2012). Cela rejoint donc la littérature sur la recherche collaborative.

2.5 Résumé

Pour conclure, les concepts couverts dans cette revue de littérature apportent un cadre de référence pour évaluer les liens de collaboration dans un contexte d'analyse de réseaux sociaux. Tout d'abord, on a établi une définition pour la diffusion de la connaissance. Ensuite, la différence entre la collaboration université – industrie et celle ayant lieu entre chercheurs universitaires a été abordée. Les firmes ont des besoins spécifiques, pouvant se situer autant au niveau de la recherche fondamentale que de la recherche appliquée, auxquels les universités peuvent répondre. Les chercheurs universitaires ressentent également différents facteurs les poussant à collaborer, dépendamment du contexte. Lorsqu'ils collaborent avec des entreprises, ils cherchent à sécuriser des fonds de recherche et à faire progresser leur agenda de recherche. Dans un contexte de collaboration avec leurs pairs, les facteurs sont plutôt reliés aux aspects financiers de la recherche (coûts et accès au financement) et à la spécialisation grandissante de la science.

Ensuite, les facteurs de proximité, couvrant des concepts permettant la caractérisation de liens de collaboration, ont été introduits. L'approche des facteurs de proximité est complémentaire à une méthode plus quantitative comme celle de l'analyse des réseaux sociaux. Dans ce mémoire, la méthode des réseaux sociaux est privilégiée, d'une part parce que les données en main s'y portent plus mais aussi parce qu'il est plus cohérent de débuter par celle-ci. En effet, après avoir cartographié les réseaux de collaboration, la nature des liens peut être sondée par une analyse des facteurs de proximité. Donc, le cadre d'analyse des facteurs de proximité n'est pas utilisé dans l'explication des résultats.

Enfin, la deuxième partie de ce chapitre a présenté l'analyse de réseaux sociaux dans un contexte de collaboration. On a pu constater que la structure du réseau de collaboration, incluant la position des acteurs clés, a un impact important sur ses propriétés de diffusion de connaissances. D'ailleurs, la structure « petit-monde » est celle qui permet d'atteindre des conditions de diffusion optimales. Elle permet la combinaison de liens très forts dans des groupements locaux et l'apport d'information nouvelle par l'entremise de liens plus distants. Ainsi, dans un contexte de collaboration, il est intéressant d'identifier sa présence parce qu'elle est certainement souhaitée, dû à ses propriétés.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre est dédié à la description de la nature des données de collaboration en main ainsi qu'à l'élaboration des méthodes employées afin des les analyser. Cette section du mémoire est divisée en six parties. D'abord, la première partie décrit la nature des données utilisées dans cette étude et explique leur structure. Ensuite, les deux sous-sections suivantes abordent la formulation des hypothèses de recherche, les objectifs de recherche et la méthodologie générale. La quatrième partie aborde le traitement permettant de rendre les données interprétables dans un cadre d'analyse de collaboration. Enfin, la cinquième sous-section définit les indicateurs de mesure de l'analyse de réseaux sociaux et explique le fonctionnement du logiciel utilisé. La dernière partie est un résumé des points importants de chapitre.

L'étude des phénomènes reliés à la collaboration scientifique se fait généralement de deux manières. La première est une méthode qualitative qui vise à investiguer la nature de la collaboration et la dynamique sous-jacente, souvent en utilisant des entrevues ou des sondages. La seconde, celle préconisée dans ce travail, est une méthode quantitative qui vise plutôt à cartographier et à mesurer des activités de collaborations à l'aide, par exemple, de données bibliométriques.

3.1 Données

Les données de financement de la recherche, en notre possession, proviennent du Centre de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et de l'organisme MITACS. Ce sont donc des données secondaires car elles ont été collectées par ces organismes et catégorisées selon leur classification respective. Les sous-sections suivantes présentent la nature des données ainsi que leur structure.

3.1.1 Le CRSNG

Le CRSNG est un organisme du gouvernement fédéral qui, via plusieurs de ses programmes, finance la recherche à l'échelle nationale. Cette recherche peut être universitaire uniquement, purement appliquée aux entreprises, ou au confluent des deux. Sa vision est de faire du Canada un pays de découvreurs et d'innovateurs.

Les projets qui nous intéressent ici, sont ceux menés principalement par un chercheur universitaire, mais en collaboration avec d'autres chercheurs ou des entreprises privées. En effet, favoriser la collaboration fait partie du rôle de l'organisme (Government of Canada, 2016). Le CRSNG a été créé en 1978. Avant cela, c'était le Conseil national de recherches qui finançait la recherche universitaire. Aujourd'hui, le budget total du CRSNG s'élève à 1,1 milliards de dollars alors qu'il était de 112 millions à sa création.

À la base, le CRSNG était plutôt dédié à la recherche universitaire. Cependant, durant son histoire, les liens avec l'industrie se sont renforcés. Par exemple, en 1983, le gouvernement fédéral a augmenté le budget consacré aux partenariats universités-industrie (Government of Canada, 2016). D'ailleurs, aujourd'hui, 29 des 50 plus importantes entreprises réalisant de la R et D participent au financement de la recherche universitaire en collaboration avec le CRSNG. Il est à noter que ce financement est sensible aux tendances gouvernementales. Par exemple, en 2013, sous la gouvernance de Harper, le budget CRSNG a baissé de 4%. En effet, le budget en 2013-2014 était de 1,05 milliards de dollars, tandis qu'en 2012-2013, il était plutôt d'environ 1,09 milliards de dollars. Les projets dits *rentables* ont également été privilégiés (Gravel, 2015).

En bref, cette source de données permet d'étudier la collaboration entre chercheurs universitaires mais également la collaboration universités-entreprises.

3.1.2 L'organisme MITACS

MITACS, quant à lui, est un organisme national à but non lucratif qui établit des partenariats entre le milieu universitaire et l'industrie, dans le but de stimuler l'innovation au Canada (Mitacs, 2016). En 1999, il a été fondé avec l'objectif d'appuyer la recherche appliquée et industrielle. On voit que la mission ressemble à celle du CRSNG, mais avec un focus clair sur les partenariats industriels.

Depuis 2003, MITACS utilise un modèle de stages en entreprises pour la réalisation de projets de recherche par des étudiants de cycles supérieurs et des post-doctorants. Cela se traduit par différents programmes mais principalement chaque projet de recherche sélectionné, d'une durée de six mois à un an, reçoit 15 000 \$ de MITACS et des entreprises partenaires. Le modèle de financement est ainsi très différent du CRSNG, qui offre des subventions plus importantes pour des projets pouvant être de plus longue durée. Cet organisme est de plus en plus populaire auprès

des entreprises. Si on prend l'exemple du programme Accélération, celui du stage de recherche des étudiants de cycles supérieurs ou des post-doctorants, il est passé de 1290 à 3981 stages entre 2010-2011 et 2014-2015. Suite à cette popularité, le gouvernement fédéral a multiplié les annonces d'investissements dans l'organisme. Par exemple, en 2016, le gouvernement a injecté 14 millions de dollars dans le programme international de MITACS, Globalink, afin de favoriser les partenariats externes.

Contrairement aux données du CRSNG, ces données permettent d'établir uniquement le lien entre les superviseurs universitaires des projets (des chercheurs) et les entreprises partenaires. Cette source ne nous permet pas d'étudier la collaboration entre chercheurs.

3.1.3 Structure des données

L'analyse de la collaboration a été faite sur la base de deux familles de liens: les liens de financement et les liens de co-publication. Les liens de financement proviennent du CRSNG et de MITACS. Les liens de co-publication proviennent de L'Observatoire des sciences et des technologies.

3.1.3.1 Données de financement CRSNG

Les données utilisées dans notre recherche sont les liens de collaboration tirés des projets financés par le CRNSG de 1998 à 2014. Il est à noter que les données sont disponibles à partir de 1993 mais la période que nous étudions débute en 1998 puisqu'avant cette date, les données sont trop disparates. Celles-ci ont été collectées sur le site web officiel du CRNSG. Les données sont séparées en trois fichiers, en format CSV, pour chaque année.

- Le premier fichier, le fichier maître nommé AWARDS, contient les informations des projets. Ces derniers ont un identifiant unique. On retrouve le chercheur principal de la recherche, un chercheur universitaire, ainsi que son institution d'affiliation dans ce premier fichier. On y trouve également la classification des projets selon le domaine d'application, permettant la sélection des projets d'intérêt dans notre étude et le montant de la subvention. Le mécanisme de sélection est expliqué un peu plus loin.
- Le second fichier, nommé CO-APPLICANTS, relie les projets (par leur identifiant unique) aux autres co-chercheurs universitaires. Certains projets n'ont pas de co-

chercheurs. Il est à noter que l'affiliation n'est disponible qu'à partir de 2003. Ce faisant, la caractérisation des réseaux des institutions n'est possible qu'à partir de cette même année.

- Finalement, le troisième fichier, nommé PARTNER, relie aussi chaque projet aux partenaires industriels. Ainsi, il est possible de faire le lien entre les trois parties : investigateurs principaux, co-chercheurs et partenaires industriels. Ces liens ont été créés grâce à une macro Excel qui sera expliquée plus loin dans cette section.

Les données brutes contiennent tous les projets financés par l'organisation, soit plus de 300 000 tranches annuelles de projets pour les 17 années incluses dans la période 1998-2014. De ce fait, toutes les disciplines sont incluses. Le mécanisme de sélection des projets du secteur matériel des TIC requiert l'utilisation des filtres de la base de données des fichiers AWARDS. Un premier filtre, appliqué sur le groupe de domaines d'application du projet, a d'abord retenu les projets reliés au TIC uniquement. Le champ se nomme *Area of Application Group*. Cela a permis de retenir 17 958 portions annuelles de projets.

Ensuite, un deuxième filtre, appliqué sur le domaine d'application (*Area of Application*) lui-même, a été utilisé afin d'éliminer les projets des secteurs logiciels et services. Finalement, le sujet de recherche (troisième filtre), nommé *Research Subject*, permet d'identifier de manière plus précise les projets du secteur matériel et élimine des projets qui seraient de nature purement mathématique, par exemple. La liste exhaustive des sujets de recherche respectant les critères de sélection du secteur matériel des TIC est disponible à l'Annexe M. Tous les traitements ont été réalisés à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

Au final, on dénombre 9568 projets, ou portions annuelles de projets, considérés dans le secteur matériel des TIC impliquant 725 chercheurs universitaires. Cette liste de chercheurs se situe à l'Annexe C. Ce faisant, si un projet dure trois ans, il apparaît dans les trois fichiers couvrant cette période.

3.1.3.2 Données de financement MITACS

Du côté des données MITACS, les données nous ont été fournies par l'organisme même. Ces dernières consistent en un fichier Excel comportant cinq 5 feuillets (*spreadsheets*), soit une pour chaque année entre 2011 et 2016. Les données sont séparées selon les années fiscales suivantes:

2011-2012, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015 et 2015-2016. En tout, on dénombre 5905 projets annuels MITACS, dont 1278 sont en TIC. On compte les projets sur une base annuelle, i.e., si un même projet dure trois ans, il est considéré comme un projet distinct à chaque année.

Aucun des champs présents dans les fichiers MITACS ne permet la sélection des projets du secteur matériel des TIC spécifiquement. La granularité du filtre du domaine d'application permet uniquement de choisir les projets TIC en général. Ce faisant, nous avons dû utiliser la liste des chercheurs, préalablement identifiés comme étant du secteur matériel des TIC, dans la base de données CRSNG pour identifier les projets matériel.

Cette technique n'est pas idéale car des projets du secteur matériel nous échappent forcément mais cela nous évite de regarder le titre de chaque projet et d'évaluer à l'aide de mots-clés si ceux-ci font partie du secteur matériel. Cela dit, la méthode par mots-clés a également son lot de difficultés. La variété de domaines inclus dans le secteur matériel rend difficile l'établissement d'une liste exhaustive de mots-clés. On n'a pas trouvé de liste pré-établie dans la littérature. Donc, les projets MITACS, ayant un superviseur universitaire faisant partie de la liste de chercheurs CRSNG, sont classés comme projets du secteur matériel des TIC. Au final, on en dénombre 423 en cinq ans.

Dans les feuillets Excel, les informations utilisées dans notre recherche sont:

- Domaine de priorité du projet (*Priority Area*), permettant la sélection des projets TIC
- Le superviseur universitaire du projet de recherche (*Academic Supervisor*)
- Son affiliation universitaire
- Et jusqu'à trois organisations partenaires par projet

3.1.3.3 Données de co-publications

Comme on peut le voir sur la méthodologie générale de recherche, à la Figure 3-1, l'extraction des articles se fait à l'aide de la liste de chercheurs du secteur matériel des TIC construite à partir des données du CRSNG. Ici également, l'idéal pour caractériser le secteur matériel des TIC aurait été d'extraire les articles en fonction de mots-clés. Cependant, comme expliqué plus tôt, cette méthode est difficilement applicable dans notre cas. De plus, en utilisant la liste de chercheurs

provenant des données CRSNG, il est aisément possible de comparer les différents réseaux de collaborations (financement par rapport à co-publication) car ils sont composés des mêmes acteurs.

Cette liste a été envoyée à une collègue, Pauline Huet, qui a réalisé l'extraction auprès de l'Observatoire des sciences et des technologies (OST). L'OST est un organisme dédié à la mesure de la science, de la technologie et de l'innovation (Présentation de l'OST, 2016). Il possède une équipe technique qui entretient et développe plusieurs bases de données. Nos données de co-publications proviennent de l'une d'entre elles, la Banque de données bibliométriques canadienne (BDBC). Cette dernière est construite à partir de la banque de données *Web of Science*, fournie par l'*Institute for Scientific Information* (ISI) et de Thomson Reuters.

À l'aide des noms et de l'affiliation des chercheurs, on a pu extraire les articles où ces derniers sont co-auteurs. Cependant, le risque d'homonyme est non-négligeable puisque l'affiliation des chercheurs auprès de l'OST n'est pas faite de manière automatique que depuis quelques années (2009). Ce faisant, les noms communs, tels que les noms de famille asiatiques, peuvent engendrer des faux-positifs. Le fichier extrait contient plusieurs informations, voici celles dont nous faisons usage:

- L'auteur de la liste
- Titre de l'article
- Année de publication
- Nom de la revue ou du journal
- Spécialité reliée à l'article

Suite à l'extraction des articles de 1993 à 2016, un premier nettoyage a été effectué. Ce nettoyage consistait à enlever les articles n'étant pas pertinents au secteur matériel des TIC. Pour ce faire, on utilise principalement la spécialité de l'article comme premier filtre. Parmi les spécialités, voici une liste non-exhaustive de celles où l'on a supprimé des données :

- *Management*
- *Law*
- *Nursing*

- *Sociology*

On retrouve ces articles en raison d'homonymes mais aussi car certains auteurs de notre liste sont des auteurs occasionnels du secteur matériel des TIC. Parfois ce sont des chercheurs dans le milieu de la santé, par exemple. Cela provient de l'aspect transversal des TIC, ils apparaissent dans tous les secteurs, même en recherche. Il faut donc s'assurer de ne pas considérer les articles qui traitent purement des domaines, tel que la santé, sans l'aspect matériel des TIC.

La liste exhaustive des spécialités, où l'on a enlevé des données, se trouve en Annexe D. Dans le fichier initial, on comptait 12 898 articles comportant des co-auteurs de la liste dans les données de co-publications. Après nettoyage, ce chiffre est tombé à 12 167. Cela nous a permis, entre autres, d'identifier des articles provenant de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, le CERN, qui contenaient plus de 1000 co-auteurs et qui auraient faussé l'analyse de réseaux.

Ensuite, la deuxième étape de nettoyage consiste à homogénéiser le nom des auteurs. Par exemple, on doit s'assurer que le chercheur John-SW ait le même nom dans tous les articles. S'il se nomme John-S dans un autre article, on doit le renommer John-SW afin de ne pas avoir deux fois le même chercheur dans le réseau.

Lorsque ces deux étapes de nettoyages sont réalisées, les données sont mises sous la forme voulue: des matrices de collaboration formées de liens entre paires de co-auteurs de la liste CRSNG. Puisqu'on désire étudier l'évolution du réseau, nous avons choisi d'étudier deux périodes: 1998-2004 et 2008-2014. Ici, comme avec les données de financement CRSNG, des fenêtres de cinq ont été privilégiées. Ce faisant, on obtient six réseaux distincts: 1998-2002, 1999-2003, 2000-2004, 2008-2012, 2009-2013 et 2010-2014. On peut voir dans le Tableau 3-1, le nombre de liens de co-publications pour chacun de ces réseaux. On remarque immédiatement que le nombre de liens est croissant dans le temps. Cela confirme la tendance de recherche collaborative. On peut aussi penser qu'une partie des chercheurs n'étaient pas actifs, ou moins actifs, dans la première période étudiée (1998-2004).

Tableau 3-1: Nombre de liens de co-publications entre paires d'auteurs de liste CRSNG

Réseau	1998-2002	1999-2003	2000-2004	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Nb de liens	245	310	444	1427	1535	1658

3.2 Hypothèses et objectifs de recherche

Suite à la revue de littérature, quelques hypothèses ont pu être dégagées. Cependant, comme mentionné dans le contexte de la recherche, ce travail est le premier bloc d'un projet de cinq ans. Ce faisant, l'aspect de compréhension préliminaire des données et de caractérisation des phénomènes observés est prédominant. Ainsi, on retrouve également des résultats visant la compréhension du réseau de collaboration plutôt que la confirmation d'hypothèses formelles.

Tel que mentionné dans la revue de littérature, la structure d'un réseau a un impact sur le transfert de connaissances et sur la dynamique de collaboration. D'ailleurs, dans des études antérieures, la structure de petit-monde est communément identifiée dans des réseaux de co-publication (e.g., Barabâsi et al., 2002; Ebadi et Schiffauerova, 2015b; Newman, 2000). Afin d'apporter un apport à la littérature concernant les réseaux de collaboration, en utilisant cette fois-ci les données canadiennes d'un sous-secteur précis, celui du *hardware*, nous pouvons établir l'hypothèse suivante:

Hypothèse 1: Le réseau de collaboration des chercheurs du secteur matériel des TIC présente une structure permettant une transmission de connaissances, ainsi qu'un modèle de communications, optimaux. Cela peut se traduire par trois sous-hypothèses.

- a) Le réseau de *co-publications* des chercheurs présente une structure petit-monde.
- b) Le réseau de collaboration dans le *financement* CRSNG présente une structure petit-monde.
- c) L'évolution de ces réseaux dans le temps montre une structure petit-monde persistante.

Ensuite, il est intéressant de regarder l'aspect de convergence dans les réseaux. La littérature n'est pas univoque à ce niveau. Cependant, les travaux de Bjorkqvist et Virtanen (2006) et de Liestøl (2007) ainsi que les résultats préliminaires des entrevues réalisées auprès d'entreprises des TIC au Canada, apportent suffisamment d'indices menant à l'hypothèse suivante:

Hypothèse 2: Le réseau de collaboration des chercheurs du secteur matériel des TIC affiche une convergence avec les chercheurs des autres domaines des TIC, soient logiciel et services. Cela se traduit formellement par l'hypothèse suivante: L'évolution temporelle du réseau de collaboration dans le *financement CRSNG* montre, au fil du temps, une augmentation, absolue et relative, des liens entre chercheurs du secteur matériel et les autres chercheurs.

Les autres résultats présentés dans cet ouvrage se veulent un travail de défrichage afin de comprendre l'écosystème de collaboration canadien du secteur. Ils permettront d'engendrer des hypothèses futures et d'alimenter les entrevues qui ont lieu en parallèle.

3.2.1 Objectifs de recherche

L'objectif du travail réalisé dans ce mémoire est de dresser le portrait actuel de la collaboration dans le milieu de la recherche du secteur matériel des TIC, mais aussi d'étudier son évolution dans le temps.

Cet objectif général se divise en sous-objectifs plus spécifiques :

- Établir les réseaux de collaboration des individus et des organisations, aux niveaux du financement et de la co-publication.
- Représenter graphiquement les réseaux de collaboration établis.
- Caractériser ces réseaux de façon à mieux connaître la dynamique de collaboration et mesurer l'importance des acteurs (chercheurs, firmes, etc.)
- Identifier la présence de la structure petit-monde dans les réseaux
- Montrer l'évolution des différentes mesures dans le temps.
- Identifier la présence de la convergence dans le réseau de financement.

3.3 Méthodologie générale de recherche

En résumé, la méthodologie générale de ce travail de recherche est représentée à la Figure 3-1. Chacune des étapes sera davantage expliquée dans les sections subséquentes.

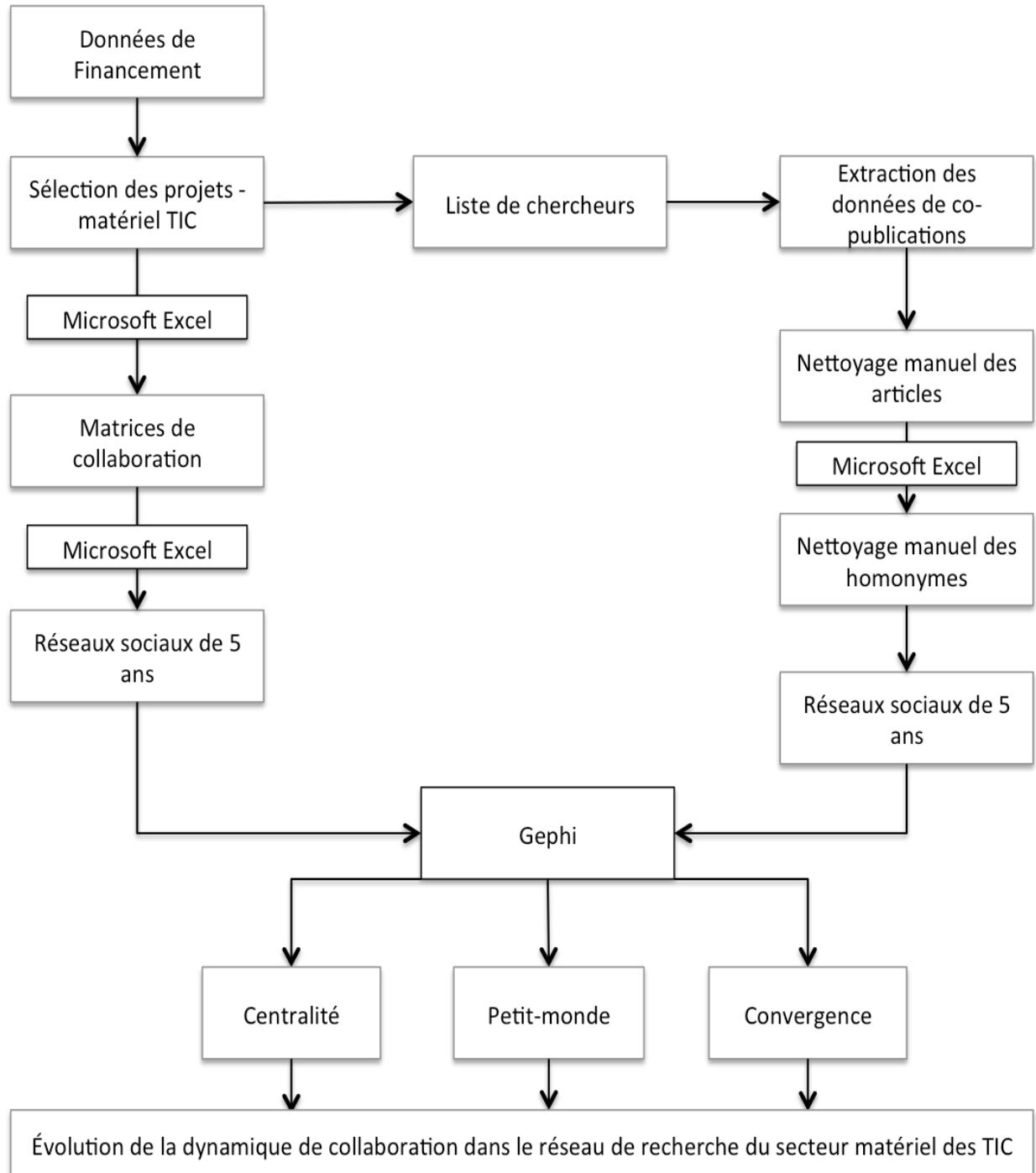


Figure 3-1: Méthodologie générale de recherche

3.4 Traitement Excel: construction des matrices de collaboration

Microsoft Excel a été utilisé afin de traiter les données de tout type. Lorsque les fonctions du logiciel ne permettaient pas de réaliser une opération, des macros utilisant le langage *Visual Basic*

for Applications (VBA) ont été développées. Puisque les données de co-publications nous sont parvenues via l'OST, sous forme de matrices de collaboration lisibles par le logiciel d'analyse de réseaux sociaux, le traitement Excel a été davantage utilisé avec les données de financement.

D'abord pour les données du CRSNG, puisque les chercheurs principaux sont séparés des co-chercheurs et des partenaires industriels, la première étape consiste à mettre toutes les parties prenantes des projets dans un même fichier. On se retrouve avec un fichier ayant la forme du Tableau 3-2.

Tableau 3-2: Exemple de consolidation de données CRSNG

Id de projet	Collaborateur
1	Mikael
1	Diego
1	IBM
2	MalcomX
2	George

À partir d'ici, une macro, décrite en Annexe E, a été développée afin de créer les liens présentés dans le Tableau 3-3. Ces liens sont désormais prêts pour la construction des réseaux. Les champs *Source* et *Target* étant nécessaires pour la compatibilité avec le logiciel d'analyse de réseaux sociaux. *Source* définit le nœud de départ du lien, tandis que *Target* désigne le nœud d'arrivée. Puisque les liens étudiés dans ce mémoire ne sont pas directionnels, les colonnes *Source* et *Target* sont interchangeables.

Tableau 3-3: Liens CRSNG créés par la macro Excel

Source	Target
Mikael	Diego
Mikael	IBM
Diego	IBM
MalcomX	George

Contrairement aux données CRSNG, les informations MITACS, propres à chaque projet, figurent sur la même ligne dans les feuillets Excel fournis. Le traitement est ainsi plus simple, afin de générer les matrices de collaboration. À titre d'exemple, le Tableau 3-4, illustre la disposition des données.

Tableau 3-4: Exemple de disposition des données pour les projets MITACS

Priority Area	Academic	University	Partner	Partner	Partner
			Supervisor	Organization	Organization
				1	2
TIC	Martin	Polytechnique	STM	-	-
	Trépanier	Montreal			
TIC	David	HEC	CDO	Bell Canada	-
	Doloreux	Montreal			

À partir de là, l'utilisation d'une macro Excel (placée en Annexe F) permet d'extraire les quatre liens de collaboration présentés dans le Tableau 3-5:

Tableau 3-5: Extraction des liens de collaboration MITACS

Martin Trépanier	STM
David Doloreux	CDO
David Doloreux	Bell Canada
CDO	Bell Canada

On fait l'hypothèse que toutes les parties prenantes du projet collaborent ensemble, c'est pourquoi on extrait également les liens entre partenaires, tel que celui entre CDO et Bell Canada dans le tableau précédent. Une différence majeure entre les données MITACS et CRSNG repose dans le fait que les données MITACS ne lient pas les chercheurs entre eux, puisque c'est un mécanisme de financement de stages de recherche en entreprise.

Dépendamment, de l'analyse et des données à notre disposition, on a créé des réseaux de trois à cinq ans. Ce choix revient au chercheur. Par exemple, pour l'analyse de petit-monde du réseau de collaboration CRSNG, la période 2003-2014 a été étudiée, à l'aide de fenêtres de cinq ans. Il suffit de s'assurer que la fenêtre utilisée permet de bien capturer la collaboration et de cartographier un grand nombre de liens sinon l'analyse par réseaux sociaux perd de son utilité. Dans le cas du financement CRSNG, les collaborations peuvent durer plusieurs années alors la fenêtre de cinq ans a été privilégiée. Ce faisant, pour cette analyse, huit réseaux ont été générés.

À l'inverse, les collaborations MITACS consistent en de courts stages de recherche (6 à 12 mois). Alors, pour cet ensemble de données, l'utilisation de réseaux de trois ans a été employée. De surcroît, les données MITACS ne couvrent que la période 2011-2016, donc l'utilisation de réseaux de cinq ans aurait permis moins de flexibilité dans l'observation de l'évolution de la collaboration.

3.5 Analyse de réseaux sociaux et indicateurs

Un réseau social caractérise les interactions entre un ensemble d'individus ou d'organisations (groupes d'individus). La composition d'un réseau consiste de nœuds et de liens (appelés aussi

connections ou arcs). Dans le cas examiné dans ce mémoire, les nœuds représentent les acteurs du réseau et les liens sont les connections de financement ou de co-publications entre les acteurs. L'analyse de réseaux sociaux est communément utilisé afin d'étudier les systèmes complexes dans diverses disciplines (biologie et sciences sociales, pour ne nommer que ceux-là). Les techniques employées dans une analyse de réseaux sociaux combinent un traitement mathématique avec la visualisation des systèmes, ce qui facilite la caractérisation de ces derniers, ainsi que les différentes interactions ayant lieu en leur sein (Krebs, 2004). Voici une définition simple des éléments fondamentaux des réseaux sociaux :

- **Acteur:** entité sociale dans un réseau. Tous les membres du réseau, chaque nœud, sont appelés acteurs. Dans notre cas, ils peuvent être de nature individuelle (chercheurs) ou de nature collective (firme, université, etc.)
- **Lien relationnel:** lien du réseau qui unit une paire d'acteurs dans le réseau. Dans ce mémoire, sa nature est collaborative mais dans deux contextes distincts: le financement et la co-publication. La nature du lien peut être de toute sorte. Les liens peuvent également être directionnels ou pas. La collaboration étudiée dans ce mémoire n'est pas directionnelle mais dans un réseau d'influence sociale, par exemple, on pourrait indiquer la direction de l'influence de chaque membre sur les autres.
- **Groupe:** sous-ensemble d'acteurs liés entre eux indépendant du reste du réseau. On peut aussi appeler ces groupes des composantes du réseau. Dans un réseau hautement fragmenté, on peut retrouver un nombre important de composantes.
- **Réseau social:** ensemble d'acteurs ayant des relations (ou liens) définies entre eux. Mathématiquement, on exprime le réseau social comme $G = \{V, E\}$ où V est l'ensemble de nœuds (V_1, V_2 , etc.) et E contient l'ensemble des liens unissant une paire d'éléments de V . Il est à noter qu'on utilise g comme le nombre d'éléments dans l'ensemble de nœuds V .
- **Composante géante** (ou principale): plus grande composante du réseau, i.e., celle qui possède le plus grand nombre de nœuds.

L'analyse de réseaux sociaux a comme objectif principal la détection et l'interprétation de patrons reconnaissables parmi les liens sociaux des différents membres du réseau. Cela permet

d'avoir un cadre pour poser et tester des hypothèses basées sur des relations structurées, à l'aide des mesures mathématiques et des propriétés structurelles des réseaux (Nooy, Mrvar et Batagelj, 2011). Des études récentes ont utilisé l'analyse de réseaux sociaux afin de comprendre les liens de collaboration et de définir l'influence de la structure d'un réseau sur les performances en innovation de ses membres (Bercovitz et Feldman, 2011; Rost, 2011).

La représentation visuelle d'un réseau est appelée un graphe. La théorie des graphes nous offre un bagage mathématique intéressant permettant d'expliquer et de caractériser des phénomènes sociaux. De plus, l'être humain a plus de facilité à comprendre des systèmes complexes lorsqu'il a une représentation visuelle simplifiée de ceux-ci, telle que le graphe dans notre cas. À titre d'illustration, on peut voir, à la Figure 3-2, un exemple d'un réseau à six nœuds et sept liens.

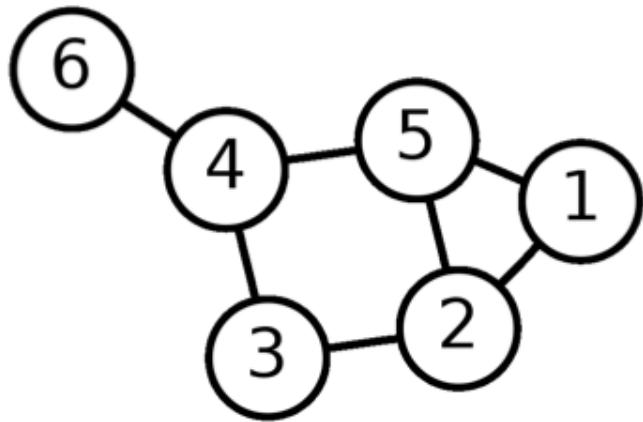


Figure 3-2: Exemple d'un graphe à six nœuds et sept liens (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)

Les liens peuvent être pondérés, c'est-à-dire, qu'on peut leur attribuer une intensité. Par exemple, si le nœud 4 collabore avec le nœud 6 plus fréquemment ou de manière plus intense qu'avec les autres (nœuds 3 et 5), alors sa connexion sera plus forte. Dans l'exemple de la Figure 3-2, on note également que les liens ne sont pas directionnels, puisqu'il n'y a pas de sens précis allant d'un nœud à l'autre.

La théorie des graphes et l'analyse de réseaux sociaux, plus spécifiquement, utilisent diverses mesures pour décrire la structure générale des réseaux mais aussi afin de déterminer l'importance relative de ses nœuds. Dans ce mémoire, on utilise plusieurs concepts clés qui seront définis dans la sous-section suivante.

3.5.1 Propriétés des réseaux et des nœuds

3.5.1.1 Parcours et distance

La notion de distance entre des nœuds est très relative dans un réseau, elle dépend de sa structure et de la position de chaque nœud. Pour qu'un nœud soit central, il doit être facilement atteignable par la majorité des membres du réseau. Voici quelques concepts reliés à la distance et aux parcours dans un graphe.

- **Parcours (Walk):** une séquence qui alterne nœud et lien, commençant et se terminant par un nœud, où chaque nœud est précédé et suivi d'un lien. Un parcours est fermé si le nœud de départ est également le nœud de fin. Autrement, le parcours est ouvert.
- **Longueur (Length):** la longueur d'un parcours, noté l , est le nombre de liens utilisés afin de se rendre du nœud de départ au nœud d'arrivée. Pour un parcours ouvert, $l = n-1$, où n est le nombre de nœuds rencontrés (un nœud est compté à chaque fois qu'il est rencontré). Pour un parcours fermé, $l = n$. À la figure de référence (Figure 3-2), le parcours ouvert (1, 2, 5, 1, 2, 3) a une longueur de cinq tandis que le parcours fermé (4, 5, 2, 1, 5, 4) a également une longueur de cinq.
- **Sentier (Trail):** parcours dans lequel tous les liens sont distincts, mais pas nécessairement tous les noeuds. Un sentier fermé est parfois appelé un circuit ou un tour.
- **Chemin (Path):** parcours dans lequel tous les liens et tous les noeuds sont distincts. Dans certains documents, on le nomme aussi chaîne (*Chain*). Dans l'exemple de la Figure 3-2, le parcours (5, 2, 1) est un chemin de longueur 2.
- **Géodésique ou chemin le plus court:** c'est tout simplement le chemin le plus court liant deux nœuds. Celui-ci peut ne pas être unique puisque deux chemins distincts de la même longueur peuvent unir deux mêmes acteurs dans un réseau. Donc, lorsqu'on parle de distance entre deux nœuds, on prend toujours la géodésique, la distance la plus courte. Dans un cadre de diffusion de connaissances, cela revient à faire l'hypothèse que l'information prend le chemin le plus court pour se rendre d'un point A à un point B. D'ailleurs, on note la distance, entre deux nœuds i et j , $d(i,j)$ (Newman, 2004).

La plus grande géodésique d'un réseau représente son diamètre. C'est la distance séparant la paire de nœuds la plus éloignée, l'un de l'autre.

3.5.1.2 Degré nodal

Le degré d'un nœud, noté $d(i)$, est le nombre de liens associé à ce dernier. Ainsi, pour un réseau non-dirigé (sans liens directionnels), c'est également le nombre de voisins connectés à un nœud (Wasserman et Faust, 1994). Ce faisant, cette valeur peut aller de 0, dans le cas où le nœud est complètement isolé du réseau, à $g-1$ lorsque le nœud est connecté à tous les autres acteurs. Par exemple, toujours à la Figure 3-2, le nœud 4 a un degré de trois puisqu'il est relié à trois nœuds. Ce concept est facile d'interprétation et est utilisé dans une des mesures de centralité, qui est expliquée un peu plus loin.

Le degré nodal peut également être pondéré (*Weighted Degree*). Ici, la nuance provient du fait que l'on considère l'intensité d'interaction. Si le nœud 1, à la Figure 3-2, collabore deux fois avec le nœud 5 et une fois avec le nœud 2, il aura une valeur de trois comme degré pondéré. Cependant, son degré nodal est toujours de deux, puisqu'il est relié à deux nœuds.

3.5.1.3 Centralité

Les mesures de centralité permettent d'identifier les acteurs les plus importants dans un réseau social. C'est un des principaux avantages de l'analyse de réseaux sociaux. Il existe plusieurs types de centralité qui, chacune à leur manière, mettent l'emphasis sur l'importance relative des nœuds dans leur environnement. De manière générale, ces mesures reposent sur le même principe: un acteur central est actif dans les interactions avec son entourage (Wasserman et Faust, 1994).

D'un point de vue pratique, on retrouve de maintes utilités à l'identification des acteurs les plus centraux. Notamment, on peut penser aux éléments suivants:

- Cela permet de disséminer plus rapidement de l'information dans un réseau.
- Dans un contexte épidémiologique, une pandémie peut être plus rapidement arrêtée.
- On peut éviter des ruptures de certaines composantes d'un réseau principal en misant sur les interactions des acteurs qui lient le plus ses membres.

Nous verrons plus en détails dans les sous-sections suivantes une définition pour chaque mesure de centralité présentée ci-dessous:

- Centralité de degré
- Centralité d'intermédiarité
- Centralité de vecteurs propres

Ce sont les mesures de centralité les plus largement utilisées dans la communauté scientifique. Elles ont été développées par Freeman en 1977 dans un contexte de réseaux de communications.

Centralité de degré

Cette mesure utilise la notion de degré nodal, expliquée précédemment. En fait, la centralité de degré est égale au degré nodal, pour un nœud dans un réseau simple (non-pondéré). Pour un nœud dans un réseau pondéré, c'est tout simplement la sommation de la valeur de tous les liens unissant ce nœud à d'autres acteurs dans le réseau. Mathématiquement, la centralité de degré d'un nœud i , $C_D(i)$, se traduit par l'équation (1).

$$C_D(i) = \sum_j x_{ij} \quad (1)$$

Où x_{ij} est la valeur du lien entre les nœuds i et j . On peut aussi établir une centralité de degré pour le réseau global en faisant la moyenne des centralités de degré natales. Ainsi, on peut comparer des réseaux de taille différente.

Cette centralité est souvent associée au risque immédiat d'un nœud d'*attraper* ce qui se transmet dans le réseau, tel que du savoir ou des connaissances. Ce faisant, un nœud qui possède une grande centralité de réseau se positionne là où l'activité est effervescente. Au contraire, une faible valeur de centralité signifie généralement un nœud se trouvant en périphérie du réseau (Wasserman et Faust, 1994). Afin d'illustrer cette notion, on peut voir, à la Figure 3-3, la valeur de la centralité de degré à l'intérieur de chaque bulle, représentant les nœuds. Le nœud central possède un degré nodal de cinq tandis que les nœuds en périphérie ont une valeur de centralité de degré de un uniquement.

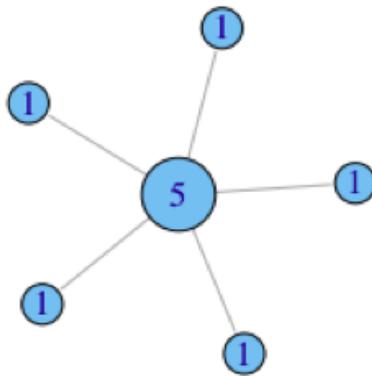


Figure 3-3: Illustration de la centralité de degré (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)

Centralité d'intermédiarité

L'intermédiarité (ou *Betweenness* en anglais) est une notion de centralité qui vise à mesurer le contrôle qu'a un nœud sur les chemins présents dans un réseau. Typiquement, elle est plus élevée pour les nœuds qui connectent différentes communautés (groupes plus denses dans le réseau). L'idée est qu'un acteur est central s'il est situé entre d'autres acteurs, spécialement si ce dernier est positionné sur les chemins les plus courts entre ces individus (Wasserman et Faust, 1994). Plus spécifiquement, la centralité d'intermédiarité d'un nœud i , $g(i)$, est calculée à l'aide de l'équation (2).

$$g(i) = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (2)$$

Où σ_{st} est le nombre total de plus courts chemins d'un nœud s à un nœud t , et $\sigma_{st}(i)$ est le nombre d'entre eux qui passent par le nœud i . Dans ce mémoire, on utilise une valeur normalisée de la centralité d'intermédiarité. Il existe plusieurs façons de normaliser cette valeur mais la définition employée ici est la valeur donnée par l'équation (2) divisée par la valeur de centralité d'intermédiarité du nœud le plus central dans le réseau. Ainsi, ce dernier a une valeur de un et devient le nœud de référence lorsqu'on les compare entre eux. Par exemple, le nœud X de la Figure 3-4 possède la plus grande valeur de centralité d'intermédiarité puisque tous les nœuds à sa gauche doivent passer par lui afin d'atteindre les nœuds de droite et vice-versa. Si on l'efface du réseau, cela créerait deux îlots de deux nœuds, déconnectés l'un de l'autre. On perçoit ainsi le rôle unificateur des nœuds centraux en intermédiarité.

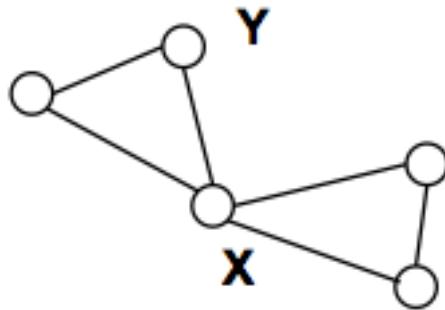


Figure 3-4: Illustration de la centralité d'intermédiarité (Source: Mascolo, Cambridge, 2016)

Centralité de vecteurs propres

La centralité de vecteurs propres (*Eigenvector centrality*, en anglais) est moins facile d'interprétation mais elle donne de l'information très pertinente sur l'influence des nœuds. Elle se rapproche quelque peu de la centralité de degré mais rajoute un aspect d'importance relative. En soi, pour un nœud, cette mesure de centralité dépend de la centralité des autres nœuds connectés à celui-ci. Le principe étant qu'un nœud central doit être connecté à des nœuds importants (qui ont beaucoup de liens).

En gros, en décomposant les sociomatrices en vecteurs propres, on peut représenter la centralité sous la forme d'un vecteur propre. Ce vecteur possède une valeur propre qui dépend de toutes les valeurs de centralité. C'est cette interdépendance entre les valeurs de centralité de chaque nœud qui est souligné dans cette mesure.

De manière plus pratique, les logiciels de réseaux sociaux calculent cette centralité pour chaque nœud et attribuent la valeur de 1 pour le nœud le plus central. On peut voir à la Figure 3-5, la différence de centralité de vecteurs propres pour deux nœuds spécifiques. Le nœud A possède une plus grande centralité de vecteurs propres, malgré sa plus petite valeur de centralité de degré, parce qu'il est relié à trois nœuds qui ont une grande centralité relative. En effet, B, C et D sont plus influents que les quatre voisins de B. La centralité de vecteurs propres se base sur le principe que les connexions à des nœuds centraux contribue plus à sa propre mesure qu'un nombre égal de connexions à des nœuds moins importants (Nooy et al., 2011). On peut donc avoir une grande valeur de centralité en ayant beaucoup de relations (quantité) mais aussi en étant lié à des joueurs très connectés (qualité).

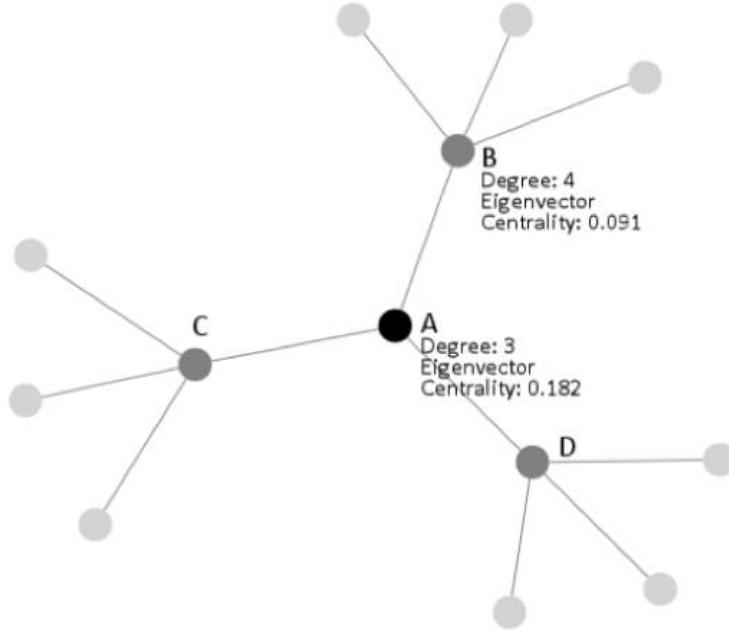


Figure 3-5: Illustration de la centralité de vecteurs propres (Source: (Mascolo, Cambridge, 2016))

3.5.1.4 Mesure des propriétés de petit-monde

Dans le cadre de cet ouvrage, on utilise l'analyse de petit-monde (*small-world analysis*) afin de caractériser la structure des réseaux étudiés. Pour ce faire, nous devons couvrir préalablement les notions nécessaires à sa compréhension. Par définition, la structure de petit-monde possède les propriétés suivantes: un grand coefficient de groupement et une faible longueur moyenne de chemin (Watts & Strogatz, 1998). Les prochaines sous-sections visent à définir ces concepts.

Coefficient de groupement

Le coefficient de groupement (*Clustering coefficient*) mesure le degré d'inter-connectivité dans l'environnement local d'un nœud (Watts et Strogatz, 1998). En d'autres mots, cela mesure à quel point le voisin d'un nœud est également le voisin des voisins de ce même noeud. Il existe deux versions de cette notion: le coefficient de groupement global et la version locale. La mesure globale donne une indication générale sur l'aspect de regroupement du réseau, tandis que le coefficient de groupement local sert à déterminer la valeur de groupement pour chaque nœud.

Pour un graphe G , décrit plus tôt, le coefficient de groupement local (cc_l) d'un nœud i est défini par l'équation (3).

$$cc_l(i) = \frac{\text{number of pairs of neighbors connected by edges}}{\text{number of pairs of neighbors}} \quad (3)$$

Le coefficient de groupement du graphe entier, $cc_l(G)$, est simplement la moyenne des $cc_l(i)$ pour tous les nœuds i dans l'ensemble V . La deuxième définition, le coefficient de groupement global (cc_g), aussi appelé transivité (*transitivity*), a été introduite par Newman, Strogatz, et Watts (2001). Il est calculé en utilisant l'équation (4).

$$cc_g(G) = \frac{\text{number of closed 2-paths}}{\text{number of 2-paths}} \quad (4)$$

Longueur moyenne de chemin

La longueur moyenne de chemin (*Average path length*) est le nombre moyen de liens sur le plus court chemin entre toutes les paires de nœuds possibles dans le réseau. Cela donne une indication de l'efficacité de la diffusion de l'information dans un graphe. Prenons $d(i_1, i_2)$ comme plus courte distance entre les nœuds i_1 et i_2 dans le graphe G et n le nombre de nœuds. Alors, la longueur moyenne de chemin (l_G) est définie par l'équation (5).

$$l_G = \frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i \neq j} d(i_1, i_2) \quad (5)$$

Variable de petit-monde

Comme mentionné plus tôt, les critères d'un petit-monde sont un haut coefficient de groupement et une faible valeur de longueur moyenne de chemin. Par contraste, les réseaux aléatoires, où les nœuds sont aléatoirement connectés les uns aux autres, ont une faible longueur moyenne de chemin mais également un faible coefficient de groupement.

Ce faisant, la manière de déterminer si un réseau possède la structure petit-monde consiste à comparer ces propriétés à celles d'un réseau aléatoire de la même taille. Mathématiquement, les équations (6) et (7) doivent être respectées.

$$\frac{l_G}{l_{rd}} \approx 1 \quad (6) \quad \text{et} \quad \frac{cc_l(G)}{cc_l(rd)} \gg 1 \quad (7)$$

Où l_{rd} et $cc_l(rd)$ sont, respectivement, la longueur moyenne de chemin et le coefficient de groupement d'un réseau aléatoire. Concrètement, un logiciel (détaillé dans la prochaine sous-

section) permet de générer ces réseaux aléatoires, à des fins de comparaison avec les réseaux de collaboration.

À partir de là, on peut combiner ces équations afin d'obtenir la variable de petit-monde, SW , défini par l'équation (8). Ici, une grande valeur de SW (beaucoup plus grand que un) confirme la présence d'une structure petit-monde.

$$SW = \frac{\frac{cc_l(G)}{cc_l(rd)}}{\frac{l_G}{l_{rd}}} \quad (8)$$

Dans ce travail, l'analyse de petit-monde est réalisée uniquement sur la composante principale des réseaux. Cette limitation provient largement du fait que la longueur moyenne de chemin peut uniquement être calculée pour une composante (réseau connecté). L'utilisation de la composante principale pour déterminer la présence d'une structure petit-monde est communément utilisée dans la communauté (e.g, Baum et al., 2003; Uzzi et Spiro, 2005). La justification conceptuelle repose sur l'hypothèse que l'activité principale du réseau a lieu dans la composante. C'est généralement là que l'on retrouve les acteurs les plus influents. De plus, il est beaucoup plus facile de comparer les valeurs de centralité pour des nœuds de la même composante.

3.5.2 Construction et visualisation des réseaux avec Gephi

Il existe une multitude de logiciels permettant de réaliser de l'analyse de réseaux sociaux ainsi que de la visualisation de graphes. Notre choix s'est posé sur le logiciel Gephi car il est facile d'usage et il est excellent en ce qui concerne la visualisation des réseaux. Les mesures dont avons besoin étant simples, dans un contexte d'analyse de réseaux sociaux, il n'était pas nécessaire de choisir le logiciel le plus puissant.

3.5.2.1 Importation des données dans le logiciel Gephi

Afin de construire les réseaux, Gephi a besoin d'un fichier csv contenant tous les liens. À partir de ce fichier, il peut créer les liens et les nœuds du réseau. On peut voir dans le Tableau 3-6, les champs du fichier csv nécessaires pour produire un réseau. On doit spécifier le nœud de départ (*source*) et le nœud d'arrivée du lien (*target*). De plus, on doit spécifier qu'on désire un lien non-dirigé (*undirected*). Finalement, le poids du lien (*weight*) permet d'ajuster l'intensité du lien.

Dans notre cas, il s'agit de l'occurrence de collaboration ou de co-publication pendant une période donnée.

Tableau 3-6: Exemple d'un fichier de liens pour le logiciel Gephi

Source	Target	Type	Weight
Chercheur A	Chercheur B	Undirected	1
Chercheur A	Chercheur C	Undirected	3

Lorsqu'on désire rajouter de l'information supplémentaire à propos des nœuds, on peut importer un autre fichier csv contenant cette information. Par exemple, si on veut connaître l'institution des chercheurs, il faudrait importer un fichier qui aurait la forme du Tableau 3-7. Ici, le seul champ obligatoire est le Id. Ensuite, on peut mettre différents attributs, tels que l'institution ou l'expertise du chercheur.

Tableau 3-7: Exemple d'un fichier de nœuds pour le logiciel Gephi

Id	Institution	Attribut #2
Chercheur A	Université Simon Fraser	Matériel
Chercheur B	Université de Sherbrooke	Logiciel

3.5.2.2 Visualisation des réseaux

La visualisation des réseaux facilite grandement leur interprétation. Afin que cette interprétation soit juste, il est important que la représentation graphique soit fidèle à la nature des données. À l'aide du logiciel Gephi, on peut générer de nombreuses dispositions. Pour tous les réseaux étudiés dans ce travail, la même méthodologie a été appliquée afin de créer une visualisation esthétique et claire.

D'abord, les nœuds ont été dispersés selon un algorithme de spatialisation. Cet algorithme se nomme *Force Atlas*. Il utilise un système de forces (attraction et répulsion) appliquées entre les nœuds et les liens (Damlencour, 2013). L'analogie physique est que les nœuds représentent des

particules de même charge, tandis que les liens sont modélisés comme des ressorts. L'algorithme déplace les éléments du réseau itérativement en suivant les lois de la physique classique jusqu'à ce qu'il atteigne un état stable, un équilibre dans le système. En pratique, la spatialisation a pour effet d'éloigner, en périphérie, les nœuds faiblement liés et de rapprocher ceux qui ont de forts liens de connexion.

En plus de calculer les mesures statistiques de réseau (degré, centralités, etc.), le logiciel Gephi permet d'utiliser ces variables comme attributs dans la visualisation. Par exemple, dans les graphes créés avec nos données, la taille des nœuds est proportionnelle à leur degré. On peut aussi voir, à la Figure 3-6, que la taille des liens dépend également de l'intensité de collaboration entre les nœuds. Le code de couleur utilisé provient, dans la plupart de nos graphes, d'un calcul de modularité. Ce calcul permet l'identification de communautés au sein même d'une composante du réseau.

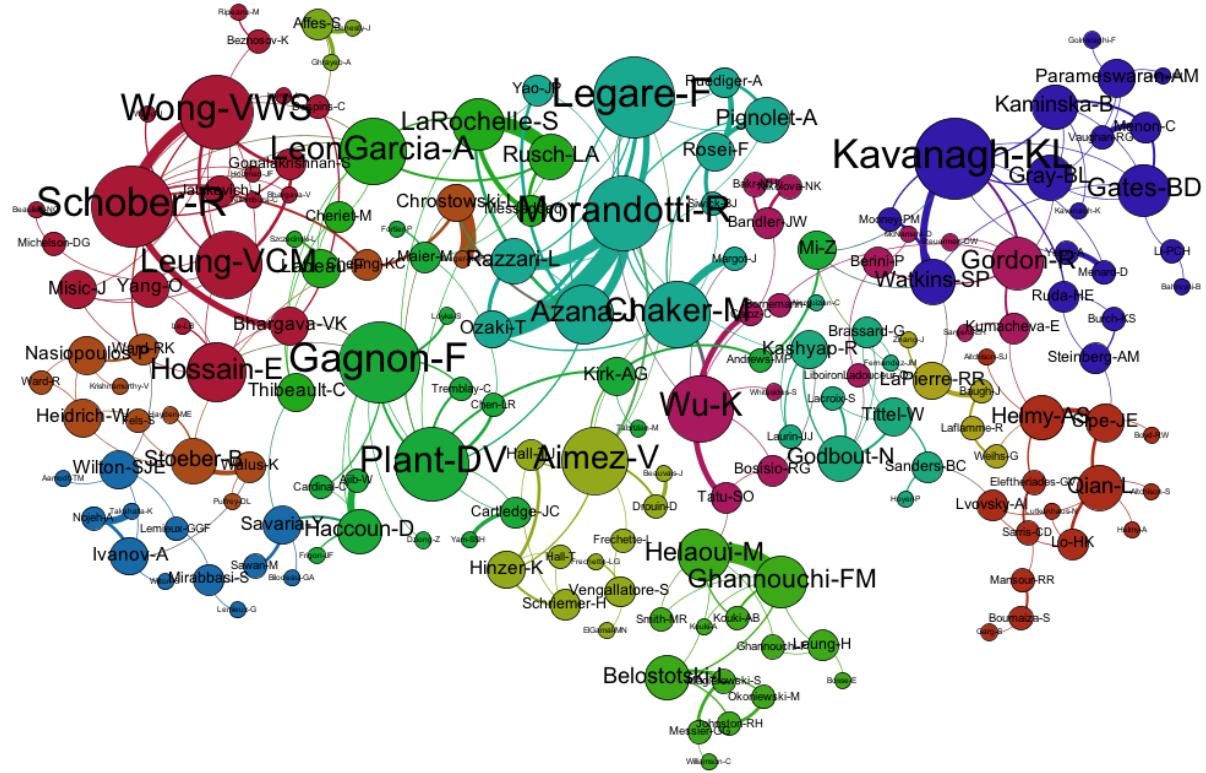


Figure 3-6: Exemple de graphe créé avec Gephi dans le cadre de ce travail

Le logiciel permet aussi de choisir l'ensemble du réseau ou uniquement certaines composantes. D'ailleurs, c'est en filtrant les composantes secondaires que l'on peut réaliser l'analyse de petit-monde sur la composante principale uniquement.

3.6 Résumé

En somme, dans ce travail, une méthodologie axée sur l'analyse de réseaux sociaux est employée afin d'étudier les liens de collaborations extraits des données en notre possession. Ces données sont divisées en deux catégories: le financement de la recherche et les données de co-publication d'articles scientifiques.

Pour les données de financement de la recherche, la principale source d'information est la base de données du CRSNG qui nous a permis d'identifier 9538 projets du secteur matériel des TIC, impliquant 725 chercheurs. La seconde source de liens de collaboration, dans le financement de la recherche, provient de l'organisme MITACS. Cette dernière permet d'identifier 423 projets supplémentaires respectant nos critères de sélection pour le secteur matériel des TIC.

Ensuite, la source de données bibliométriques (co-publication) est la base de données *Web of Science*. L'extraction et le nettoyage des articles, contenant des liens de co-publication entre les 725 chercheurs préalablement choisis dans les données CRSNG, ont permis de collecter un ensemble de 12 167 articles.

On a vu que l'analyse de réseaux sociaux utilisée consiste en l'identification des acteurs les plus centraux des différents réseaux de collaboration, ainsi que l'étude de la structure de ces derniers. Les différentes définitions de centralité (d'intermédiarité, de degré et de vecteurs propres) sont utilisées. Plus précisément, c'est la structure petit-monde, vue dans la revue de littérature, qui nous intéresse. Donc, le coefficient de groupement et la longueur moyenne de chemin sont les principales propriétés de réseaux étudiées. Pour ce faire, le logiciel Gephi nous permet de calculer ces mesures de réseaux, en plus de permettre une visualisation des réseaux de collaboration. Les réseaux sont construits sur une base de cinq ans, permettant la capture d'un grand nombre de collaborations.

CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET ANALYSE

Dans ce chapitre, on présente d'abord les résultats qui donnent une idée de l'évolution générale de la collaboration. Ensuite, les analyses structurelles des liens de collaboration, au niveau du financement CRSNG et MITACS, sont discutées dans des sous-sections distinctes. La combinaison de ces deux types de financement est également analysée. Puis, une analyse similaire portant sur les liens de collaboration est abordée dans une sous-section de ce chapitre. Dans la visualisation de la collaboration entre institutions et disciplines la taille des cercles représentant les nœuds est lié à la centralité, l'épaisseur des traits liant ces nœuds est lié à la force de la collaboration.

4.1 Évolution globale de la collaboration

Afin de comprendre et d'analyser la dynamique de collaboration ayant lieu au cœur du secteur matériel des TIC, il est d'abord impératif d'avoir une vue plus large des tendances de collaboration à l'échelle nationale.

4.1.1 Financement CRSNG

Le financement CRNSG des projets TIC évolue vers une formule qui présente davantage de collaboration au sein des chercheurs, comme peuvent le témoigner les données du Tableau 4-1. Ce dernier compare deux réseaux de collaboration entre chercheurs universitaires qui oeuvrent dans les TIC. Les liens avec l'industrie ne sont pas encore considérés.

Tableau 4-1: Évolution de la collaboration dans les projets TIC

Réseau	2000-2004	2010-2014	Variation
Nb de collaborations	2812	5360	+ 91%
Nb de projets	4611	6104	+ 32%
Moyenne de liens par projet	0,61	0,88	+ 44%

On définit une collaboration comme un lien entre deux chercheurs universitaires impliqués dans un projet de recherche. Un projet peut donc avoir plus d'une collaboration si plusieurs chercheurs y participent mais peut également ne pas en avoir dans le cas d'un projet avec un unique chercheur universitaire. On remarque que le nombre de liens de collaboration entre chercheurs

universitaires a pratiquement doublé en dix ans tandis que le nombre de projets TIC financés par le CRNSG a augmenté de 32 %. Le nombre de projets englobe tous les types de projets TIC, i.e. avec ou sans partenaires. Ainsi, on observe que la part de collaboration intra-chercheurs a augmenté de 44 % afin de se chiffrer à 0,88 collaboration entre chercheurs universitaires par projet TIC pour la fenêtre 2010-2014. Cela laisse imaginer qu'il s'agit de l'effet du désir gouvernemental de favoriser davantage les collaborations au sein des chercheurs.

Le financement CRSNG des projets proprement liés au secteur matériel des TIC a lui aussi beaucoup changé de 2003 à 2013. Comme on peut le voir dans le Tableau 4-2, en 10 ans, le nombre de projets a augmenté de 34 %. Cette évolution n'est pas surprenante compte tenu de l'augmentation générale du financement CRNSG à travers toutes les disciplines et des tendances croissantes de recherche collaborative. Effectivement, hormis les années suivant la crise financière de 2008 et l'année fiscale 2013-2014 sous le gouvernement Harper, le budget CRSNG croît d'année en année d'environ 4 %. Tandis que le nombre de projets finançant des chercheurs, sans la participation de l'industrie, augmente légèrement (8 %), le nombre de collaborations avec des partenaires industriels croît significativement (291 %). En effet, ce chiffre a pratiquement quadruplé en 10 ans pour atteindre le nombre de 176 projets en 2013, ce qui représente 27 % des projets TIC du secteur matériel de cette même année. On explique cette tendance par la tendance gouvernementale qu'à donner le parti conservateur à la politique de recherche appliquée, surtout pendant les cinq dernières années (voir p.43 de la section Méthodologie).

Parmi les projets avec l'industrie, le format de collaboration semble évoluer vers une formule où un chercheur unique s'unit avec un ou plusieurs partenaires industriels pour la réalisation d'un projet de recherche. Cette hypothèse se base sur la diminution relative des projets de recherche appliqués à l'industrie impliquant la collaboration de plusieurs chercheurs (de 56 % en 2003 à 30 % en 2013). On remarque aussi que parmi les projets impliquant uniquement des chercheurs universitaires, le modèle demeure un financement dédié à des projets à chercheur unique (96 % en 2003 et 97 % en 2013). C'est-à-dire qu'on observe très peu de collaboration entre chercheurs universitaires lorsque l'industrie ne participe pas. C'est lié aux règles du CRSNG qui favorisent les collaborations avec l'industrie. Il serait intéressant de voir si les données du Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT), l'équivalent du CRSNG à l'échelle provinciale pour le Québec, suivent cette tendance.

Tableau 4-2: Nombre de projets CRSNG reliés au secteur matériel des TIC

Année	2003		2013		Variation
Nombre de projets	489		655		+ 34%
Projets avec l'industrie	45	9%	176	27%	+ 291%
Avec co-chercheurs	25	56%	52	30%	+ 108%
Avec un chercheur uniquement	20	44%	124	70%	+ 520%
Projets sans l'industrie	444	91%	479	73%	+ 8%
Avec co-chercheurs	16	4%	13	3%	- 19%
Avec un chercheur uniquement	428	96%	466	97%	+ 9%

Dans le Tableau 4-3, on peut observer l'argent investi dans les projets (les sommes sont en dollars courants, le même tableau en dollars constants est à l'Annexe L). De manière générale, le budget dédié aux projets du secteur étudié a augmenté de 42 % au cours de la décennie, ce qui est supérieur à l'augmentation du nombre de projets observée dans le Tableau 4-2. Cependant, en dollars constants (avec 2013 comme année de référence), l'augmentation budgétaire diminue à 19%. Donc, en réalité le pouvoir de financement a diminué pour un plus grand nombre de projets.

Dans la même veine, le budget des projets universitaires uniquement a progressé plus rapidement que le nombre de projets (18 % vs 8 % respectivement). Cependant, cette tendance n'est pas respectée dans le cadre des projets avec l'industrie, qui affichent une augmentation plus faible au niveau du budget (98 % d'augmentation de budget vs 291 % plus de projets). Cela laisse croire que le financement moyen par projet industriel aurait diminué au fil du temps.

Tableau 4-3: Budget alloué aux projets CRSNG reliés au secteur matériel des TIC

Année	2003		2013		Variation
Budget	18 966 073 \$		27 012 565 \$		+ 42%
Projets avec l'industrie	5 772 064 \$	30%	11 456 939 \$	42%	+ 98%
Avec co-chercheurs	3 954 481 \$	69%	4 786 016 \$	42%	+ 21%
Avec un chercheur uniquement	1 817 583 \$	31%	6 670 923 \$	58%	+ 267%
Projets sans l'industrie	13 194 009 \$	70%	15 555 626 \$	58%	+ 18%
Avec co-chercheurs	1 127 102 \$	9%	1 393 638 \$	9%	+ 24%
Avec un chercheur uniquement	12 066 907 \$	91%	14 161 988 \$	91%	+ 17%

Le Tableau 4-4 présente la valeur moyenne du financement pour ces projets, toujours en dollars courants (voir l'Annexe L pour les sommes en dollars constants). Ces valeurs sont obtenues en

divisant les budgets inscrits dans le Tableau 4-3 par le nombre de projets, trouvé dans le Tableau 4-2. On remarque, qu'en effet, la valeur moyenne d'une subvention d'un projet collaboratif avec l'industrie a chuté de 49 % de 2003 à 2013. En 2003, le nombre de projets avec participation industrielle se chiffrait à uniquement 45 mais, en moyenne, le CRSNG y investissait 128 268 \$ par projet. Il s'agissait probablement de projets de plus grande envergure. En résumé, le CRSNG finance de plus en plus de projets industriels mais diminue les sommes allouées. Puisque le CRSNG accordent les subventions en fonction du financement des entreprises, il égalise la mise en quelque sorte, cela signifie que les entreprises injectent des sommes moins importantes que par le passé dans les projets.

Tableau 4-4: Subvention CRNSG moyenne par type de projet dans le secteur matériel des TIC

Année	2003	2013	Variation
Subvention moyenne par projet	38 785 \$	41 241 \$	+ 6,3%
Projets avec l'industrie	128 268 \$	65 096 \$	- 49%
Avec co-chercheurs	158 179 \$	92 039 \$	- 42%
Avec un chercheur uniquement	90 879 \$	53 798 \$	- 41%
Projets sans l'industrie	29 716 \$	32 475 \$	+ 9%
Avec co-chercheurs	70 444 \$	107 203 \$	+ 52%
Avec un chercheur uniquement	28 194 \$	30 391 \$	+ 8%

Dans le cas des projets sans l'industrie, on note une augmentation de 52 % des budgets pour la recherche en collaboration avec plusieurs chercheurs. Malgré le faible pourcentage de ce type de projets, le montant moyen de financement se chiffre à 107 203 \$ en 2013. Cette somme est plus de trois fois plus grande que le financement moyen obtenu par un unique appliquant (30 391 \$). Les chercheurs s'unissent pour aller chercher de plus financement.

4.1.2 Financement MITACS

Puisque les données MITACS en main ne comprennent que les cinq dernières années, l'analyse de l'évolution des projets collaboratifs présentée ci-dessous compare l'année fiscale 2011-2012 à celle de 2014-2015. Comme l'année 2015-2016 n'est pas terminée au moment de l'écriture de ce document, on ne l'utilise pas comme année de comparaison. Ainsi, on compare deux années complètes de financement MITACS. Le Tableau 4-5 montre l'évolution du nombre de projets MITACS sur la période de 4 ans 2011-2012 à 2014-2015. Le financement MITACS a connu une

grande popularité lors des dernières années comme le témoigne l'augmentation de plus de 100% sur la période étudiée. D'autre part, les projets en TIC ont eu une croissance de 80% pour atteindre un nombre de 300 projets en 2014-2015. Cela représente approximativement le cinquième (21 %) de tous les projets financés par MITACS lors de cette même année. Cette part a diminué de 24 % à 21 % entre 2011 et 2014 mais demeure dans le même ordre de grandeur.

Tableau 4-5: Nombre de projets MITACS

Année	2011		2014		Variation
Nombre de projets (total)	701		1438		105%
Projets TIC	167	24%	300	21%	80%
Secteur matériel	46	28%	80	27%	74%

Le secteur matériel des TIC, plus spécifiquement, a lui aussi connu une croissance inférieure à celle des projets de tous genre (74 % par rapport à 105 %). Cependant, on remarque que ceux-ci représentent toujours une proportion d'environ 28 % des projets TIC. En effet, cette part passe de 28 % des projets TIC en 2011-2012 à 27 % en 2014-2015.

Un biais de sélection des projets du secteur matériel pourrait être présent dans cette méthodologie. Comme on peut le voir dans le Tableau 4-6, les projets identifiés comme faisant partie du secteur matériel, à partir des chercheurs de la liste CRSNG, ne sont pas tous classés comme étant dans la catégorie TIC par MITACS. Uniquement 59 % de ces projets sont répertoriés dans la catégorie TIC pour l'année 2011-2012 et 64 % pour l'année 2014-2015. Les proportions sont semblables à ces dernières pour les autres années (i.e. 2012-2013 et 2013-2014). Plusieurs des projets sont classés dans la catégorie Technologie, par exemple, ce qui est assez commun avec le secteur matériel puisque les projets requièrent souvent de la haute technologie.

Tableau 4-6: Biais de sélection des projets MITACS du secteur matériel

Année	2011	2014
Part des projets du secteur matériel classés TIC	59%	64%

Une autre méthode devrait être envisagée afin d'identifier les projets du secteur matériel des TIC. Par exemple, une analyse exhaustive du titre des projets de recherche pourrait être employée. Il

pourrait également être suggéré à MITACS de raffiner leur classification afin de permettre une meilleure analyse de leurs données.

4.2 Structure du réseau de collaboration CRSNG

4.2.1 Réseaux de chercheurs

La collaboration entre les chercheurs universitaires uniquement a d'abord été étudiée afin de déterminer si la structure du réseau créé permettait une bonne diffusion de connaissances. La période 2003-2014 est utilisée afin de voir l'évolution de ce réseau. L'analyse de réseaux sociaux est employée sur la composante principale du réseau. On peut voir, à la Figure 4-1, l'évolution de la composition de la composante principale du réseau de collaboration entre chercheurs.

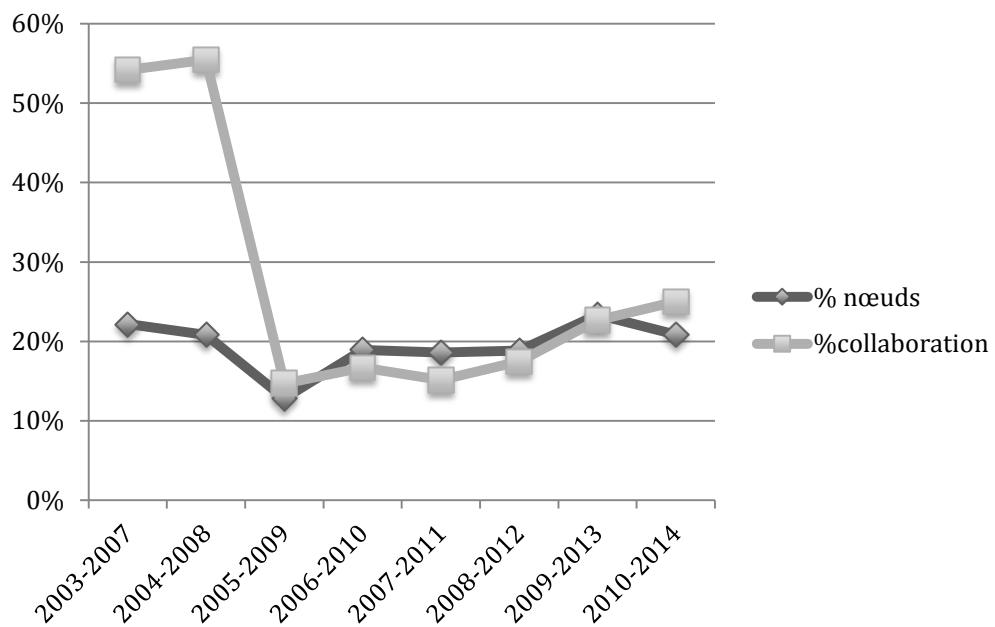


Figure 4-1: Évolution de la composition de la composante principale pour le réseau de chercheurs universitaires

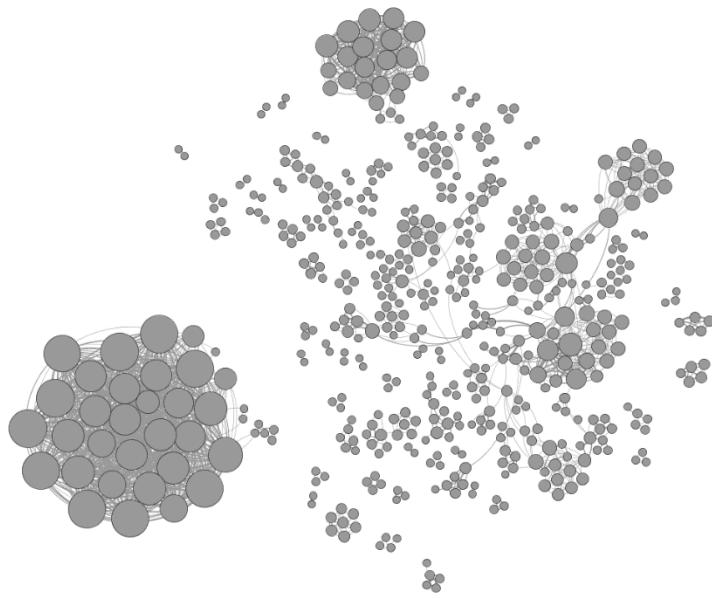


Figure 4-2: Réseau 2008-2012 de collaboration entre chercheurs universitaires

On s'aperçoit que le réseau de collaboration des chercheurs est très déconnecté puisqu'uniquement 20 % des chercheurs font partie de la composante principale. Il suffit de voir le réseau 2008-2012 à la Figure 4-2, à titre d'exemple, afin de s'en convaincre. En fait, le réseau ayant le moins de composantes distinctes et déconnectées en possède 74. Ce nombre élevé de composantes pourrait être dû aux projets impliquant de petites équipes spécialisées.

À la Figure 4-1, on note également qu'un changement drastique se produit à partir du réseau 2005-2009. Dans les deux premiers réseaux, la composante principale comporte plus de 50 % de la collaboration ayant lieu dans le réseau. Cependant, cette part chute à seulement 15 % dans le réseau 2005-2009, ce qui n'est pas très représentatif de la dynamique globale de collaboration.

Afin de mieux comprendre ce qui se produit dans le réseau, on peut voir, à la Figure 4-3, l'évolution de la composition de la seconde composante du réseau. Dans le réseau 2005-2009, une partie de la composante principale du réseau 2004-2008, celle qui contient la plus grande part de collaboration, se scinde et devient la seconde composante du réseau 2005-2009. Il y a rupture de liens de collaboration à l'intérieur de la composante principale. On le discerne bien à la Figure

4-4. La composante qui se détache, composée d'une trentaine de chercheurs, consiste en un sous-réseau de chercheurs spécialisés en informatique quantique. Ils semblent travailler en isolement

Puis, dans le dernier réseau, la troisième composante reprend le deuxième rang, d'où la chute de la part de collaboration. Ce faisant, la part de collaboration de la seconde composante grimpe à plus de 40% pour les réseaux 2005-2009 à 2009-2013. C'est pourquoi l'analyse de réseaux sociaux est effectuée sur les deux composantes majeures. Par ailleurs, la deuxième composante des réseaux 2003-2007 et 2004-2008 devient ainsi la troisième composante pour le reste des périodes, sauf pour le réseau 2010-2014, mais elle n'est pas traitée dans l'analyse.

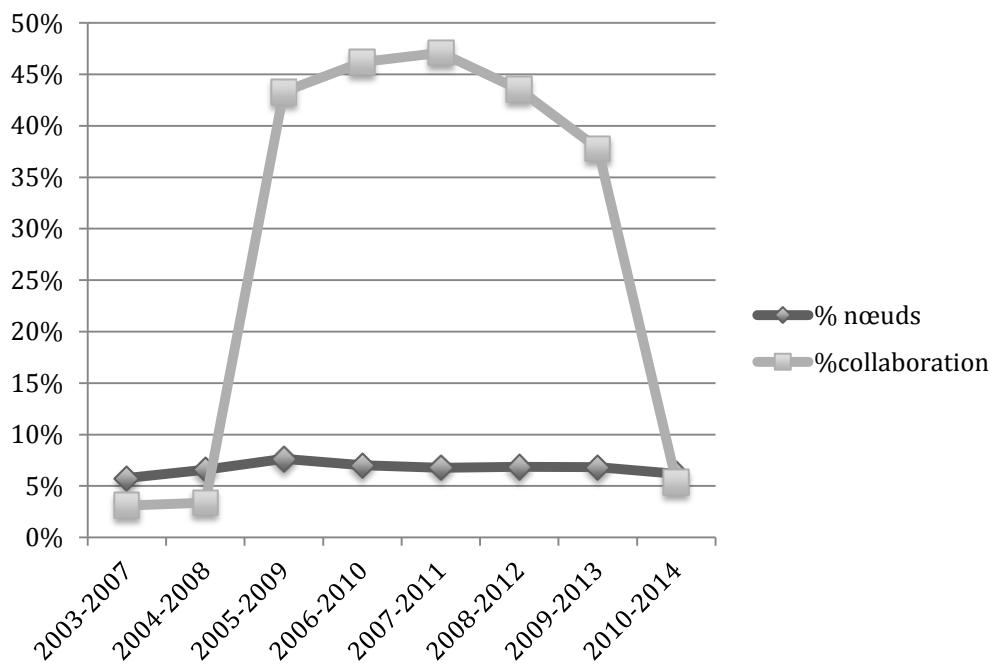


Figure 4-3: Évolution de la composition de la seconde composante pour le réseau de chercheurs universitaires

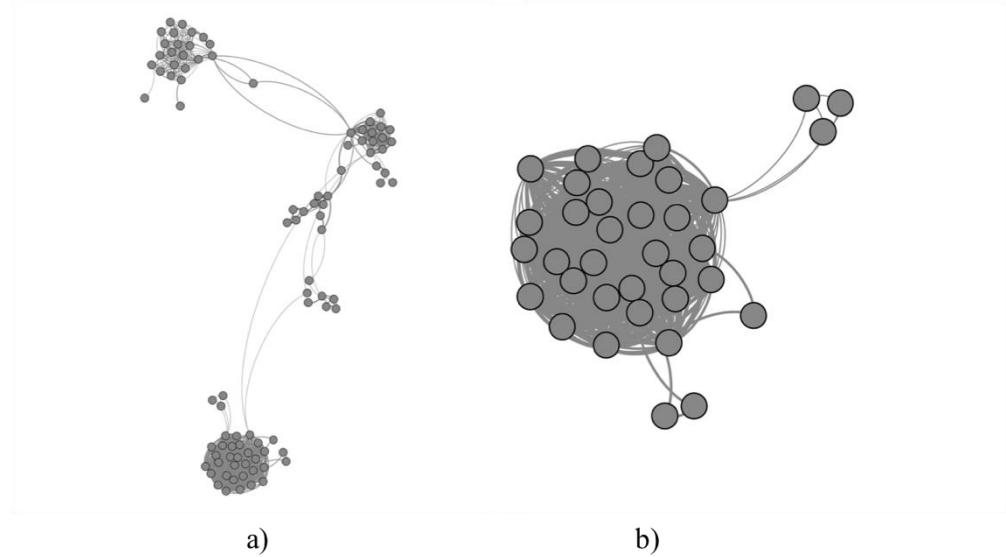


Figure 4-4: a) la composante principale du réseau 2004-2008 et b) la seconde composante du réseau 2005-2009

L'évolution de la taille des composantes est présentée à la Figure 4-5. On peut voir qu'à la suite de la scission de la composante principale dans le réseau 2005-2009, les composantes atteignent une stabilité. La composante principale stagne entre 100 et 120 chercheurs, tandis que la seconde en comporte approximativement 36.

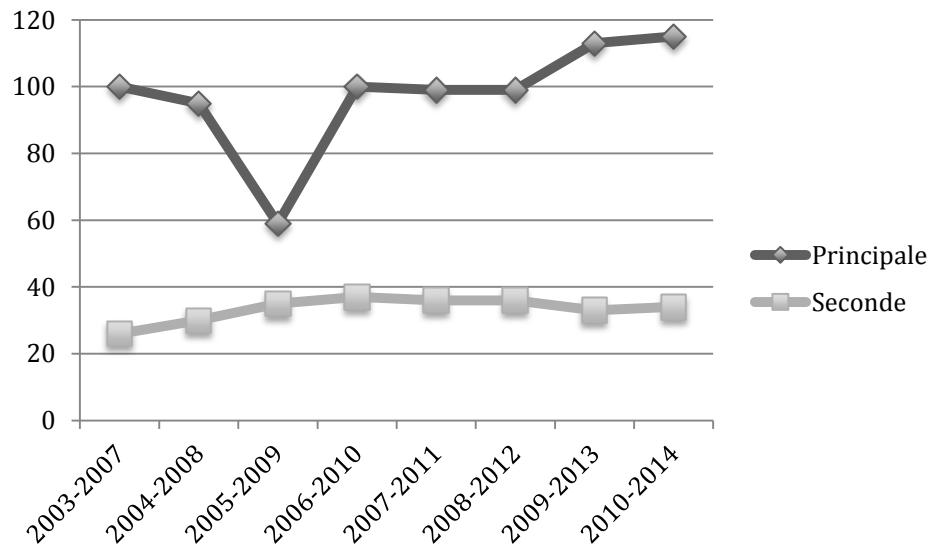


Figure 4-5: Évolution de la taille (nombre de noeuds) des deux majeures composantes du réseau de collaboration entre chercheurs universitaires

Par définition, un réseau présente une structure de petit-monde s'il possède un coefficient de groupement plus grand que celui d'un réseau aléatoire de même taille et une longueur de chemin moyen du même ordre de grandeur, comme vu dans le chapitre sur la Méthodologie. Or, on peut voir, à la Figure 4-6 et à la Figure 4-7, ces variables pour la composante principale du réseau.

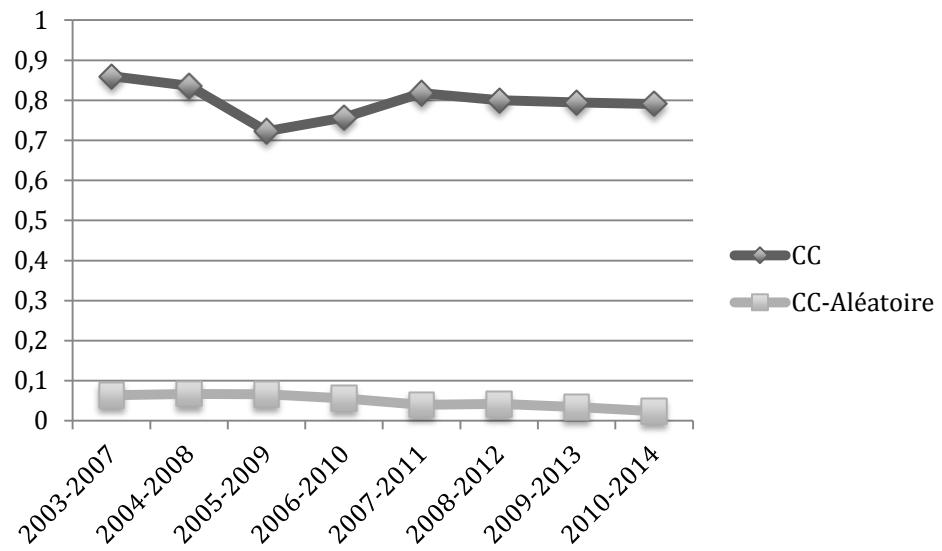


Figure 4-6: Coefficients de groupement (CC) de la composante principale du réseau de collaboration et d'un réseau aléatoire

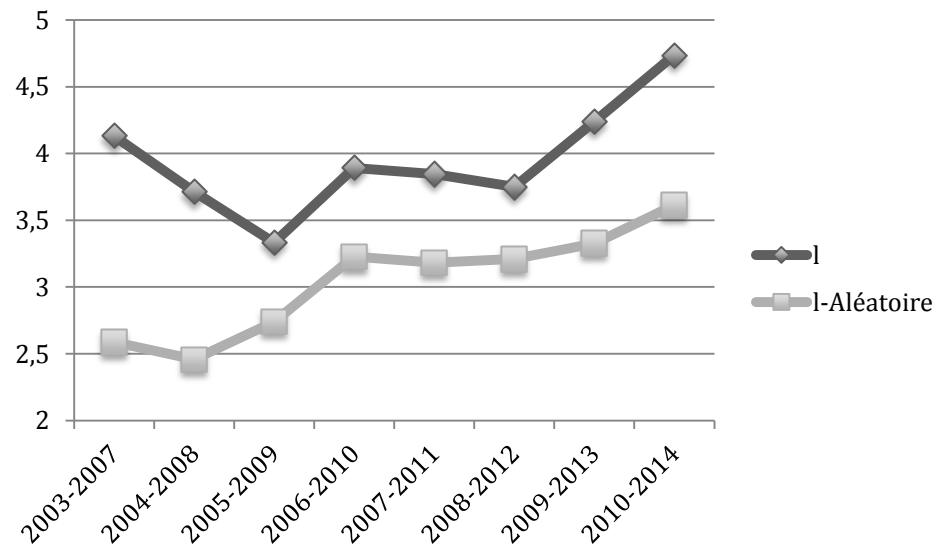


Figure 4-7: Longueurs de chemin moyen de la composante principale du réseau de collaboration et d'un réseau aléatoire

On observe que le coefficient de groupement de la composante principale est élevé, toujours au dessus de 0,7, et nettement supérieur à celui du réseau aléatoire. Cela représente la première caractéristique de petit-monde. On voit aussi, à la Figure 4-7, que la longueur de chemin moyen de cette même composante est légèrement supérieure à celle du réseau aléatoire mais du même ordre de grandeur. On note aussi que la différence entre les deux valeurs se réduit au fil du temps. Ce faisant, la composante principale du réseau satisfait les critères de Watts et Strogatz afin d'être considéré comme un petit-monde.

La variable de petit-monde (SW) a été calculée pour toutes les périodes et les résultats se trouvent dans le Tableau 4-7. Selon (Baum et al., 2003), la variable SW augmente avec la taille du réseau mais ici, nous observons une constante augmentation de SW et ce malgré la diminution du nombre de nœuds dans le réseau en 2005-2009. Les variables de longueur de chemin moyen et de coefficient de groupement montrent une tendance marquée vers une structure de petit-monde, résultant en une valeur de SW de 25,138 en 2010-2014. D'un point de vue conceptuel, puisque c'est la même centaine de chercheurs qui collaborent au fil du temps, il est cohérent de penser que les liens se sont renforcés et que le transfert de connaissances se soit optimisé.

Tableau 4-7: Propriétés de petit-monde de la composante principale

Période	Taille du réseau	$l/l(rd)$	$CC/CC(rd)$	SW
2003-2007	100	1.597	13.438	8.413
2004-2008	95	1.511	12.478	8.260
2005-2009	59	1.217	10.955	9.000
2006-2010	100	1.206	13.518	11.208
2007-2011	99	1.208	20.450	16.925
2008-2012	99	1.168	19.048	16.309
2009-2013	113	1.274	23.382	18.356
2010-2014	115	1.311	32,958	25.138

Le Tableau 4-8 présente les résultats de la même analyse, effectuée sur la deuxième composante majeure du réseau. La composante affiche des propriétés de petit-monde uniquement pour les deux premières périodes d'analyse. Or, cette composante n'est pas la même à partir de 2005-2009, comme expliqué plus tôt. À partir de 2005-2009, la seconde composante présente une faible valeur de *SW*. Elle affiche une longueur de chemin moyen plus courte que le réseau aléatoire et un coefficient de groupement du même ordre de grandeur. Ce faisant, cette composante, qui comporte une trentaine de chercheurs mais plus du tiers de la collaboration universitaire, ne présente pas la structure de petit-monde.

Tableau 4-8: Propriétés de petit-monde de la seconde composante

Période	Taille du réseau	<i>l/l(rd)</i>	<i>CC/CC(rd)</i>	<i>SW</i>
2003-2007	26	0.774	14.850	19.193
2004-2008	30	1.039	24.458	23.546
2005-2009	35	0.894	1.932	2.160
2006-2010	37	0.918	2.014	2.194
2007-2011	36	0.894	1.696	1.896
2008-2012	36	0.894	1.738	1.943
2009-2013	33	0.835	1.543	1.848
2010-2014	34	1.068	6,022	5,634

On peut donc confirmer les sous-hypothèses concernant la présence et le maintien d'une structure de petit-monde dans le réseau de recherche collaborative établi par le financement CRSNG, du moins pour une partie passablement connectée du réseau.

4.2.2 Réseaux de chercheurs et de firmes

Afin de mesurer l'impact des collaborations avec des partenaires industriels ou des organisations gouvernementales sur le réseau CRSNG, les relations entre les organisations ainsi que celles entre les organisations et les chercheurs ont été rajoutées. Une fois encore, on considère uniquement la composante majeure du réseau afin de déterminer si la structure de petit-monde est présente. L'effet direct de l'ajout des liens de partenariat industriel est l'augmentation de la taille de la composante principale, comme visible à la Figure 4-8 et dans le Tableau 4-9. Effectivement, la composante principale est désormais de cinq à six fois plus grande, dépendamment de la période. Ces nouveaux liens créent le pont entre des sous-groupes de chercheurs qui étaient préalablement déconnectés. Ainsi, la composante principale est désormais davantage représentative du réseau de collaboration complet.

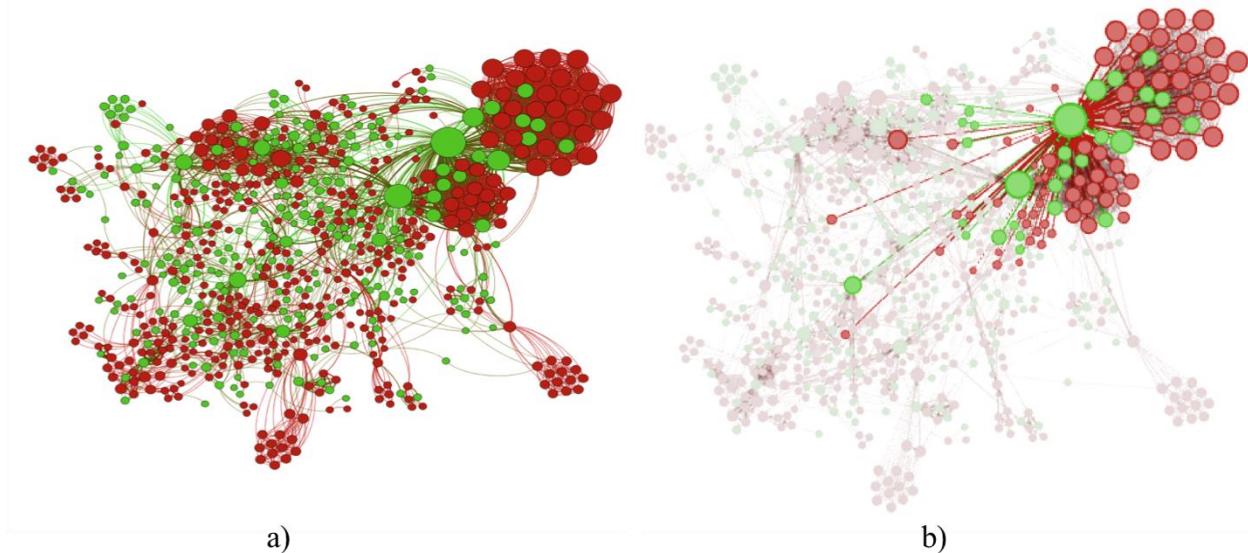


Figure 4-8: a) La composante principale du réseau 2009-2013 de collaboration chercheurs-organisations (où les organisations sont en vert et les chercheurs en rouge) et b) les liens surlignés d'une firme qui lie des sous-groupes de chercheurs

Tableau 4-9: Impact des liens avec les organisations sur la taille de la composante principale

Période	Chercheurs uniquement	Chercheurs et organisations
2003-2007	100	531
2004-2008	95	552
2005-2009	59	539
2006-2010	100	616
2007-2011	99	640
2008-2012	99	636
2009-2013	113	661
2010-2014	115	702

L'analyse de petit-monde a de nouveau été réalisée sur ce nouvel ensemble de liens et les résultats se trouvent dans le Tableau 4-10. On note les grandes valeurs de *SW*, démontrant ainsi la présence d'une structure de petit-monde. La Figure 4-9 permet de voir l'augmentation de la variable *SW* permise par l'ajout des organisations dans le réseau. En lien avec la théorie, cela signifie que les organisations ont un rôle clé en termes de transmission et d'intégration de savoir.

Tableau 4-10: Propriétés de petit-monde pour la composante principale du réseau de collaboration chercheurs-organisations

Période	Taille du réseau	CC/CC(rd)	I/I(rd)	SW
2003-2007	531	87,4	1,05	83,4
2004-2008	552	77,5	1,07	72,1
2005-2009	539	65,2	1,08	60,5
2006-2010	616	77,3	1,04	74,2
2007-2011	640	94,3	1,16	81,7
2008-2012	636	116,4	1,14	102,2
2009-2013	661	133,3	1,12	119,1
2010-2014	702	158	1.147	137,7

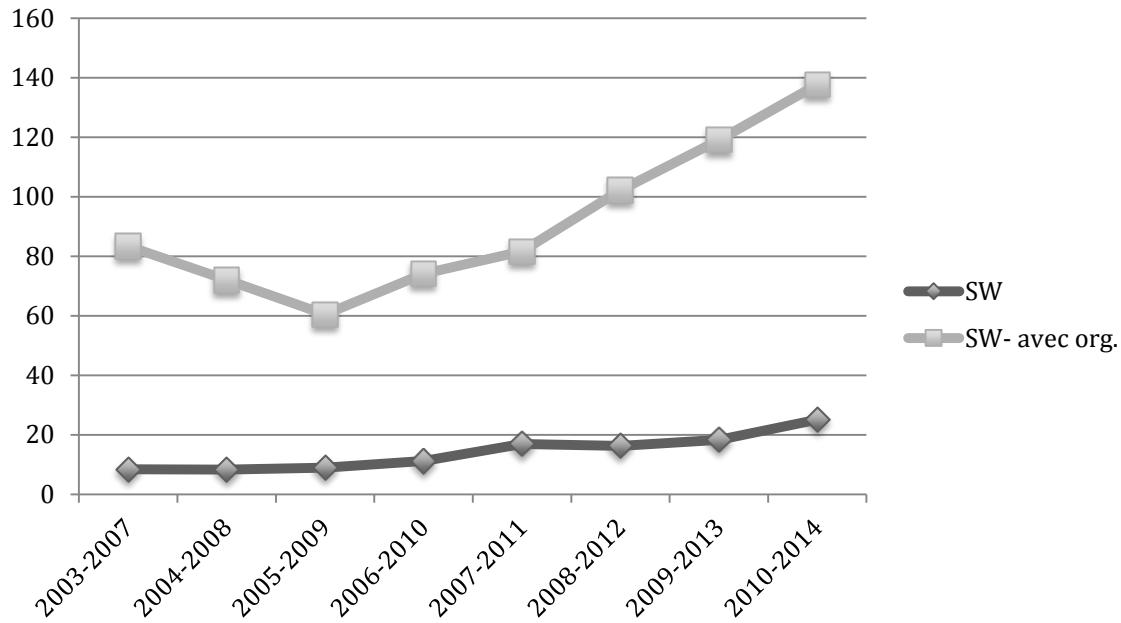


Figure 4-9: Évolution de variable SW pour les deux types de réseaux (avec et sans organisations)

Pour déterminer, spécifiquement, quelles organisations jouent un rôle clé dans le réseau de collaboration, les mesures de centralité ont été calculées pour ces dernières. Ici, une distinction entre les partenaires purement industriels et les organismes paragouvernementaux a été faite. Uniquement les organisations se démarquant des autres, du point de vue de la centralité, ont été choisies dans les figures suivantes. Pour commencer, on peut observer la mesure de centralité d'intermédiarité normalisée des firmes, à la Figure 4-10. On distingue très bien deux phénomènes. D'abord, Bell Canada cède sa place d'acteur le plus central du réseau, en terme d'intermédiarité, à Research in Motion Limited à partir de la fenêtre 2008-2012. Dès ce moment, la centralité de Bell Canada chute jusqu'à la dernière période étudiée. Ensuite, aussitôt qu'à la période 2003-2007, on voit clairement que Nortel dégringole de sa position du plus central en intermédiarité. Cela correspond bien au moment de ses difficultés financières bien connues du marché canadien. De manière moins prononcée, Telus gagne du terrain dans les récentes périodes. On note que les firmes les plus importantes du réseau sont des acteurs de l'industrie des télécommunications. Les firmes de télécommunications sont des utilisateurs de technologies et parfois même des producteurs, comme dans les cas des équipements de télécommunications (Rao, 1999). Leur position à la confluence de technologies logicielles et matérielles, ainsi que

leur rôle de fournir des services, font d'eux d'importants intégrateurs de connaissances (Berger & Luckmann, 1991; Malerba & Orsenigo, 1996).

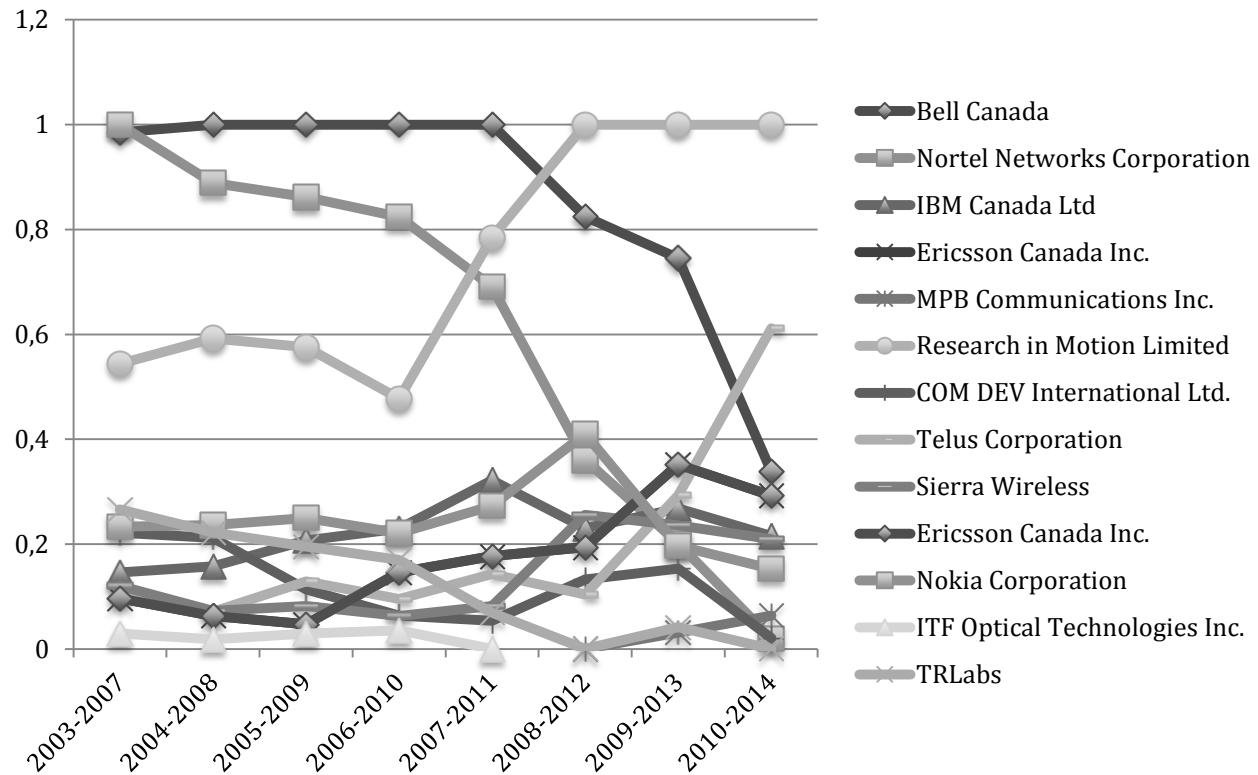


Figure 4-10: Centralité d'intermédiairité normalisée des firmes dans le réseau de collaboration

Le portrait est encore plus net si l'on regarde la centralité des vecteurs propres, à la Figure 4-11. On rappelle que cette mesure se base sur l'importance relative de chaque connections des acteurs. On voit qu'à partir de 2006-2010, Research in Motion devance de loin les autres firmes et est l'acteur le plus central, selon cette mesure. Ici encore, l'importance de Nortel décline au fil du temps. Afin de ne pas alourdir le texte, la centralité de degré n'est pas affichée dans le corps de l'ouvrage car elle dégage principalement la même histoire. Cette dernière est toutefois placée en Annexe G et les tableaux de données de tous les graphiques de centralité présentées dans cette sous-section sont en Annexe H et I.

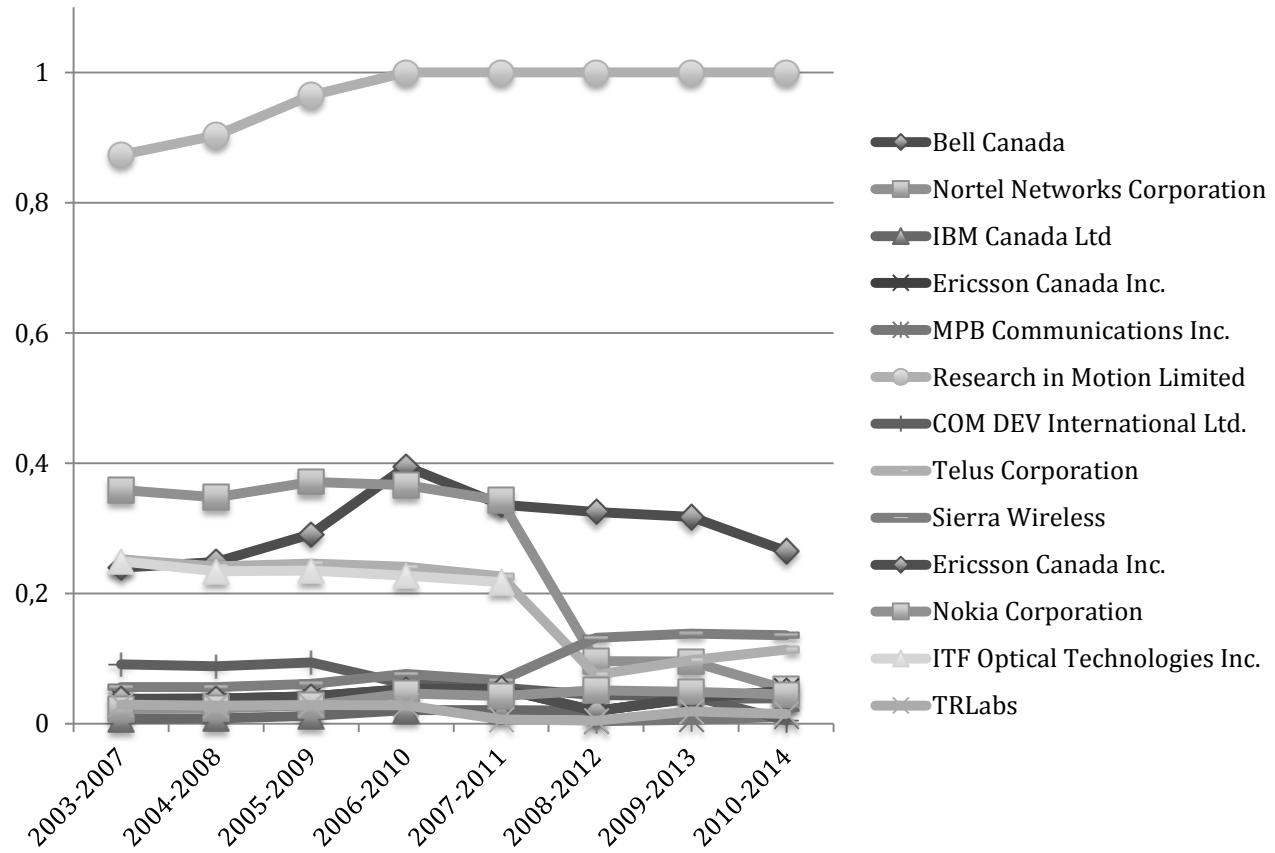


Figure 4-11: Centralité de vecteurs propres des firmes dans le réseau de collaboration

Du côté des organisations gouvernementales ou paragouvernementales, la mesure de centralité d'intermédiarité normalisée se trouve à la Figure 4-12. Seulement quelques-unes d'entre elles montrent une valeur plus grande que 0,3 au cours de la période 2003-2014. Le Conseil national de recherches du Canada (*National Research Council of Canada ou NRC*), qui était l'organisme public le plus central en intermédiarité en 2003-2007, montre une valeur décroissante tout au long de la progression temporelle. À l'inverse, Industrie Canada, maintenant appelée Innovation, Sciences et Développement économique Canada, affiche une tendance croissante et se positionne comme l'acteur public le plus central dans les récentes années. Ce renversement de positionnement entre ces deux joueurs pousse à penser que la volonté gouvernementale a évolué vers une formule de partenariat industriel plutôt que de la recherche fondamentale. On note également la Défense nationale (*National Defence*) montre une courbe de centralité de la forme d'une cloche, avec un maximum local au réseau 2007-2011. Il est difficile d'interpréter ce résultat puisqu'un second acteur du département de la défense, soit Recherche et développement

pour la défense Canada (*Defence Research and Development Canada*) apparaît également sur le graphique. Ce dernier montre une croissance constante depuis 2003-2007. Il faudrait connaître la nature des projets de chacun afin de bien les distinguer.

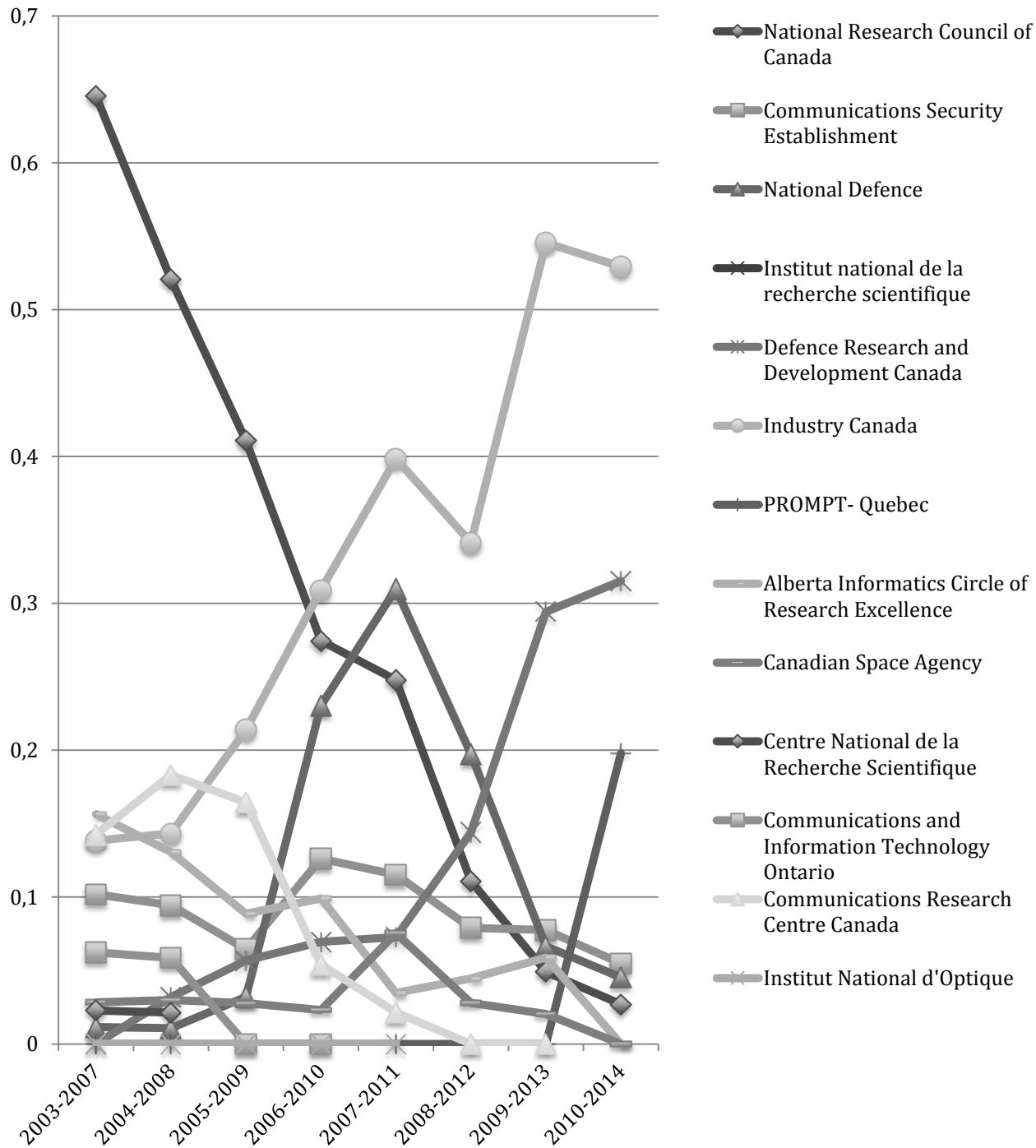


Figure 4-12: Centralité d'intermédiarité normalisée des organisations publiques dans le réseau de collaboration

Au niveau de la centralité de vecteurs propres, l'évolution de celle-ci pour les organismes publics se trouve à la Figure 4-12. On voit qu'il y a seulement deux organisations avec une importante valeur de centralité: le NRC et le Centre de la sécurité des télécommunications (*Communications Security Establishment*). Le NRC perd de l'importance de centralité tandis le Centre de la sécurité des télécommunications en gagne. Cela est cohérent avec la place prépondérante des firmes du secteur des télécommunications. Il est intéressant de constater que l'acteur le plus central du réseau, tous nœuds confondus, était un organisme public pour les périodes 2003-2007, 2004-2008 et 2005-2009.

Par la suite, c'est une firme, Research in Motion, qui a pris ce rôle. Ce constat, combiné à la montée d'Industrie Canada dans la centralité d'intermédiairité, renforce l'idée que le réseau de collaboration est de plus en plus mené par les partenariats industriels. Ici encore, on revient aux orientations données aux initiatives gouvernementales favorisant les collaborations avec l'industrie. Les TIC font partie des domaines scientifiques appliqués qui permettent de développer un grand nombre de produits sur le marché, d'année en année (Rosenberg et Nelson, 1994). Ce faisant, la proximité entre la recherche universitaire et l'industrie est palpable.

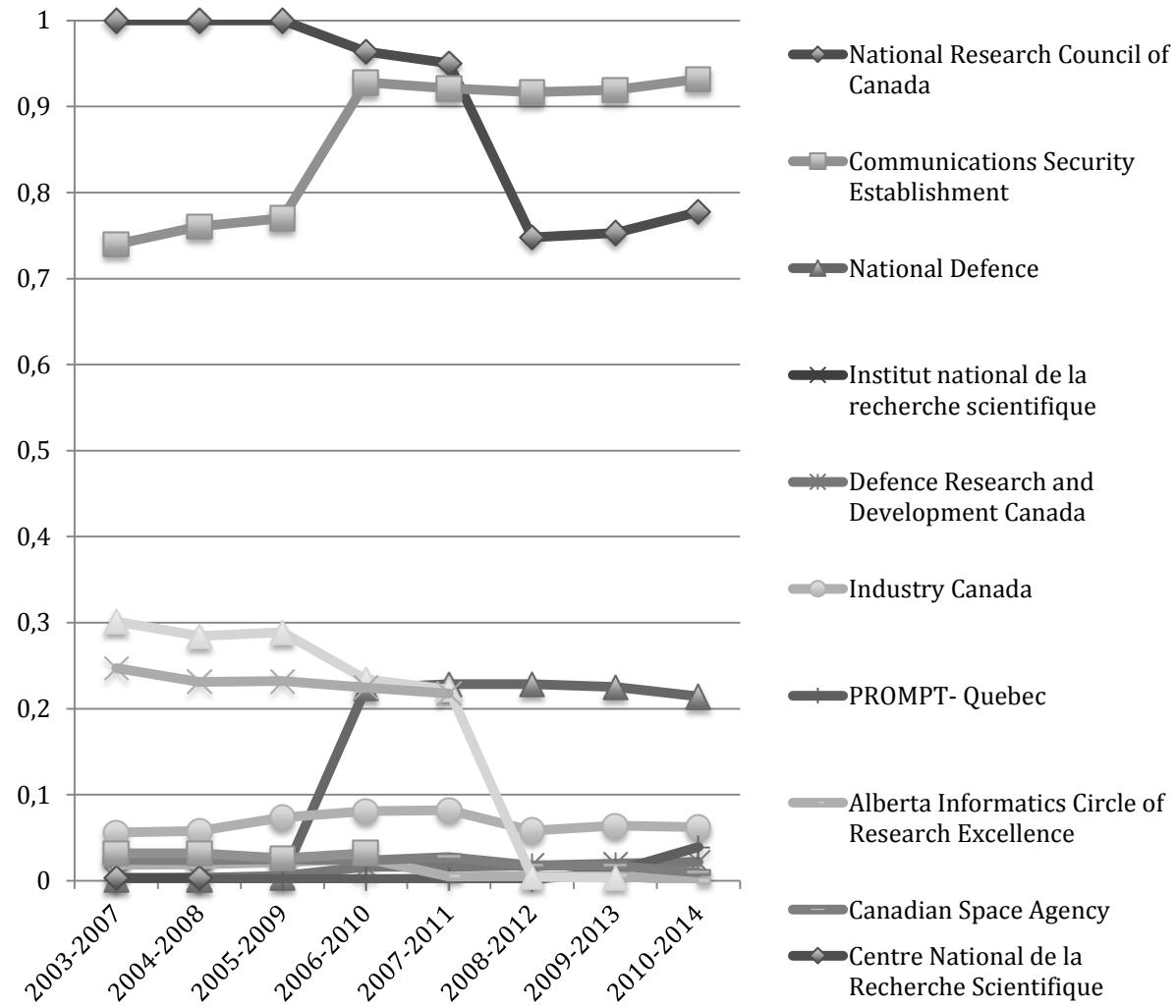


Figure 4-13: Centralité de vecteurs propres des organisations publiques dans le réseau de collaboration

4.2.3 Réseaux d'organisations

En remplaçant dans le réseau les chercheurs par leur université respective, on obtient des réseaux d'organisations tel que celui présenté à la Figure 4-14.

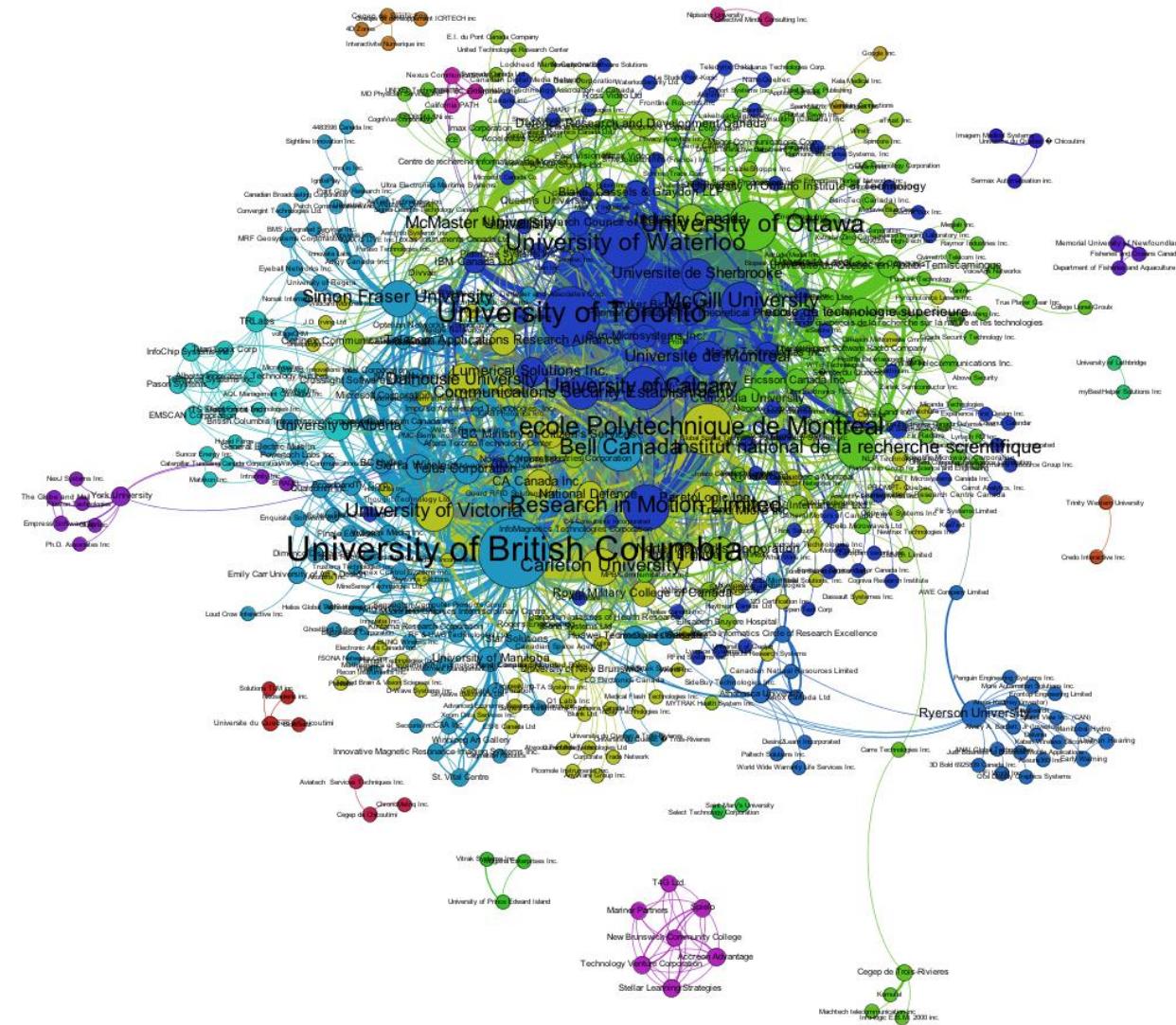


Figure 4-14: Réseau de collaboration CRSNG des organisations pour la période 2009-2013

Ainsi, il est possible d'analyser les mesures de centralité des universités afin de connaître l'importance de celles-ci dans la dynamique de recherche du secteur matériel des TIC au Canada. Puisque l'université d'appartenance des chercheurs n'est disponible uniquement qu'à partir de 2003, la période 2003-2014 a été étudiée. On peut voir à la Figure 4-15, la centralité de degré des 13 universités les plus actives dans le réseau de collaboration. Sur la période étudiée, la tendance de la centralité de degré est à la hausse pour la quasi-totalité des universités. En fait, il y a seulement l'université de Calgary, l'université McMaster ainsi que l'université McGill qui

montrent une valeur décroissante. L'université de Colombie-Britannique est de loin en tête avec 114 liens de collaborations distincts dans le réseau 2010-2014, suivie de l'université de Toronto avec 98 liens. C'est également une des institutions qui a montré la plus grande progression depuis 2003. En effet, l'université a une augmentation de 115 % en terme de centralité de degré, entre les réseaux 2003-2007 et 2010-2014. Cependant, ce n'est que depuis la période 2008-2012 que l'université de Colombie-Britannique a dépassé l'université de Toronto pour atteindre le premier rang. Le tableau de données est situé en Annexe J à des fins de consultation pour plus de précision.

Dans un autre ordre d'idées, on dénombre trois universités québécoises dans le top 13 de centralité de degré; l'université McGill, Polytechnique Montréal et l'université Concordia. De manière surprenante, l'université de Sherbrooke qui se trouve au cœur du secteur matériel des TIC au Québec ne se démarque pas à ce niveau.

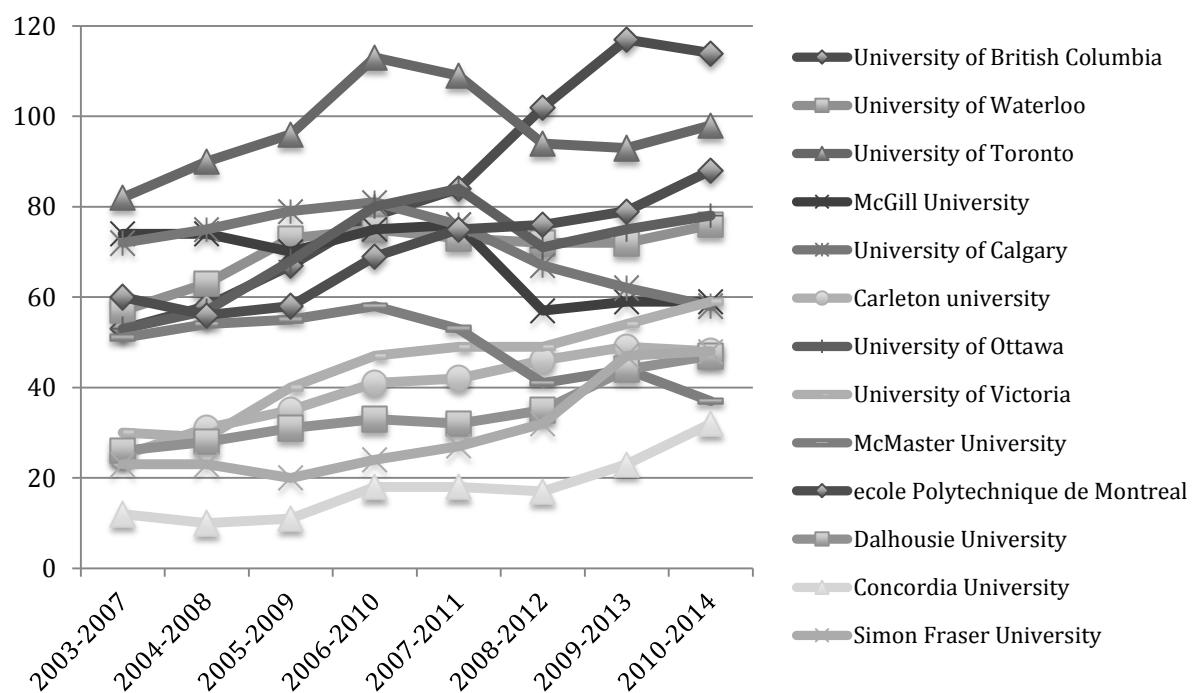


Figure 4-15: Centralité de degré des universités

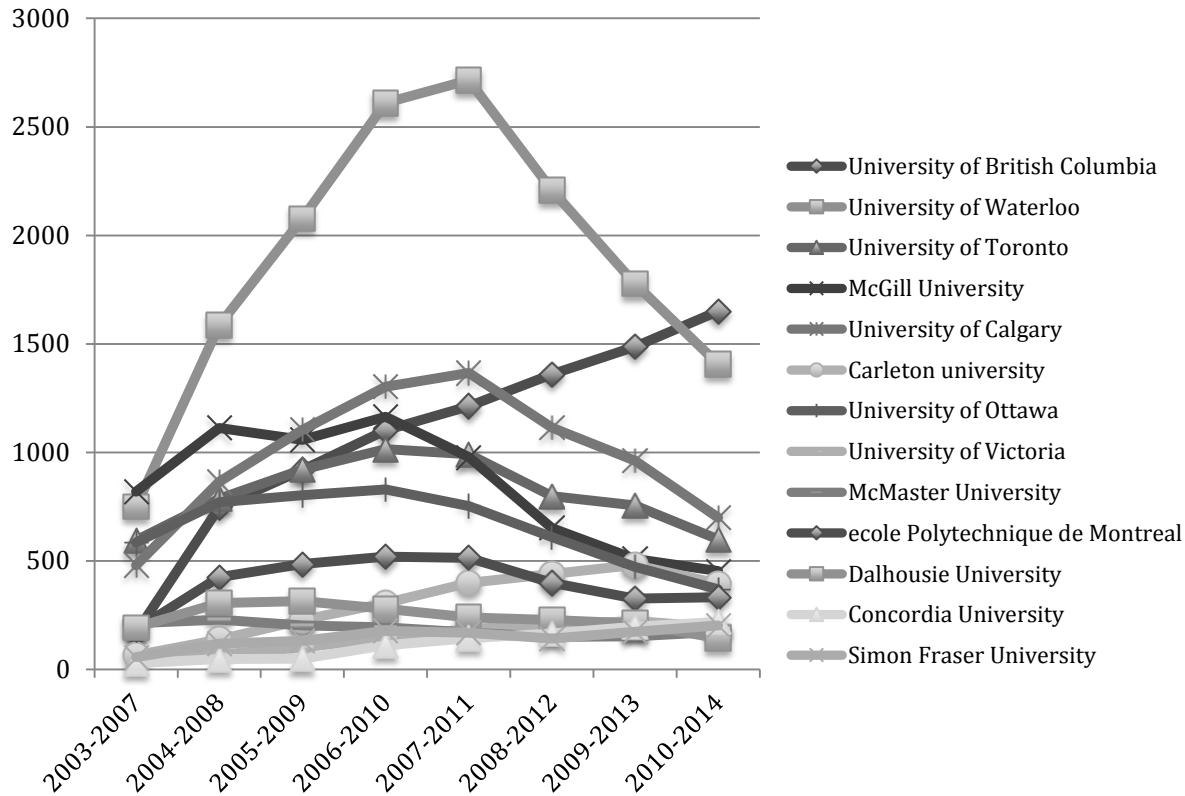


Figure 4-16: Degré pondéré des universités

La Figure 4-16 présente le degré pondéré des universités. Comme expliqué dans la méthodologie, le degré pondéré tient compte des collaborations multiples entre deux acteurs. Il est à noter que les collaborations entre chercheurs d'une même université sont comptabilisées dans cette mesure. Ce faisant un grande de valeur du degré pondéré ne correspond pas nécessairement à une plus grande collaboration avec les firmes.

Les courbes, ici, semblent représenter deux phases distinctes, une croissance jusqu'en 2007-2011 puis une décroissance jusqu'au dernier réseau, formant ainsi une cloche. On voit très bien cette forme en observant la courbe de l'université de Waterloo ou celle de l'université de Calgary. L'impact de la crise financière de 2008 pourrait être une cause de cette décroissance mais les données en main ne permettent pas de se prononcer. La seule institution qui affiche une croissance constante est l'université de Colombie-Britannique.

En regardant les collaborations sous l'angle du degré pondéré, le portrait dressé est quelque peu différent de celui vu plus tôt avec la centralité de degré. On remarque que pour le réseau 2010-2014, l'université de Colombie-Britannique est toujours première mais c'est le cas uniquement

pour cette période. Pour toutes les autres périodes, c'est l'université de Waterloo qui affichait le plus grand degré pondéré. Cette mesure étant en déclin depuis la fenêtre 2007-2011. D'autre part, Polytechnique Montréal qui était troisième en terme de centralité de degré est désormais septième lorsqu'on pondère la mesure. Cela laisse croire que l'intensité de collaboration entre les chercheurs et les firmes varient beaucoup, dépendamment de l'université. D'ailleurs, le Tableau 4-11 montre le ratio de la centralité de degré sur le degré pondéré. Cette mesure donne une idée de l'intensité de collaboration, i.e. du nombre moyen de collaborations par lien entre 2 acteurs.

Tableau 4-11: Ratio entre le degré et le degré pondéré des universités

	2003- 2007	2004- 2008	2005- 2009	2006- 2010	2007- 2011	2008- 2012	2009- 2013	2010- 2014
Univ. of B-C	3,2	12,9	13,7	14,1	14,4	13,3	12,7	14,5
Univ. of Waterloo	13,2	25,2	28,5	34,8	37,2	30,7	24,7	18,5
Univ. of Toronto	7,3	8,7	9,6	9,0	9,1	8,5	8,1	6,1
McGill Univ.	11,1	15,0	15,1	15,5	12,9	11,4	8,6	7,7
Univ. of Calgary	6,7	11,5	14,0	16,1	18,0	16,6	15,5	12,1
Carleton Univ.	2,6	4,5	6,5	7,5	9,5	9,6	9,8	8,2
Univ. of Ottawa	11,0	13,5	11,8	10,4	9,0	8,6	6,3	4,7
Univ. Victoria	1,7	2,3	2,5	3,1	3,8	4,2	4,1	3,3
McMaster Univ.	4,2	4,2	3,7	3,3	3,2	3,7	3,5	4,7
Polytechnique Montréal	3,1	7,6	8,4	7,5	6,9	5,2	4,1	3,8
Dalhousie Univ.	7,4	10,9	10,2	8,5	7,5	6,5	4,8	3,1
Concordia Univ.	2,4	4,7	4,5	6,2	8,0	9,8	8,6	6,8
Simon Fraser Univ.	2,4	5,2	6,6	7,4	6,2	4,4	3,7	4,2

L'université de Waterloo affiche un grand nombre moyen de collaborations par lien. On peut penser que les chercheurs de l'université de Waterloo développent davantage des relations long-termes entre eux et avec les firmes. Par exemple, si on regarde, dans le Tableau 4-12, les liens universités-entreprises les plus forts dans la période 2007-2011, on réalise que l'université de Waterloo se distingue effectivement à ce niveau. Les cinq liens université-entreprise ayant le grand poids sont liés à l'université Waterloo. L'exercice donne sensiblement le même résultat pour les autres réseaux. Le fort lien entre Research in Motion Limited et l'université de Waterloo n'est pas surprenant puisque le siège social de l'entreprise se trouve sur le campus universitaire.

Tableau 4-12: Top 5 des liens ayant le plus grand poids pour la période 2007-2011

Université	Partenaire industriel	Poids du lien
University of Waterloo	Research in Motion Limited	92
University of Waterloo	MagiQ Technologies Inc.	51
University of Waterloo	Bruker BioSpin Ltd.	51
University of Waterloo	Sun Microsystems Inc.	51
University of Waterloo	Communications Security Establishment	51

Enfin, en ayant toujours pour but de déterminer quelles sont les institutions centrales dans le milieu de la recherche du secteur matériel des TIC, les centralités d'intermédiairité (*Betweenness*) et de vecteurs propres (*Eigenvector*) ont été calculées. La première se trouvant à la Figure 4-17 et la seconde à la Figure 4-18.

Encore une fois, l'université de Colombie-Britannique s'illustre dans ces mesures de centralité. Elle affiche une progression depuis 2003-2007 en terme d'intermédiairité et est au premier rang depuis 2006-2010. Cette mesure de centralité montre de grands changements structurels dans le réseau de collaboration du financement CRSNG. Par exemple, l'université ayant la plus grande valeur d'intermédiairité en 2003-2007 était l'université de Calgary. Elle a par la suite continuellement diminué d'importance. L'université de Toronto a également eu la position la plus centrale (en intermédiairité), pendant 2 périodes consécutives, avant de chuter et de céder la place à l'université de Colombie-Britannique. Si on s'attarde au réseau le plus récent, l'université québécoise la plus *intermédiaire* est Polytechnique Montréal au septième rang.

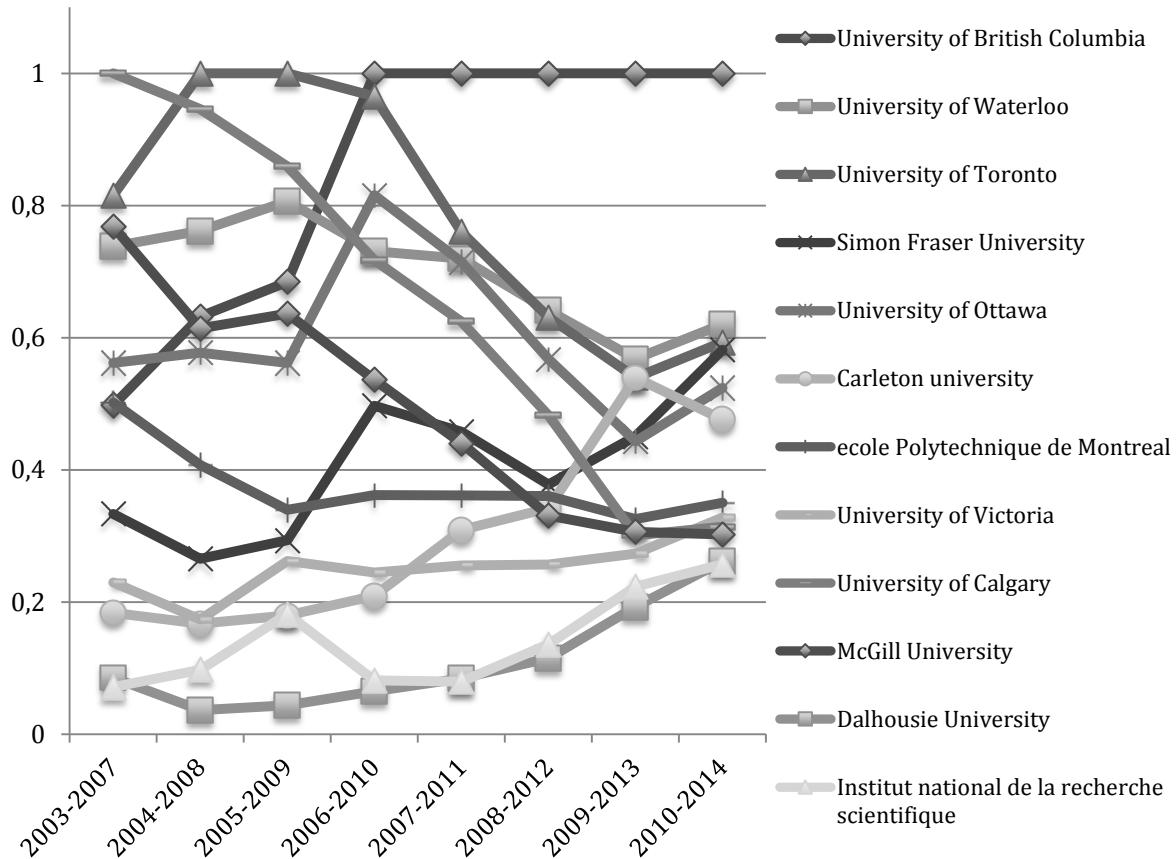


Figure 4-17: Centralité d'intermédiairité normalisée des universités

Pour la centralité de vecteurs propres, présentée à la Figure 4-18, qui se base sur l'importance relative des voisins de chaque nœud, les changements sont moins drastiques mais l'histoire se répète. L'université de Colombie-Britannique se hisse au premier rang aux dépens de l'université de Toronto. La combinaison des diverses mesures de centralité élevées pour l'université de Colombie-Britannique permet de confirmer son rôle prépondérant dans le réseau. Non seulement est-elle dans le sillage des plusieurs routes de connaissances mais elle est connectée à d'autres acteurs hautement collaboratifs.

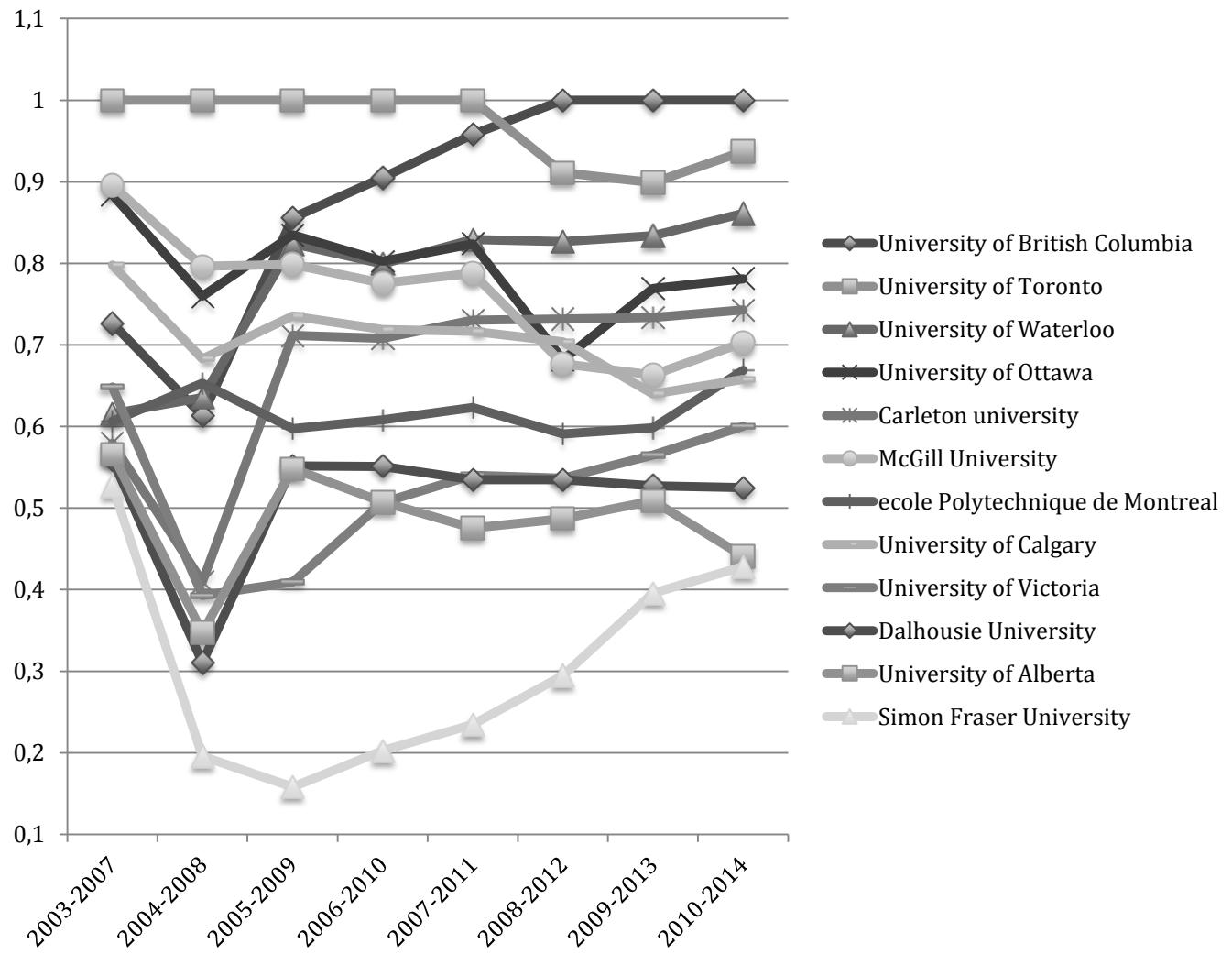


Figure 4-18: Centralité de vecteurs propres des universités

En résumé, suite à l'analyse des différentes mesures de centralité, il va sans dire que l'université de Colombie-Britannique est devenue un joueur clé dans le milieu de la recherche du secteur matériel des TIC. Les institutions québécoises brillent par leur absence. La grappe industrielle du secteur matériel des TIC au Québec ne se traduit pas par une présence prédominante de ces institutions dans le réseau de financement. Il est possible que cette grappe soit plus petite et plus spécialisée que perçue. Cela pourrait expliquer les résultats observés. Aussi, le modèle du C2Mi, ne nécessite pas de financement externe de la part du CRSNG, par exemple. La collaboration qui s'y trouve ne paraît donc pas forcément dans ces réseaux. Une étude voulant se concentrer sur la grappe québécoise devra donc utiliser d'autres moyens pour capturer la collaboration, par exemple, avec des entrevues sur le terrain ou des sondages.

4.3 Structure du réseau de collaboration MITACS

Comme mentionné dans la section Méthodologie, l'analyse réalisée sur les données MITACS est similaire à celle faite sur les données du CRSNG pour avoir une idée plus fidèle de la collaboration ayant lieu dans le financement de la recherche. Ainsi, on peut comparer les portraits dressés et voir si les deux réseaux démontrent les mêmes caractéristiques. Puisque ces derniers sont hautement déconnectés, il n'est pas pertinent de réaliser une analyse poussée de réseaux sociaux. À titre d'exemple, la Figure 4-19 témoigne de la multitude de composantes déconnectées dans les réseaux de chercheurs et d'entreprises. De plus, de part la nature des liens, un chercheur avec une organisation ou plus, le réseau est, de facto, de forme étoilée, ce qui n'est pas intéressant lorsqu'on regarde la centralité des acteurs ou les propriétés structurelles du réseau.

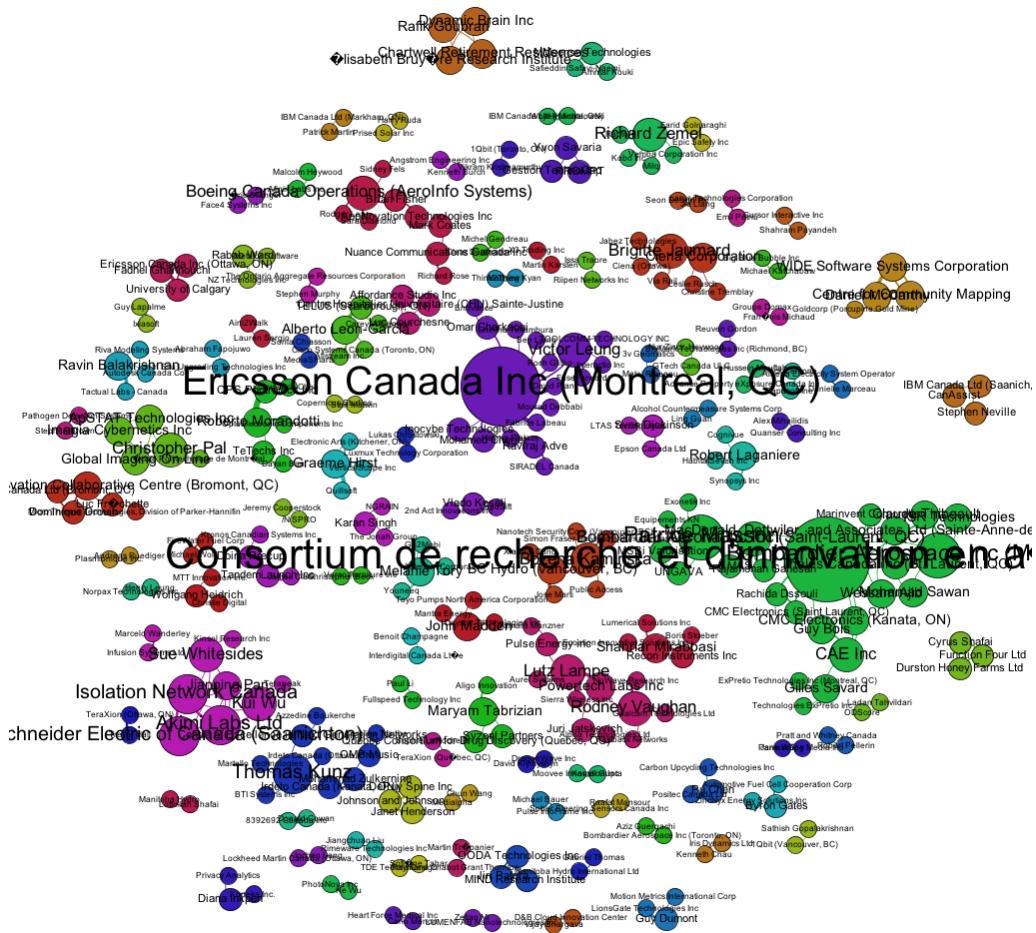


Figure 4-19: Réseau de collaboration MITACS 2013-2015 entre chercheurs et entreprises

On peut toutefois s'attarder aux acteurs qui ont le plus recours à ce type de financement, en observant le degré nodal de ces derniers. Le Tableau 4-13 recense les chercheurs qui ont obtenu le plus de financement MITACS lors des trois périodes étudiées tandis que le Tableau 4-14 présente plutôt les firmes.

Tableau 4-13: Top 10 des chercheurs selon la centralité de degré

Chercheur	2011-2013		2012-2014		2013-2015	
	Rang	Centralité	Rang	Centralité	Rang	Centralité
Claude Thibeault	1	15	1	12	9	6
Mohamad Sawan	2	9	6	6	14	3
Yvon Savaria	3	7	10	4	16	2
Lutz Lampe	3	7	2	11	1	12
Jiri Patera	5	6	6	6	12	4
Raman Kashyap	5	6	13	3	N/A	
Alberto Leon-Garcia	5	6	3	8	7	7
Bozena Kaminska	8	4	9	5	9	6
Vlado Keselj	8	4	12	4	14	3
Kenneth Burch	8	4	14	2	17	1
Fadhel Ghannouchi	11	3	4	7	5	8
Graeme Hirst	11	3	5	6	12	4
Patrice Masson	11	3	9	5	9	6
Brigitte Jaumard	15	2	6	6	1	12
Daniel McCarthy	15	2	4	7	3	10
Roberto Morandotti	N/A		14	2	3	10
Pu Chen	N/A		14	2	5	8

Tableau 4-14: Top 10 des firmes selon la centralité de degré

Firme	2011-2013		2012-2014		2013-2015	
	Rang	Centralité	Rang	Centralité	Rang	Centralité
CRIAQ (QC)	1	30	1	23	2	16
Bombardier Aerospace (QC)	2	30	2	18	10	7
Thales Canada Inc (QC)	3	24	4	12	16	3
Ericsson Canada Inc (QC)	4	10	3	18	1	24
Boeing Canada Operations	5	9	5	11	10	7
OODA Technologies Inc	6	7	9	6	13	4
ISR Technologies	7	6	9	6	13	4
PROMPT (QC)	8	6	9	6	17	2
MDA (QC)	9	4	15	4	13	4
Gestion TechnoCap (QC)	10	4	15	4	17	2
Ciena Corporation	11	3	9	6	3	10
WIDE Software Systems Corporation	12	2	9	6	7	8
QPS Photonics Inc	13	1	16	3	7	8
Akimi Labs Ltd		N/A	6	9	4	9
Schneider Electric of Canada		N/A	6	9	4	9
Isolation Network Canada		N/A	6	9	4	9
Centre for Community Mapping		N/A	9	6	7	8

Il est intéressant de constater que parmi les 10 entreprises les plus actives au niveau du financement MITACS, pour les deux premiers réseaux, une majorité (7 dans le cas du réseau 2011-2013) est située au Québec. Cela confirme la présence de la grappe du secteur matériel des TIC au Québec. En fait, on voit clairement les acteurs de la grappe aérospatiale du Québec faire appel à MITACS afin de financer des projets de recherche en TIC. Le secteur aérospatial est, en effet, de plus en plus un grand utilisateur de TIC avec l'essor de domaines tel que l'avionique, qui combine l'ensemble des équipements électroniques, électriques et informatiques aidant le pilotage des aéronefs et des astronefs (Acha et Brusoni, 2008; Landau et Rosenberg, 1986).

Notons que le réseau 2013-2015 n'est pas complet puisque l'année fiscale 2015-2016 est toujours en cours. L'impact de la portion manquante de 2015-2016 est potentiellement majeur puisqu'une grande partie du financement MITACS a lieu l'été, période de stages pour la plupart des grandes entreprises. Le secteur aérospatial québécois, notamment, fonctionne sur ce modèle. Cela explique le changement du top 10 pour le réseau 2013-2015.

Le Tableau 4-15 montre les universités ayant obtenu le plus de financement MITACS pour des projets de recherche pour chacune des trois fenêtres de trois ans. On remarque que le top 10 a quelque peu changé entre la première et la dernière période analysées. Les chercheurs de Polytechnique Montréal semblent de moins en moins faire appel à MITACS alors que l'Université de Colombie-Britannique a plus que doublé sa collaboration afin de devenir l'université ayant la plus grande centralité de degré. Au Québec, note aussi la présence accrue des universités anglophones McGill et Concordia.

Tableau 4-15: Top 10 des universités selon la centralité de degré (MITACS)

Université	2011-2013		2012-2014		2013-2015	
	Rang	Centralité	Rang	Centralité	Rang	Centralité
Polytechnique Montréal	1	34	3	30	6	24
University of Toronto	2	33	2	34	2	38
University of British Columbia	3	29	1	49	1	63
Simon Fraser University	4	20	6	20	6	24
École de Technologie supérieure	4	20	8	17	10	12
McGill University	6	15	4	25	3	34
University of Calgary	7	9	7	19	8	20
University of Ottawa	7	9	12	7	9	16
University of Victoria	9	8	5	22	7	21
Dalhousie University	9	8	12	7	12	6
Université de Montréal	9	8	11	11	11	11
University of Waterloo	12	6	8	17	4	30
Concordia University	13	4	10	12	5	26

Tableau 4-16: Provinces les plus actives auprès du financement MITACS (centralité de degré)

Province	2011-2013		2012-2014		2013-2015	
	Centralité	Part	Centralité	Part	Centralité	Part
QC	81	40%	95	35%	107	33%
BC	57	28%	91	34%	108	33%
ON	48	24%	58	21%	84	26%

Le Tableau 4-16, quant à lui, présente les centralités de degré si on regroupe les universités par province, ainsi que la part de collaboration du réseau englobée par ces dernières. Tout comme ses

entreprises, les universités du Québec se démarque en faisant une grande utilisation du financement MITACS. Cependant, la province qui démontre la plus grande croissance à ce niveau est de loin la Colombie-Britannique. Une explication potentielle de cette tendance est la proximité géographique entre MITACS et les universités de la Colombie-Britannique. En effet, le siège social de MITACS se trouve à Vancouver. Ce faisant, la stratégie de développement de MITACS pourrait être davantage concentrée sur cette province. La proximité géographique n'étant pas le cœur de cet ouvrage, cette explication demeure une hypothèse qui pourrait être testée dans un effort de recherche futur.

4.4 Structure du réseau de co-publications

4.4.1 Analyse de petit-monde

Les réseaux de co-publications des chercheurs du secteur matériel des TIC, identifiés dans la base de données des projets CRSNG, ont également été cartographiés. Un des objectifs étant de déterminer si la structure du réseau possède les caractéristiques de petit-monde, ou évolue vers une telle disposition. La période 1998-2004 a été comparée aux années 2008-2014. Ici, les réseaux représentent toujours des fenêtres de cinq ans. Tout comme dans les sections précédentes, l'analyse de réseaux sociaux est employée sur la composante principale du réseau de collaboration. On peut voir à la Figure 4-20, à titre d'exemple, le réseau de co-publications 2010-2014 et sa composante principale. Ces réseaux comportent uniquement les chercheurs se trouvant dans les réseaux de collaboration du CRSNG, les liens de co-publications entre ces chercheurs et d'autres auteurs n'apparaissent pas dans le réseau. Ainsi, il est possible de comparer directement les liens de financement avec les liens de co-publication, avec les mêmes chercheurs.

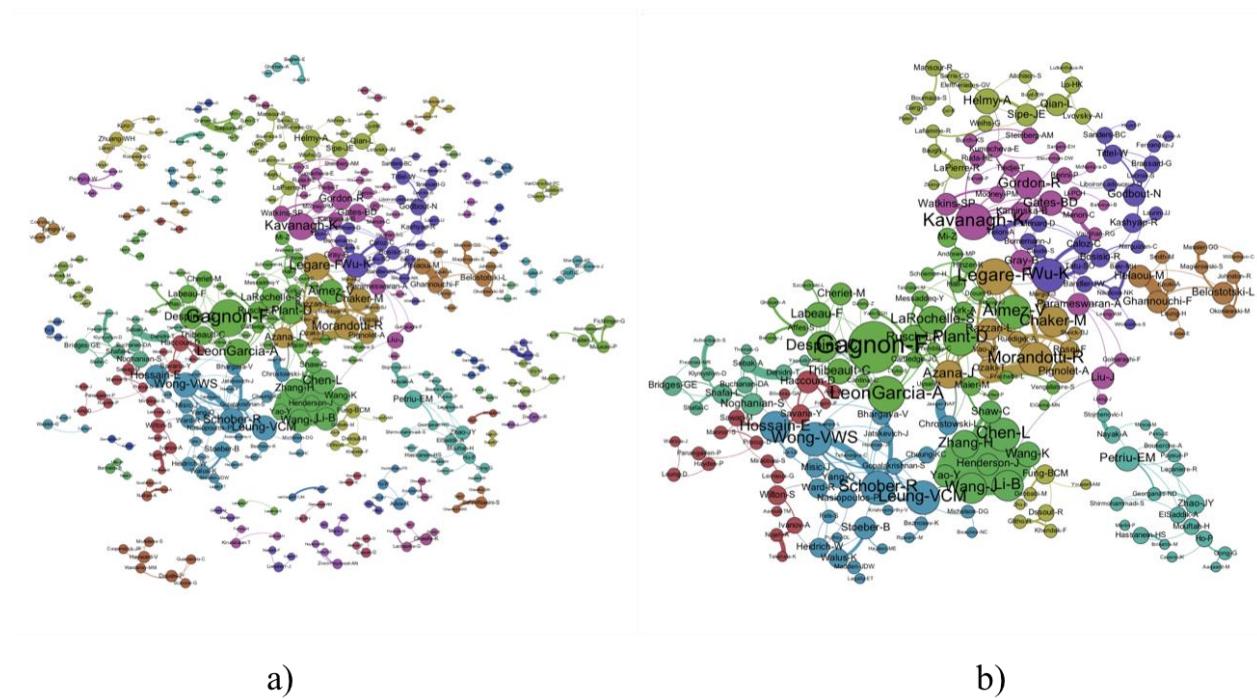


Figure 4-20: a) Réseau de co-publications 2010-2014 et b) sa composante principale

Afin de s'assurer que la composante principale est représentative du réseau et de sa dynamique de collaboration, il est important d'étudier sa composition. À la Figure 4-21, l'évolution de la cette composition est montrée. Plus précisément, on observe la part de nœuds et la part de collaboration de la composante principale par rapport au réseau complet. On note que, pour les trois premières périodes, la composante majeure ne représente qu'environ 10% des chercheurs du réseau et approximativement 20% des liens de co-publications. Ces résultats rendent donc difficile l'analyse du réseau pour ces années. On peut voir à la Figure 4-22 que le réseau 1998-2002 est très déconnecté et ne contient pas beaucoup de chercheurs. Cette constatation est la même pour les réseaux 1999-2003 et 2000-2004. Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces observations. D'abord, comme vu dans la section sur l'évolution globale de la collaboration, le nombre de projets CRNSG liés au secteur matériel des TIC a beaucoup progressé depuis le début des années 2000. Ce faisant, une grande partie des chercheurs de la liste CRSNG sont actifs uniquement dans les plus récentes années. Les chercheurs qui, à l'époque, travaillaient sur de la recherche du secteur matériel des TIC, mais qui ne recevaient pas de financement CRSNG, ne figurent pas dans le réseau.

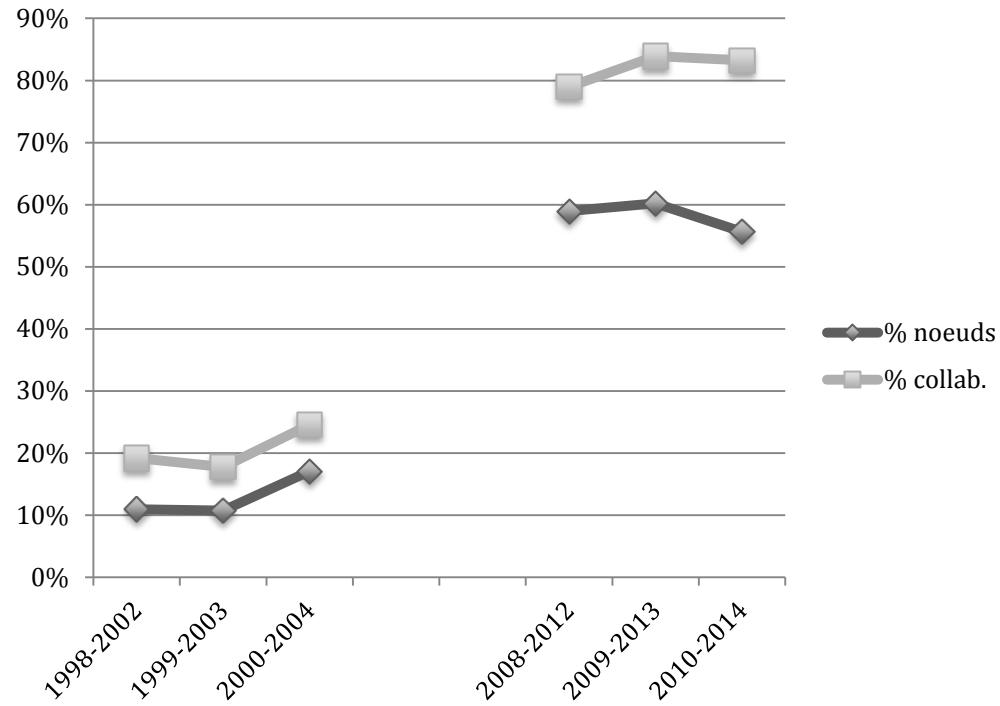


Figure 4-21: Évolution de la composition de la composante principale

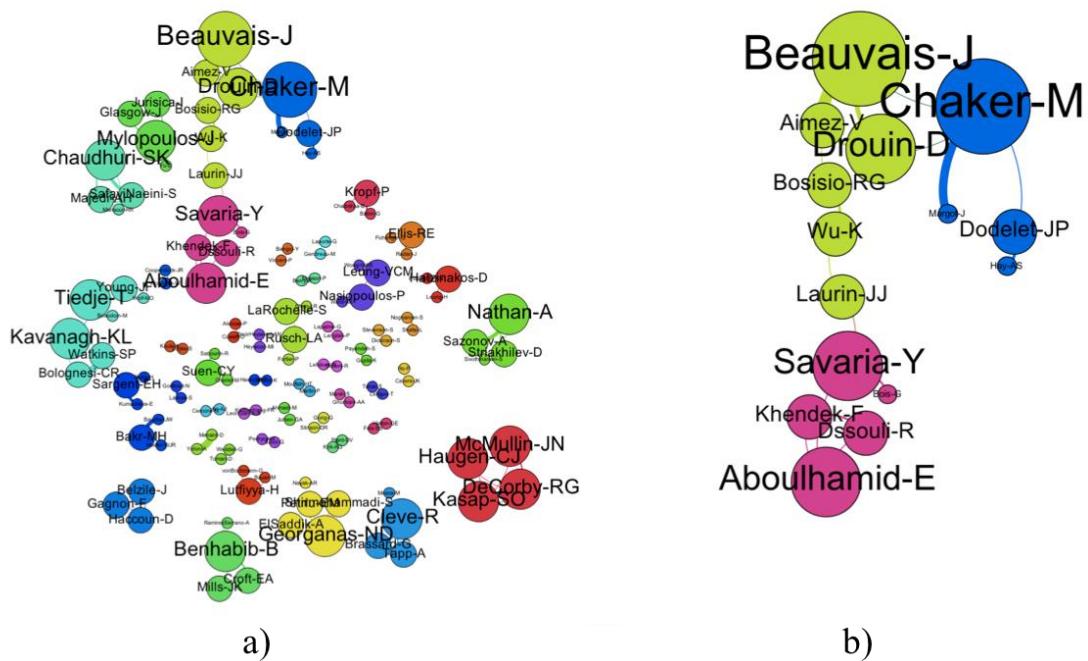


Figure 4-22 : a) Réseau de co-publications 1998-2002 et b) sa composante principale

Cependant, si on regarde désormais l'évolution de la composition de la composante principale, pour la deuxième période de temps, toujours à la Figure 4-21, on s'aperçoit que là l'utilisation de cette dernière est justifiée. En effet, elle regroupe environ 60% des chercheurs et plus de 80% de la dynamique de co-publication. De plus, comme témoigne la Figure 4-20, les réseaux sont composés d'un grand nombre d'îlots de collaboration qui regroupent des binômes ou des trinômes de chercheurs. Ces scientifiques pouvant être des chercheurs *occasionnels* du secteur matériel des TIC. Ce faisant, leur impact sur la dynamique globale de collaboration dans le schéma de co-publication est minime.

Sachant cela, il est pertinent d'aller de l'avant avec l'analyse de petit-monde sur la composante principale des réseaux. On peut voir dans le Tableau 4-17 les propriétés de petit-monde pour les différentes périodes. Ici, la taille du réseau est définie comme étant son nombre de nœuds. L'analyse a tout de même été réalisée sur les trois premiers réseaux, à des fins de comparaison. On retrouve une structure de petit-monde pour les réseaux de la période 2008-2014. Effectivement, ils démontrent un coefficient de groupement de 25 à 34 fois plus grand que celui d'un réseau aléatoire de la même taille, en gardant toutefois une longueur de chemin moyen du même ordre de grandeur. Ce faisant, leur variable de petit-monde (*SW*) est plus grande que un. Les valeurs des trois derniers réseaux rejoignent sensiblement les valeurs obtenues pour les réseaux de collaboration CRSNG, i.e., un *SW* aux alentours de 20. Ainsi, cela indique une équivalence au niveau des propriétés de diffusion de connaissances entre les liens de financement et les liens de co-publications. Mais la taille de la composante principale du réseau de co-publications est environ le double de celle du réseau de financement CRSNG (Tableau 4-9), pour la période 2008-2014. Donc, le pouvoir de diffusion atteint plus de chercheurs et cela pourrait indiquer qu'une proximité plus faible permettrait de créer un lien dans un contexte de co-publication comparé à un contexte de financement.

Tableau 4-17: Propriétés de petit-monde du réseau de co-publications

Période	Taille du réseau	I/I(rd)	CC/CC(rd)	SW
1998-2002	15	1,46	2,47	1,69
1999-2003	18	1,20	1,71	1,43
2000-2004	37	1,47	5,01	3,41
2008-2012	227	1,59	33,20	20,86
2009-2013	242	1,56	25,92	16,58
2010-2014	227	1,58	33,80	21,38

4.4.2 Lien entre financement et co-publication

Afin de déterminer l'impact de la dynamique de financement sur celle de co-publications, les liens de co-publications des chercheurs les plus actifs dans le réseau de financement CRSNG ont été analysés.

En identifiant les acteurs les plus centraux dans le réseau de collaboration du financement CRSNG, il a été possible de suivre leur performance en termes de co-publications. On trouve les résultats se trouvant dans le Tableau 4-18, en comparant les centralités des deux types de réseau de collaboration. Ces données correspondent au nombre de chercheurs les plus centraux en terme de centralité d'intermédiarité dans le réseau de collaboration CRSNG, se trouvant également parmi les plus centraux dans le réseau de co-publications.

Tableau 4-18: Part du top 20 des chercheurs les plus centraux dans le réseau de co-publications provenant du top 20 d'intermédiarité dans le réseau de financement CRSNG

Type de centralité	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Intermédiarité	6	5	3
Degré	5	5	5

En d'autres mots, six chercheurs du top 20 des plus centraux (en intermédiairité) dans le réseau 2008-2012 de financement CRSNG sont également dans le top 20 (en intermédiairité) dans le réseau de co-publications. On peut voir que le résultat est semblable pour le réseau 2009-2013 et on perçoit une baisse de représentativité dans le réseau 2010-2014. Cela laisse penser que ces chercheurs ont une tendance à collaborer avec plusieurs groupes de chercheurs distincts et cela se reflète également dans le schéma de co-publications. Toujours dans le Tableau 4-18, on observe que 20% (5 sur 20) du top 20 des chercheurs ayant la plus grande centralité de degré dans le réseau de co-publication font également partie des plus centraux en intermédiairité dans le financement. Cela signifie que les individus se trouvant à la jonction d'un grand groupe de chercheurs publient également avec plus de chercheurs différents, en absolue. Cette caractéristique d'intermédiairité dans le financement laisse penser qu'elle est source de productivité scientifique.

Curieusement, les autres types de centralités (de vecteurs propres, de proximité, etc.) ne montrent pas de liens lorsque l'on compare les deux types de réseaux (financement et co-publications). Afin d'approfondir notre compréhension, les liens les plus forts, liant deux chercheurs, ont été étudiés davantage. Toujours pour les trois réseaux (de 2008 à 2014), on peut voir dans les tableaux suivants (Tableau 4-19, Tableau 4-20, Tableau 4-21), la comparaison entre le nombre de subventions CRSNG et les co-publications entre les paires de chercheurs ayant de forts liens de financement. On remarque qu'à l'exception d'un lien, entre Lutz Lampe et Robert Schober, il n'y a pas de corrélation visible entre le nombre de collaboration CRSNG et le nombre de co-publications. Pourtant, pour la période 2010-2014, si on prend l'exemple de Lutz Lampe et de Vincent Wong, un total de 11 collaborations dans des projets CRSNG n'ont abouti à aucune co-publication commune. Ces résultats sont plutôt surprenants mais, bien sûr, on ne peut généraliser cette tendance sur l'ensemble des données sans faire des analyses statistiques plus poussées.

Tableau 4-19: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2010-2014

Chercheur	Chercheur	Nb de collaboration CRSNG	Nb de co-publications
Wong, Vincent	Lampe, Lutz	11	0
Schober, Robert	Lampe, Lutz	9	1
Leung, Victor	Lampe, Lutz	9	0
Wong, Vincent	Leung, Victor	9	0
Michelson, David	Leung, Victor	7	1

Tableau 4-20: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2009-2013

Chercheur	Chercheur	Nb de collaboration CRSNG	Nb de co-publications
Wong, Vincent	Lampe, Lutz	11	0
Schober, Robert	Lampe, Lutz	9	6
Gagnon, François	Kouki, Ammar	6	0
Hakem, Nadir	Delisle, Gilles	6	0
Hakem, Nadir	Aniss, Hasnaa	6	0

Tableau 4-21: Correspondance entre le financement CRSNG et les co-publications pour 2008-2012

Chercheur	Chercheur	Nb de collaboration CRSNG	Nb de co-publications
Schober, Robert	Lampe, Lutz	13	13
Wong, Vincent	Lampe, Lutz	10	0
Leung, Victor	Lampe, Lutz	8	0
Hakem, Nadir	Delisle, Gilles	6	0
Hakem, Nadir	Aniss, Hasnaa	6	0

En prenant cette fois-ci les liens de co-publications les plus récurrents et en regardant le pendant du financement CRSNG, on obtient les tableaux: Tableau 4-22, Tableau 4-23 et Tableau 4-24. Pour le réseau 2010-2014, uniquement un des cinq liens de co-publications a également du financement du gouvernement canadien via le CRSNG. Ce lien revient dans les réseaux 2009-2013 et 2008-2012, faisant de celui-ci une relation long-terme. C'est aussi le financement le plus faible si on le compare aux autres valeurs monétaires non-nulles dans les trois tableaux, pourtant,

c'est le lien qui co-publie relativement plus. Ici, aussi, il est curieux de retrouver une grande disparité entre les deux portraits (co-publications versus financement). Il existe plusieurs sources de financement autres que celle du CRSNG, on ne capte donc pas toute la collaboration liée au financement avec nos données. Cependant, puisque ces chercheurs exercent tous au Canada, on pourrait s'attendre à une grande corrélation entre le nombre de co-publications et le nombre de collaborations dans les projets financés par le CRSNG.

Tableau 4-22: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2010-2014

Chercheur	Chercheur	Co-pub	CRSNG	Montant
Morandotti-R	Ozaki-T	25	0	0
Helaoui-M	Ghannouchi-F	25	2	64 000\$
Chen-L	Wang-J	20	0	0
Chen-L	Zhang-H	20	0	0
Chen-L	Li-B	19	0	0

Le portrait dressé dans le Tableau 4-23 correspond plus à ce que l'on s'attendait. C'est-à-dire que la plupart des liens récurrents de co-publications (quatre sur cinq) ont également du financement CRSNG. Il serait intéressant d'utiliser ces données et d'effectuer quelques régressions afin de déterminer l'impact du nombre de collaborations CRSNG, du montant des subventions et de la durée de celles-ci sur le nombre de co-publications pour l'ensemble des données. Ces résultats préliminaires permettent uniquement de se poser des questions pour de futurs travaux puisqu'il est impossible pour le moment de généraliser les tendances. De plus, il faudrait jeter un coup à la nature des subventions car certains projets avec des partenaires industriels ont des modalités qui empêchent les chercheurs de publier. C'est d'ailleurs le cas dans l'industrie pharmaceutique (Dooley et Kirk, 2007; Pammolli, Magazzini et Riccaboni, 2011).

Tableau 4-23: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2009-2013

Chercheur	Chercheur	Co-pub	CRSNG	Montant
Helaoui-M	Ghannouchi-F	26	3	96 000\$
Morandotti-R	Ozaki-T	24	1	149 711\$
Morandotti-R	Razzari-L	24	1	149 711\$
Rusch-LA	LaRochelle-S	19	0	0
Denidni-T	Sebak-A	19	1	131 000\$

Tableau 4-24: Correspondance CRSNG des liens de co-publications ayant le plus grand poids pour le réseau 2008-2012

Chercheur	Chercheur	Co-pub	CRSNG	Montant
Morandotti-R	Razzari-L	23	0	0
Helaoui-M	Ghannouchi-F	22	2	64 000\$
Rusch-LA	LaRochelle-S	21	0	0
Menard-D	Yelon-A	19	2	123 500\$
Morandotti-R	Ozaki-T	16	0	0

4.5 Étude de la convergence

4.5.1 Convergence dans la recherche

Afin d'observer des tendances de convergence entre les secteurs matériel et logiciel des TIC dans le monde de la recherche, les chercheurs du secteur matériel ont été identifiés dans les réseaux de collaboration purement universitaire pour les projets TIC financés par le CRNSG. On obtient des réseaux comme celui présenté à la Figure 4-23, où on voit le réseau 2010-2014 de collaboration universitaire. En comparant les trois réseaux de cinq ans de la période 1998-2004 avec ceux, plus récents, de la période 2008-2014, on trouve les caractéristiques présentées dans le Tableau 4-25.

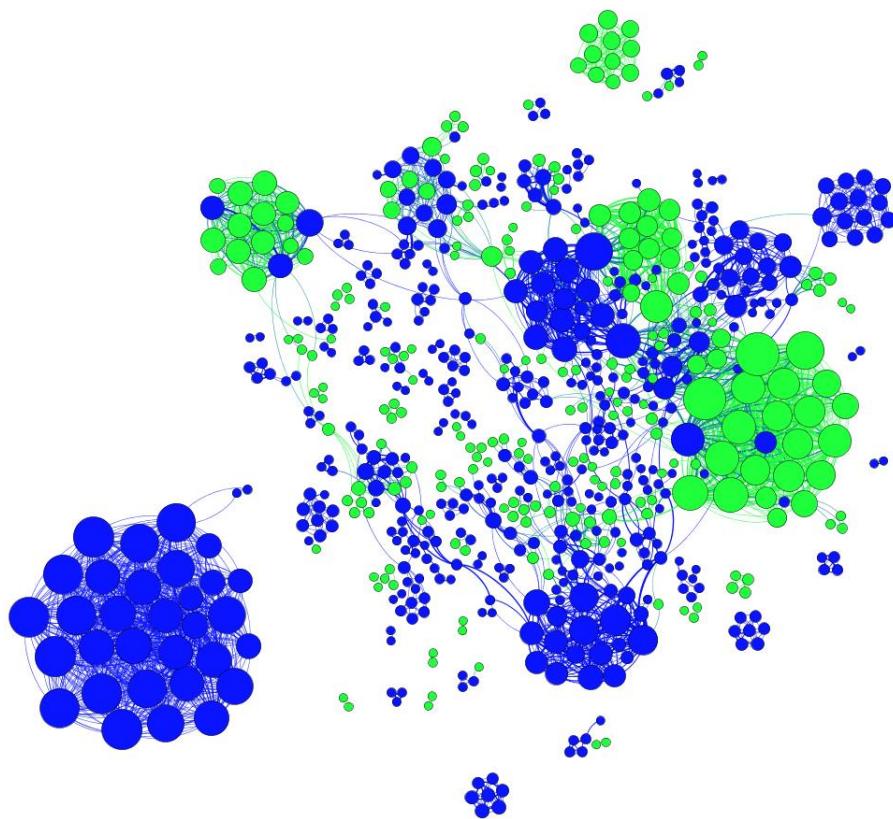


Figure 4-23: Réseau 2010-2014 de collaboration universitaire pour les projets TIC du CRNSG, où les chercheurs du secteur matériel sont en bleu et les autres (logiciel et services) en vert.

Tableau 4-25: Évolution des liens de collaboration entre sous-secteurs des TIC

Réseau	1998- 2002	1999- 2003	2000- 2004	2008- 2012	2009- 2013	2010- 2014
Liens Matériel- Logiciel	14,8%	7,0%	6,5%	11,0%	11,2%	13,5%
Liens Matériel- Matériel	42,5%	53,0%	50,2%	68,3%	61,4%	54,8%
Liens Logiciel- Logiciel	42,7%	40,1%	43,3%	20,7%	27,4%	31,7%
Nombre de liens total	3367	2862	2812	5459	5367	5360

Les liens matériel-logiciel sont ici utilisés comme proxy de la convergence. On peut s'attendre à une augmentation de ceux-ci si réellement les projets de recherche requièrent de plus en plus une intégration des technologies matérielles et logicielles. Or, à l'exception du réseau 1998-2002, les réseaux démontrent bien cette tendance. Les données montrent également une augmentation des liens purement matériels et une diminution des liens logiciels, entre les deux périodes étudiées.

Le Tableau 4-26 aide à mieux interpréter ces résultats. L'augmentation des liens matériels est en partie expliquée par l'augmentation de la présence des chercheurs du secteur matériel dans le réseau. En fait, pour la fenêtre 2008-2012, 74 % des chercheurs correspondaient à des chercheurs de ce secteur. Ce résultat semble élevé. Une des raisons possibles est la présence de chercheurs occasionnels du secteur matériel. Dans la construction des réseaux, les chercheurs ne peuvent être de deux couleurs. Ils sont catégorisés comme étant du secteur matériel ou pas (bleu ou vert). Ce faisant, il est probable que certains chercheurs soient classés à tort dans cette catégorie et qu'en réalité ils ne soient pas spécialisés dans le domaine. Sachant cela, il est difficile de se prononcer sur la présence de convergence.

Tableau 4-26 : Composition du réseau de chercheurs

Réseau	1998-2002	1999-2003	2000-2004	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Chercheurs	56,4%	62,5%	61,4%	74,0%	71,2%	66,2%
Matériel						
Chercheurs	43,7%	37,5%	38,7%	26,0%	28,8%	33,9%
Logiciel						

Le Tableau 4-27 permet l'analyse des liens, en valeur absolue, et de leur variation entre les réseaux de cinq ans. Ici, on voit que la première période étudiée (1998-2004) montre une diminution du nombre de liens matériel-logiciel tandis que la seconde (2008-2014) montre une augmentation, surtout entre 2009-2013 et 2010-2014 avec une variation de +20,4%. En fait, pour la seconde période, l'augmentation des liens matériel-logiciel a lieu malgré la diminution du nombre total de liens dans le réseau. La comparaison des réseaux 2000-2004 et 2008-2012 montre également que c'est le lien de type matériel-logiciel qui affiche la plus grande augmentation (+227%). Contrairement aux valeurs du tableau précédent, ici, les liens matériel-matériel (en valeur absolue) diminuent en importance dans les deux périodes analysées. Sous cet

angle, les tendances observées correspondent bien à ce qu'on attend dans le cas d'une convergence entre les aspects matériel et logiciel de l'industrie des TIC.

Tableau 4-27: Évolution des liens de collaboration entre sous-secteurs des TIC (en valeur absolue)

Réseau	1998-2002	1999-2003	2000-2004	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Liens Matériel-Logiciel	498	200	183	600	601	724
Variation	-59,8%	-8,77%		+227%	+0,10%	+20,4%
Liens Matériel-Matériel	1431	1517	1412	3728	3295	2937
Variation	6,00%	-6,94%		+164%	-11,62%	-10,9%
Liens Logiciel-Logiciel	1438	1148	1218	1130	1471	1699
Variation	-20,2%	6,09%		-7,22%	30,14%	15,5%
Nombre de liens total	3367	2862	2812	5459	5367	5360
Variation	-15,0%	-1,75%		+94,1%	-1,69%	-0,13%

Cependant, si on ramène l'analyse à la composante principale des réseaux, la spécialisation des chercheurs plutôt que la convergence est suggérée, comme le présente le Tableau 4-28. On peut y voir la comparaison des composantes principales des deux réseaux les plus distants l'un de l'autre en terme de temps. Le nombre de nœuds et de liens de collaboration triple tous deux approximativement entre les deux périodes, ce qui est cohérent avec l'évolution globale de la collaboration vue plus tôt. On note aussi que la situation du secteur matériel par rapport au logiciel s'est quasiment inversée en l'espace de 12 ans. La part de chercheurs du secteur matériel est passée de 35,7 % à 60,9% tandis que celle des autres chercheurs a baissé de 64,3 % à 39,1 %. Cependant, le nombre de liens matériel-logiciel a diminué. Ils représentaient environ le quart de la collaboration de la composante principale du réseau 1998-2002 alors que dans le récent réseau 2010-2014, cette part est de seulement 17,5 %. Du coup, ces données semblent infirmer l'hypothèse de convergence dans la recherche universitaire.

Tableau 4-28: Comparaison des composantes principales pour les réseaux 1998-2002 et 2010-2014

Réseau	1998-2002	2010-2014
Nombre de nœuds	112	304
Nombre de liens	1217	3712
Chercheurs matériel	35,7%	60,9%
Chercheurs logiciel	64,3%	39,1%
Liens matériel-logiciel	24,3%	17,5%

Nos résultats abondent donc dans la direction de certains ouvrages de la littérature, e.g. (Miège et Vinck, 2012) qui montrent que la convergence et l’hybridation du logiciel et du matériel n’est pas si évidente. Les convergences technologiques que l’on voit sur le marché ne proviennent pas nécessairement d’un rapprochement au niveau de la recherche universitaire. Il est plus probable de penser que ce sont les firmes qui intègrent ces différentes technologies dans leur développement de nouveaux produits tandis que les chercheurs universitaires demeurent très spécialisés. Une analyse d’interdisciplinarité de la recherche, en bonne et due forme, est nécessaire pour répondre à cette question.

4.6 Résumé

En résumé, dans ce chapitre, on a d’abord présenté les résultats de l’évolution globale de la collaboration, basés sur les données de financement de la recherche. On a vu que le nombre de collaborations ayant lieu dans les projets TIC de toute sorte, financés par le CRSNG, a pratiquement doublé depuis les dix dernières années. Pour le secteur matériel, en particulier, la participation grandissante de l’industrie dans les projets de recherche est observée. Cette tendance est d’ailleurs renforcée par les collaborations utilisant un modèle de stages en entreprises, comme le modèle de l’organisme MITACS.

Ensuite, les hypothèses de présence et de persistance de la structure petit-monde ont été confirmées pour le réseau de collaboration dans le financement CRSNG. On a également pu constater que les organisations possédaient un positionnement clé dans le réseau permettant

d'amplifier les propriétés de petit-monde. En effet, des firmes, comme Research in Motion Limited, affichent une grande centralité, mais des organisations publiques se démarquent également, avec des acteurs tel qu'Industrie Canada possédant un grand degré d'intermédialité. L'utilisation de l'analyse de réseaux sociaux et les résultats observés peuvent conduire les preneurs de décisions au niveau gouvernemental à mieux saisir l'impact de leurs politiques d'innovation. Les entreprises peuvent également en bénéficier car ce type de résultats leur permet de souligner leurs liens avec les chercheurs universitaires et les projets qu'elles financent. Ainsi, ces firmes peuvent éliminer les projets redondants ou créer davantage de collaboration entre divers groupes de chercheurs.

Ces mêmes hypothèses, concernant la structure petit-monde, ont également été confirmées pour le réseau de collaboration tiré des liens de co-publication. La représentativité de la composante principale étant, cependant, fiable uniquement pour la période d'analyse la plus récente (2008-2014). Pour un chercheur, l'utilité de voir ces réseaux de collaboration cartographiés réside dans la conscientisation de son entourage immédiat et dans la compréhension de l'influence de ses liens de financement sur sa production scientifique.

Enfin, l'analyse de convergence ne permet pas de confirmer l'hypothèse selon laquelle le réseau de collaboration dans le financement CRSNG affiche une convergence entre les activités de recherche des chercheurs du secteur matériel et ceux du secteur logiciel des TIC. Dépendamment de la mesure utilisée, soit la part des collaborations du réseau ou le nombre absolu de collaborations, les constatations diffèrent. Ainsi, l'hypothèse ne peut être confirmée mais les résultats indiquent qu'une étude plus approfondie pourrait révéler une convergence.

Les autres résultats présentés dans ce chapitre ne sont pas directement reliés à des hypothèses formulées en fonction de la revue de littérature. Ils permettent une meilleure compréhension des réseaux de collaboration étudiés et de leurs mécanismes. Par exemple, on voit que la collaboration université-industrie sous la forme de stages de recherche en entreprise, comme celle établie par l'organisme MITACS, a le vent dans les voiles et qu'elle est privilégiée par les firmes.

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

À la veille du tournant numérique, les nations doivent s’interroger à propos de leur situation et déterminer si les ressources disponibles et l’utilisation de celles-ci sont efficaces et suffisantes, afin de permettre un avantage compétitif à l’échelle globale.

En se basant sur le postulat que la recherche collaborative est bénéfique à l’innovation, les agences gouvernementales l’encouragent de plus en plus au sein de la communauté scientifique. Le secteur canadien des TIC n’échappe pas à la règle. Ce domaine étant reconnu comme un moteur de croissance économique, de par son omniprésence dans les autres secteurs. Son degré hautement technologique requiert un important aspect de recherche et développement.

Dans un contexte où l’industrie canadienne des TIC voit sa division manufacturière perdre des plumes année après année, il est essentiel de comprendre les phénomènes en jeu et de réagir vite. Pourtant, il existe très peu d’ouvrages se concentrant sur la description et la compréhension de l’écosystème d’innovation dans ce sous-secteur, au Canada. Encore moins, si l’on se concentre uniquement sur les dynamiques de collaboration. C’est dans cet objectif, dresser un portrait de la recherche collaborative du sous-secteur matériel des TIC au Canada, que ce mémoire a été réalisé.

Afin d’atteindre cet objectif, une recherche descriptive a été conduite à l’aide de données secondaires. Ces données se séparent en deux types: de l’information sur le financement de projets collaboratifs de recherche et de l’information bibliométrique de co-publication. L’information de financement provient de deux sources, le CRSNG et MITACS. Au final, on a obtenu 9568 projets annuels CRSNG dans le secteur matériel des TIC, impliquant 725 chercheurs. Du côté MITACS, on a dénombré 423 projets annuels concernant l’aspect matériel des TIC. Les données bibliométriques, quant à elles, proviennent de la base de données *Web of Science*. Elles ont permis d’identifier 12 167 articles.

Grâce à une première analyse de ces données, l’évolution globale de la collaboration a pu être dégagée. D’abord, l’augmentation des projets collaboratifs de recherche montre l’impact des initiatives gouvernementales visant à encourager ces pratiques. Cette tendance est également remarquée pour les projets spécifiques du secteur matériel des TIC, autant au niveau CRSNG que MITACS. De manière plus significative, l’évolution des projets de collaboration entre chercheurs

universitaires et organisations est d'autant plus grande. Cependant, l'augmentation des projets de ce type (universités-industrie) s'est accompagnée d'une diminution du financement moyen de ceux-ci.

En second lieu, on a étudié de manière plus approfondie, à l'aide de l'analyse de réseaux sociaux, le réseau de collaboration universitaire CRSNG, du secteur matériel. On a pu réaliser, en observant le nombre de composantes distinctes, que le réseau est grandement fragmenté. Effectivement, sa composante principale est loin de représenter la majorité des chercheurs avec uniquement 20% d'entre eux, environ. Cependant, cette composante affiche les propriétés de petit-monde signifiant une structure optimale pour la diffusion de connaissances et le partage d'informations. La deuxième plus grande composante du réseau n'affiche pas ces propriétés.

Sur ce même réseau, on a pu voir l'impact des collaborations avec l'industrie. L'aspect de fragmentation est grandement diminué lorsqu'on considère l'ajout de ces liens. En effet, la taille de la composante principale a significativement augmenté. L'impact immédiat s'est également traduit par une augmentation de la variable de petit-monde *SW*. Ainsi, une meilleure communication est potentiellement réalisable via la connexion aux organisations. Ces dernières ont un pouvoir de liaison dans le réseau, comme ont pu le démontrer les mesures de centralité. À ce niveau, on a observé la montée en force des firmes, d'un point de vue de centralité, aux dépens des organisations gouvernementales qui s'effacent sensiblement dans le réseau.

Lorsqu'on remplace les chercheurs universitaires par leur université d'affiliation, on voit se démarquer des acteurs. Effectivement, l'université de Colombie-Britannique montre une position de centralité dominante (à tous les niveaux) alors qu'il y a quelques années, les institutions ontariennes, l'université de Toronto et l'université de Waterloo donnaient le pas.

D'autre part, dans le réseau de collaboration MITACS, le portrait est différent. Ici, on retrouve une prédominance d'acteurs québécois, au niveau des organisations utilisant le plus cette ressource de financement de projets de recherche. Qui plus est, la partie industrielle de ces organisations fait majoritairement partie de la grappe québécoise en aérospatiale. Cela démontre, une fois de plus, la grande variété d'applications des technologies de l'information et des communications. Au niveau des universités, celles du Québec, Polytechnique Montréal et l'université McGill, montrent une participation active avec une grande centralité de degré. Cependant, une des limites de recherche importante, ici, est l'identification des projets du secteur

matériel. Nous avons dû utiliser la liste des chercheurs préalablement identifiés dans le financement CRSNG mais cela engendre une multiplication de l'incertitude initiale de la mesure. Il faudrait que MITACS augmente la granularité de sélection et de caractérisation des projets afin de dresser un portrait plus fidèle.

Troisièmement, l'analyse de réseaux sociaux a également été menée sur les liens de co-publications de nos chercheurs du secteur matériel des TIC. L'évolution du réseau de collaboration a montré l'apparition de la structure de petit-monde dans la période 2008-2014.

Lorsqu'on a regardé la correspondance entre la collaboration ayant lieu dans le financement et celle de co-publication, nous n'avons pas pu établir de lien direct entre les deux. Cette avenue devra être explorée dans de futurs travaux.

Enfin, une analyse de convergence, réalisée sur les données de financement CRSNG, a indiqué une augmentation absolue du nombre de liens entre les chercheurs du secteur matériel et ceux du secteur logiciel. Par contre, ce type de lien a diminué en valeur relative. De plus, la composition du réseau montre une croissance de la part des chercheurs du secteur matériel dans le réseau pouvant mener à l'hypothèse que ce secteur est plus demandant au niveau du financement public de la recherche.

En résumé, on a pu confirmer trois sous-hypothèses, celles concernant la présence de structure de petit-monde dans les réseaux de collaboration. En effet, il a été formellement établi que la structure petit-monde caractérise le réseau de collaboration, dans le financement CRSNG. Cela confirme la première sous-hypothèse. Ensuite, on a identifié, à nouveau, les propriétés d'une structure petit-monde dans le réseau de collaboration provenant des liens de co-publications. Cette observation confirme la seconde sous-hypothèse. Enfin, la troisième sous-hypothèse est confirmée par la résilience des structures petit-monde dans nos réseaux. L'évolution temporelle montre qu'elle ne disparaît pas, ni ne s'amenuise, au fil du temps. La deuxième hypothèse, celle concernant la convergence dans le réseau de collaboration, n'est pas confirmée. On recommande davantage de travail et d'analyse sur le sujet afin de se prononcer.

Ce mémoire apporte plus de questions que de réponses et c'est voulu. Effectivement, les résultats trouvés ici peuvent être la prémissse de prochains travaux. La dernière sous-section de ce mémoire présente les limites de la recherche et les recommandations de travaux futurs basés sur nos observations.

5.1 Limites de recherche et propositions de travaux futurs

Les limites de cette recherche sont multiples. D'abord, celle qui semble la plus épineuse est l'identification des chercheurs et des projets du secteur matériel des TIC. Nous pensons que la méthode actuelle comporte un degré d'incertitude pouvant être amélioré. Certains chercheurs, identifiés comme faisant partie du secteur matériel des TIC, participent à des projets MITACS qui sont classés dans la catégorie Technologie, par exemple, ce qui ne fait pas partie de la famille des TIC, selon eux. Aussi, dans la sélection des projets CRSNG, on englobe peut-être trop ou pas assez de chercheurs dans notre catégorisation du secteur matériel. Une analyse par mot-clé des titres et des résumés des projets (parfois disponibles) pourrait être complémentaire. Ou bien, sans fournir de liste de chercheurs, on pourrait extraire tous les articles de Web of Science et choisir les articles pertinents au domaine avec des chercheurs ayant une affiliation au Canada.

Une autre limite, qui concerne les données bibliométriques cette fois-ci, provient des étapes de nettoyage. Ici aussi, il est difficile et fastidieux d'appliquer une définition stricte de secteur à une quantité aussi grande d'articles. Cette étape est aussi dépendante du niveau de connaissances du chercheur dans le sujet, afin de déterminer si les articles sont pertinents. Il y a donc présence de bruit dans le réseau dû aux liens d'articles qui ne devraient pas s'y retrouver. Une analyse des articles par mots-clés rajouterait quelques étapes mais permettrait d'atténuer ce bruit (Ding, Chowdhury et Foo, 2001).

La méthode employée dans ce mémoire permet la comparaison des liens de collaboration des mêmes chercheurs dans les réseaux de financement et de co-publication. Une deuxième phase nécessaire consiste désormais à considérer tous les liens de co-publication des auteurs, même avec des chercheurs ne figurant pas sur la liste établie. Cela permettrait d'observer, par exemple, si deux chercheurs du secteur matériel des TIC au Canada, n'ayant pas de liens de co-publications entre eux, sont tous deux reliés à un autre chercheur se trouvant ailleurs dans le monde. Ce lien indirect rend possible une forme de diffusion de connaissances qui n'est pas considérée en ce moment dans ce travail.

Une des critiques de la méthodologie utilisée lors de la caractérisation du réseau de collaboration CRSNG entre les chercheurs et les organisations vient du fait que l'on compare des acteurs de nature différente (individu versus des organisations). L'argument étant que ces acteurs ne peuvent être mis sur le même plan et que plusieurs individus sont représentés par les nœuds des

organisations. Il est vrai que l'idéal serait de remplacer les nœuds des organisations par les chercheurs individuels qui travaillent dans celles-ci. Or, nous n'avons pas cette information. Ce faisant, nous estimons qu'en considérant une certaine unité et une communication efficace de l'information à l'intérieur des organisations, il est vraisemblable de penser que les organisations agissent de manière cohérente dans leurs choix de partenariat. D'autre part, en comparant les organisations entre elles et les chercheurs universitaires entre eux, on ne mélange pas la nature des acteurs, même s'ils font partie du même réseau.

Évidemment, il existe ensuite les limites associées à l'analyse par réseaux sociaux. Elle ne permet pas de caractériser la nature des liens de collaboration. C'est pourquoi on recommande de conduire des entrevues sur le terrain. Aussi, les liens utilisés, c'est-à-dire le financement et la co-publication, ne capture qu'une portion de la collaboration. Il faut donc être prudent avec l'utilisation du terme collaboration car on ne la sonde qu'en partie (Katz et Martin, 1997a). Sinon, lorsque les données sont fiables et propres, on considère que l'analyse de réseaux sociaux est une technique puissante qui permet d'analyser une importante quantité d'interactions et d'en dégager d'intéressantes conclusions.

Pour faire suite à ce travail de recherche, il serait intéressant de pousser l'analyse du réseau de co-publications en regardant celles qui proviennent d'une collaboration universités-industrie. Les données en main ne comportent l'affiliation des chercheurs que depuis 2009. De plus, il faudrait considérer tous les liens de co-publications, pas seulement ceux reliant des auteurs de la liste CRSNG ensemble. Cette étude pourrait être complémentaire à une analyse approfondie des liens de co-inventions sur les brevets. D'ailleurs, cette étape débutera dès l'automne prochain (septembre 2016).

À la base, le travail devait avoir comme focus le secteur matériel des TIC au Québec, en raison des particularités régionales évoquées dans l'introduction. Cependant, il a été jugé préférable d'élargir les horizons de recherche pour le premier pas. Ainsi, dans un second temps, lorsqu'une étude similaire sera réalisée sur la province québécoise, il sera plus aisé de comparer les résultats au portrait national.

Aussi, afin d'avoir une meilleure idée de la présence de convergence dans le milieu de la recherche des TIC au Canada, il faudrait compléter l'analyse sur les données de co-publications.

En reprenant une des limites discutées plus haut, il faudra s'assurer plus rigoureusement de l'affiliation (matériel ou logiciel) des chercheurs.

En parallèle, il faut que le groupe de recherche continue ses démarches d'entrevues sur le terrain. Une fois les réseaux cartographiés, il est important de caractériser les liens de collaborations manière qualitative. C'est seulement ainsi que l'on acquière une compréhension approfondie de l'écosystème et des dessous qui ne paraissent pas dans les données.

En ce moment, les réseaux de collaboration ne considèrent que les liens de collaboration. On a pu identifié les acteurs principaux grâce à des mesures de centralité. Maintenant, à l'aide d'analyses statistiques, il faudrait déterminer si ces mesures ont un effet direct et significatif sur la productivité scientifique. On retrouve ce type d'analyse dans la littérature, il serait possible avec nos données d'aller dans cette direction (Beaudry et Kananian, 2013; Ebadi et Schiffauerova, 2015a). De plus, d'un point de vue de financement, il serait judicieux de voir, plus en détails, l'impact des sommes versées sur la collaboration et la productivité, et non seulement le nombre de liens entre les chercheurs.

En conclusion, ce mémoire a permis, à l'aide d'analyses de réseaux sociaux, d'étudier les interactions de collaboration dans le monde de la recherche du secteur matériel des TIC, au Canada. Il a également souligné les limites correspondant à cette analyse. Ce travail met ainsi la table à une série d'efforts de recherche futurs qui approfondiront la caractérisation et notre compréhension de l'écosystème d'innovation dans ce secteur. En espérant que cela permette au Canada d'augmenter sa base de connaissances sur le sujet et contribue, dans le long terme, à l'orientation diligente de politiques d'innovation et de développement économique.

BIBLIOGRAPHIE

- Abernathy, W. J., & Utterback, J. M. (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 64(7), 254–228.
- Abramo, G., D'Angelo, C. A., & Costa, F. D. (2008). Research collaboration and productivity: is there correlation? *Higher Education*, 57(2), 155–171. <http://doi.org/10.1007/s10734-008-9139-z>
- Acha, V., & Brusoni, S. (2008). The Changing Governance of Knowledge in Avionics. *Economics of Innovation and New Technology*, 17(1-2), 43–57. <http://doi.org/10.1080/10438590701279284>
- Adams, J. D., Black, G. C., Clemons, J. R., & Stephan, P. E. (2005). Scientific teams and institutional collaborations: Evidence from US universities, 1981–1999. *Research Policy*, 34(3), 259–285.
- Ahuja, G. (2000). Collaboration Networks, Structural Holes, and Innovation: A Longitudinal Study. *Administrative Science Quarterly*, 45(3), 425–455. <http://doi.org/10.2307/2667105>
- Ali, A. (1994). Pioneering versus incremental innovation: review and research propositions. *Journal of Product Innovation Management*, 11(1), 46–61.
- Antonelli, C. (1995). The diffusion of new information technologies and productivity growth. *Journal of Evolutionary Economics*, 5(1), 1–17.
- Balconi, M., & Laboranti, A. (2006). University–industry interactions in applied research: The case of microelectronics. *Research Policy*, 35(10), 1616–1630.
- Balland, P.-A., & others. (2009). *Proximity and the evolution of collaboration networks: evidence from R&D projects within the GNSS industry*. Utrecht University, Section of Economic Geography. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/egu/wpaper/0914.html>

- Barabâsi, A.-L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., & Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 311(3), 590–614.
- Baum, J. A., Shipilov, A. V., & Rowley, T. J. (2003). Where do small worlds come from? *Industrial and Corporate Change*, 12(4), 697–725.
- Beaudry, C., & Allaoui, S. (2012). Impact of public and private research funding on scientific production: The case of nanotechnology. *Research Policy*, 41(9), 1589–1606.
- Beaudry, C., & Kananian, R. (2013). Follow the (industry) money—The Impact of science networks and industry-to-university contracts on academic patenting in nanotechnology and biotechnology. *Industry and Innovation*, 20(3), 241–260.
- Ben Letaifa, S., & Rabeau, Y. (2013). Too close to collaborate? How geographic proximity could impede entrepreneurship and innovation. *Journal of Business Research*, 66(10), 2071–2078. <http://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.02.033>
- Bercovitz, J., & Feldman, M. (2011). The mechanisms of collaboration in inventive teams: Composition, social networks, and geography. *Research Policy*, 40(1), 81–93.
- Berger, P. L., & Luckmann, T. (1991). *The social construction of reality: A treatise in the sociology of knowledge*. Penguin UK.
- Bjorkqvist, J., & Virtanen, S. (2006). Convergence of Hardware and Software in Platforms for Radio Technologies. *IEEE Communications Magazine*, 44(11), 52–57. <http://doi.org/10.1109/MCOM.2006.248165>
- Boschma, R. (2005a). Editorial: Role of proximity in interaction and performance: conceptual and empirical challenges. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0034340052000320878>

- Boschma, R. (2005b). Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39(1), 61–74.
- Boschma, R. (2005c). Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies*, 39(1), 61–74. <http://doi.org/10.1080/0034340052000320887>
- Bozeman, B., Fay, D., & Slade, C. P. (2012). Research collaboration in universities and academic entrepreneurship: the-state-of-the-art. *The Journal of Technology Transfer*, 38(1), 1–67. <http://doi.org/10.1007/s10961-012-9281-8>
- Breschi, S., & Catalini, C. (2010). Tracing the links between science and technology: An exploratory analysis of scientists' and inventors' networks. *Research Policy*, 39(1), 14–26.
- Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies “Engines of growth”? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.
- Burt, R. (1992). *S (1992). Structural holes-The social structure of competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Burt, R. S. (2004). Structural holes and good ideas1. *American Journal of Sociology*, 110(2), 349–399.
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business Press.
- Cohendet, P., & Llerena, P. (1997). Learning, technical change and public policy: how to create and exploit diversity. *Edquist, C., Systems of Innovation, Pinter, London and Washington*, 223–241.
- Cohen, W., Florida, R. L., & Goe, W. R. (1994). *University-industry research centers in the United States*. Center for Economic Development, H. John Heinz III School of Public Policy and Management, Carnegie Mellon University.

- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 128–152.
- Cooke, P., Uranga, M. G., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26(4), 475–491.
- Cowan, R., & Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(8), 1557–1575.
- Creating Digital Opportunity | Innovation Policy Lab. (n.d.). Retrieved July 21, 2016, from <http://munkschool.utoronto.ca/ipl/creating-digital-opportunity/>
- Cunningham, S. W., & Werker, C. (2012). Proximity and collaboration in European nanotechnology. *Papers in Regional Science*, 91(4), 723–742.
- Damlencour, R. (2013). Visualisation de graphes. Retrieved July 21, 2016, from http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2012/visualisation_de_graphes/algorithmes.html
- D'Este, P., Guy, F., & Iammarino, S. (2012). Shaping the formation of university–industry research collaborations: what type of proximity does really matter? *Journal of Economic Geography*, lbs010.
- Ding, Y. (2011). Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks. *Journal of Informetrics*, 5(1), 187–203.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2001). Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing & Management*, 37(6), 817–842. [http://doi.org/10.1016/S0306-4573\(00\)00051-0](http://doi.org/10.1016/S0306-4573(00)00051-0)
- Dooley, L., & Kirk, D. (2007). University-industry collaboration: Grafting the entrepreneurial paradigm onto academic structures. *European Journal of Innovation Management*, 10(3), 316–332. <http://doi.org/10.1108/14601060710776734>

- Dundar, H., & Lewis, D. R. (1998). Determinants of research productivity in higher education. *Research in Higher Education*, 39(6), 607–631.
- Ebadi, A., & Schiffauerova, A. (2015a). On the Relation between the Small World Structure and Scientific Activities. *PLoS ONE*, 10(3). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0121129>
- Ebadi, A., & Schiffauerova, A. (2015b). On the relation between the small world structure and scientific activities. *PloS One*, 10(3), e0121129.
- Eslami, H., Ebadi, A., & Schiffauerova, A. (2013). Effect of collaboration network structure on knowledge creation and technological performance: the case of biotechnology in Canada. *Scientometrics*, 97(1), 99–119.
- Fleming, L., King, C., & Juda, A. (2007). Small Worlds and Regional Innovation. *Organization Science*, 18(6), 938–954. <http://doi.org/10.1287/orsc.1070.0289>
- Fleming, L., & Marx, M. (2006). Managing creativity in small worlds. *California Management Review*, 48(4), 6–27.
- Gambardella, A., & McGahan, A. M. (2010). Business-model innovation: General purpose technologies and their implications for industry structure. *Long Range Planning*, 43(2), 262–271.
- Giddens, A. (1979). *Central problems in social theory: Action, structure, and contradiction in social analysis* (Vol. 241). Univ of California Press. Retrieved from <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=jpxkQ-1elyAC&oi=fnd&pg=PP11&dq=giddens+1979&ots=tBNS8nFU0p&sig=lCizdd2zPDZhOl4SAg-njNm9uCE>
- Gilly, J.-P., & Torre, A. (2000). *Dynamiques de proximité*. Editions L'Harmattan.

- Gittelman, M. (2007). Does geography matter for science-based firms? Epistemic communities and the geography of research and patenting in biotechnology. *Organization Science*, 18(4), 724–741.
- Gordon, M. (1980). A critical reassessment of inferred relations between multiple authorship, scientific collaboration, the production of papers and their acceptance for publication. *Scientometrics*, 2(3), 193–201.
- Gould, R. V., & Fernandez, R. M. (1989). Structures of mediation: A formal approach to brokerage in transaction networks. *Sociological Methodology*, 19(1989), 89–126.
- Government of Canada, I. (2014). Canadian ICT Sector Profile – 2014 - Information and Communications Technologies [Reports;Statistical Reports]. Retrieved July 21, 2016, from https://www.ic.gc.ca/eic/site/ict-tic.nsf/eng/h_it07229.html
- Government of Canada, N. S. and E. R. C. of C. (2016, June 28). CRSNG - Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. Retrieved July 20, 2016, from http://www.nserc-crsng.gc.ca/index_fra.asp
- Goyal, S., Van Der Leij, M. J., & Moraga-González, J. L. (2006). Economics: An emerging small world. *Journal of Political Economy*, 114(2), 403–412.
- Graf, H., Krüger, J. J., & others. (2009). The performance of gatekeepers in innovator networks. *Jena Economic Research Papers*, 58. Retrieved from http://www.academia.edu/download/40570483/wp_2009_058.pdf
- Gravel, P. (2015). «Science» dénonce Harper. Retrieved July 20, 2016, from <http://www.ledevoir.com/societe/science-et-technologie/452087/science-un-chercheur-denonce-les-dommages-du-gouvernement-harper>
- Hargadon, A., & Sutton, R. I. (1997). Technology brokering and innovation in a product development firm. *Administrative Science Quarterly*, 716–749.

- Heinze, T., & Bauer, G. (2007). Characterizing creative scientists in nano-S&T: Productivity, multidisciplinarity, and network brokerage in a longitudinal perspective. *Scientometrics*, 70(3), 811–830.
- Howells, J. R. (2002). Tacit knowledge, innovation and economic geography. *Urban Studies*, 39(5-6), 871–884.
- Hubert, M., & Vinck, D. (2012). LA CONVERGENCE ENTRE LOGICIEL ET MATÉRIEL. *Les Masques de La Convergence: Enquêtes Sur Sciences, Industries et Aménagements*, 67.
- Intel. (n.d.). Moteur de l'industrie : les 50 ans de la loi de Moore. Retrieved July 22, 2016, from <http://www.intel.com/content/www/fr/fr/silicon-innovations/moores-law-technology.html>
- Katz, J. (1994). Geographical proximity and scientific collaboration. *Scientometrics*, 31(1), 31–43.
- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997a). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1), 1–18. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00917-1](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1)
- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997b). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1), 1–18. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00917-1](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1)
- Kirat, T., & Lung, Y. (1999). Innovation and proximity territories as loci of collective learning processes. *European Urban and Regional Studies*, 6(1), 27–38.
- Kleinberg, J. M. (2000). Navigation in a small world. *Nature*, 406(6798), 845–845. <http://doi.org/10.1038/35022643>
- Knoben, J., & Oerlemans, L. A. (2006). Proximity and inter-organizational collaboration: A literature review. *International Journal of Management Reviews*, 8(2), 71–89.
- Kogut, B., & Walker, G. (2001). The small world of Germany and the durability of national networks. *American Sociological Review*, 317–335.

- Kraut, R. E., Fussell, S. R., Brennan, S. E., & Siegel, J. (2002). Understanding effects of proximity on collaboration: Implications for technologies to support remote collaborative work. *Distributed Work*, 137–162.
- Kraut, R., Egido, C., & Galegher, J. (1988). Patterns of contact and communication in scientific research collaboration. In *Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work* (pp. 1–12). ACM. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=62267>
- Krebs, V. (2004). An introduction to social network analysis. *Retrieved November, 9, 2004*.
- Landau, R., & Rosenberg, N. (1986). *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. National Academies Press.
- Laudel, G. (2002). What do we measure by co-authorships? *Research Evaluation*, 11(1), 3–15. <http://doi.org/10.3152/147154402781776961>
- Lawani, S. M. (1986). Some bibliometric correlates of quality in scientific research. *Scientometrics*, 9(1-2), 13–25.
- Lee, S., & Bozeman, B. (2005). The Impact of Research Collaboration on Scientific Productivity. *Social Studies of Science*, 35(5), 673–702. <http://doi.org/10.1177/0306312705052359>
- Lee, Y. S. (2000). The Sustainability of University-Industry Research Collaboration: An Empirical Assessment. *The Journal of Technology Transfer*, 25(2), 111–133. <http://doi.org/10.1023/A:1007895322042>
- Liestøl, G. (2007). The dynamics of convergence and divergence in digital domains. *Tanja Storstul & Dagny Stuedahl. Ambivalence towards Convergence. Digitalization and Media Change*. Göteborg: Nordicom. Retrieved from http://www.academia.edu/download/32097041/Convergence_Liestol.pdf

- Malerba, F., & Orsenigo, L. (1996). Technological Regimes and Firm Behaviour. In G. Dosi & F. Malerba (Eds.), *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise* (pp. 42–71). Palgrave Macmillan UK. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-349-13389-5_3
- Marsden, P. V. (1982). Brokerage behavior in restricted exchange networks. *Social Structure and Network Analysis*, 7(4), 341–410.
- Martindale, C. (1995). Creativity and connectionism. *The Creative Cognition Approach*, 249–268.
- Mascolo, C. (n.d.). lecture 1 networks cecilia mascolo - Recherche Google. Retrieved July 21, 2016, from https://www.google.ca/search?q=ggo&rlz=1C5CHFA_enCA523CA527&oq=ggo&aqs=chrome..69i57j0l5.877j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=lecture+1+networks+cecilia+mascolo
- Maskell, P., & Malmberg, A. (1999). Localised learning and industrial competitiveness. *Cambridge Journal of Economics*, 23(2), 167–185.
- Melin, G. (2000). Pragmatism and self-organization: Research collaboration on the individual level. *Research Policy*, 29(1), 31–40.
- Meyer-Krahmer, F., & Schmoch, U. (1998). Science-based technologies: university–industry interactions in four fields. *Research Policy*, 27(8), 835–851. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00094-8](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00094-8)
- Meyer, M., & Persson, O. (1998). Nanotechnology-interdisciplinarity, patterns of collaboration and differences in application. *Scientometrics*, 42(2), 195–205.
- Miège, B., & Vinck, D. (2012). *Les masques de la convergence: enquêtes sur sciences, industries et aménagements*. Archives contemporaines.

- Mitacs]. (2016). [Text]. Retrieved July 20, 2016, from <https://www.mitacs.ca/fr>
- Moodysson, J., & Jonsson, O. (2007). Knowledge collaboration and proximity the spatial organization of biotech innovation projects. *European Urban and Regional Studies*, 14(2), 115–131.
- Narin, F., Stevens, K., & Whitlow, E. (1991). Scientific co-operation in Europe and the citation of multinationally authored papers. *Scientometrics*, 21(3), 313–323.
- Newman, M. E. (2000). Models of the small world. *Journal of Statistical Physics*, 101(3-4), 819–841.
- Newman, M. E. (2004). Fast algorithm for detecting community structure in networks. *Physical Review E*, 69(6), 066133.
- Newman, M. E., Strogatz, S. H., & Watts, D. J. (2001). Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications. *Physical Review E*, 64(2), 026118.
- Nooy, W. de, Mrvar, A., & Batagelj, V. (2011). *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Cambridge University Press.
- OCDE. (2002). ICT Definition - OCDE. Retrieved July 22, 2016, from <http://www.oecd.org/fr/general/resultatsdelarecherche/?q=ICT%20definition&cx=012432601748511391518:xzeadub0b0a&cof=FORID:11&ie=UTF-8>
- OECD. (2014). *OECD Factbook 2014 Economic, Environmental and Social Statistics: Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing.
- OST | Observatoire | Présentation de l'OST. (n.d.). Retrieved July 20, 2016, from <http://www.ost.uqam.ca/fr-ca/observatoire/pr%C3%A9sentationdelost.aspx>
- Pammolli, F., Magazzini, L., & Riccaboni, M. (2011). The productivity crisis in pharmaceutical R&D. *Nature Reviews Drug Discovery*, 10(6), 428–438. <http://doi.org/10.1038/nrd3405>

- Pandza, K., & Holt, R. (2007). Absorptive and transformative capacities in nanotechnology innovation systems. *Journal of Engineering and Technology Management*, 24(4), 347–365.
- Ponds, R., Van Oort, F., & Frenken, K. (2007). The geographical and institutional proximity of research collaboration*. *Papers in Regional Science*, 86(3), 423–443. <http://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2007.00126.x>
- Porter, M. E. (1998). Cluster and the new economics of competition. Retrieved from <http://elibrary.kiu.ac.ug:8080/xmlui/handle/1/507>
- Rao, P. M. (1999). Convergence and unbundling of corporate R&D in telecommunications: is software taking the helm? *Telecommunications Policy*, 23(1), 83–93. [http://doi.org/10.1016/S0308-5961\(98\)00077-9](http://doi.org/10.1016/S0308-5961(98)00077-9)
- Rees, K. (2005). Interregional Collaboration and Innovation in Vancouver's Emerging High-Tech Cluster. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 96(3), 298–312. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2005.00461.x>
- Rosenberg, N., & Nelson, R. R. (1994). American universities and technical advance in industry. *Research Policy*, 23(3), 323–348.
- Rost, K. (2011). The strength of strong ties in the creation of innovation. *Research Policy*, 40(4), 588–604. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2010.12.001>
- Santoro, M. D., & Chakrabarti, A. K. (2002). Firm size and technology centrality in industry–university interactions. *Research Policy*, 31(7), 1163–1180. [http://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00190-1](http://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00190-1)
- Schiffauerova, A., & Beaudry, C. (2012). Collaboration spaces in Canadian biotechnology: A search for gatekeepers. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(2), 281–306.

- Schilling, M. A., & Phelps, C. C. (2004). Small world networks and knowledge creation: implications for multiple levels of analysis. *Available at SSRN 385022*. Retrieved from http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=385022
- Silverstone, R. (1995). Convergence Is a Dangerous Word. *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies*, 1(1), 11–13. <http://doi.org/10.1177/135485659500100102>
- Steyvers, M., & Tenenbaum, J. B. (2005). The Large-scale structure of semantic networks: Statistical analyses and a model of semantic growth. *Cognitive Science*, 29(1), 41–78.
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, 6(1), 33–38.
- Sullivan, B. N., & Tang, Y. (2012). Small-world networks, absorptive capacity and firm performance: evidence from the US venture capital industry. *International Journal of Strategic Change Management*, 4(2), 149–175.
- Uzzi, B., Amaral, L. A., & Reed-Tsochas, F. (2007). Small-world networks and management science research: A review. *European Management Review*, 4(2), 77–91.
- Uzzi, B., & Spiro, J. (2005). Collaboration and creativity: The small world Problem1. *American Journal of Sociology*, 111(2), 447–504.
- Van den Ende, J., & Dolfsma, W. (2005). Technology-push, demand-pull and the shaping of technological paradigms-Patterns in the development of computing technology. *Journal of Evolutionary Economics*, 15(1), 83–99.
- Van Raan, A. (1998). The influence of international collaboration on the impact of research results: Some simple mathematical considerations concerning the role of self-citations. *Scientometrics*, 42(3), 423–428.

- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press.
- Watts, D. J. (1999). Networks, Dynamics, and the Small- World Phenomenon. *American Journal of Sociology*, 105(2), 493–527. <http://doi.org/10.1086/210318>
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, 393(6684), 440–442. <http://doi.org/10.1038/30918>
- Wuchty, S., Jones, B. F., & Uzzi, B. (2007). The increasing dominance of teams in production of knowledge. *Science*, 316(5827), 1036–1039.
- Yan, E., & Ding, Y. (2009). Applying centrality measures to impact analysis: A coauthorship network analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(10), 2107–2118.
- Zeller, C. (2004). North Atlantic innovative relations of Swiss pharmaceuticals and the proximities with regional biotech arenas. *Economic Geography*, 80(1), 83–111.
- Ziman, J. M. (1994). *Prometheus bound*. Cambridge University Press. Retrieved from https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=09UosACeA_cC&oi=fnd&pg=PR7&dq=zman+1994+collaboration&ots=WJUmKBEpOC&sig=d4ygLUDqTGWsya9VU4W7AqAxZo

ANNEXE A - CLASSIFICATION DU SECTEUR MATÉRIEL

Manufacturing: 3000 – Office, accounting and computing machinery; 3130 – Insulated wire and cable; 3210 – Electronic valves and tubes and other electronic components; 3220 – Television and radio transmitters and apparatus for line telephony and line telegraphy; 3230 – Television and radio receivers, sound or video recording or reproducing apparatus and associated goods; 3312 – Instruments and appliances for measuring, checking, testing, navigating and other purposes, except industrial process equipment; 3313 – Industrial process equipment.

ANNEXE B – REVENUS PAR SOUS-SECTEUR DES TIC

Tableau B-1 : Données des revenus, en milliards, par sous-secteurs des TIC au Canada en 2014

ICT Sub-sector	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fabrication	16,06	13,47	11,63	11,96	11,54	9,89	8,59	8,51
Logiciels et services informatiques	38,13	40,88	42,69	43,27	46,66	49,26	52,45	56,72
Services de communications	47,22	50,51	52,3	54,16	56,12	57,61	58,99	61,95
Commerce de gros	32,02	33,41	32,25	34,42	35,96	39,16	38,76	41,84
Total ICT Sector	133,44	138,27	138,87	143,82	150,27	155,72	158,79	169,03

ANNEXE C – LISTE DE CHERCHEURS DU SECTEUR MATÉRIEL SELON LA CLASSIFICATION DU CRSNG

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Aagaard, Mark	University of Waterloo	Lampe, Lutz	University of British Columbia
Aamodt, Tor	University of British Columbia	Landry, JacquesAndré	École de technologie supérieure
Aarabi, Parham	University of Toronto	Lane, Daniel	University of Ottawa
Abidi, Syed	Dalhousie University	Lang, Jochen	University of Ottawa
Abolmaesumi, Purang	Queen's University	Langevin, André	École Polytechnique de Montréal
Abolmaesumi, Purang	University of British Columbia	Langlais, Philippe	Université de Montréal
Aboulhamid, ElMostapha	Université de Montréal	Lantin, Maria	Emily Carr University of Art + Design
Achenbach, Sven	University of Saskatchewan	Lapalme, Guy	Université de Montréal
Adve, Raviraj	University of Toronto	LaPierre, Ray	McMaster University
Affes, Sofiène	Institut national de la recherche scientifique	LaPierre, Raymond	McMaster University
Agard, Bruno	École Polytechnique de Montréal	Laporte, Gilbert	HEC Montréal
Agur, Anne	University of Toronto	Larochelle, Sophie	Université Laval
Ahmadi, Majid	University of Windsor	Laurendeau, Denis	Université Laval
Aiello, William	University of British Columbia	Lauria, Michel	Université de Sherbrooke
Aimez, Vincent	Université de Sherbrooke	Laurin, Jean-Jacques	École Polytechnique de Montréal
AissaJaidi, Sonia	Institut national de la recherche scientifique	Laviolette, François	Université Laval
Aitchison, Stewart	University of Toronto	Le-Ngoc, Tho	McGill University
Ajib, Wessam	Université du Québec à Montréal	Le, Long	Institut national de la recherche scientifique
Alencar, Paulo	University of Waterloo	Lea, Rodger	University of British Columbia
Allison, Robert	York University	Lecours, Michel	Université Laval
Alnuweiri, Hussein	University of British Columbia	Lee, WonSook	University of Ottawa
Altounian, Zaven	McGill University	Lee, YukCheung	University of New Brunswick
Ambainis, Andris	University of Waterloo	Lefebvre, Roch	Université de Sherbrooke
An, Aijun	York University	Légaré, François	Institut national de la recherche scientifique
Anderson, Jason	University of Toronto	Lemieux, Guy	University of British Columbia
Andrews, Mark	McGill University	Lemire, Francis	University of Windsor
Anis, Hanan	University of Ottawa	Lemyre, Louise	University of Ottawa
Aniss, Hasnaâ	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue	LeNgoc, Tho	McGill University
Ansermino, John Mark	University of British Columbia	Leon-Garcia, Alberto	University of Toronto
Antici, Patrizio	Institut national de la recherche scientifique	LeonGarcia, Alberto	University of Toronto
Artiba, Abdelhakim	École de technologie supérieure	Lessard, Roger	Université Laval
Asgary, Ali	York University	Leung, Albert	Simon Fraser University

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Aubert, Benoit	HEC Montréal	Leung, Cyril	University of British Columbia
Aycock, John	University of Calgary	Leung, Debbie	University of Waterloo
Azana, Jose	Institut national de la recherche scientifique	Leung, Henry	University of Calgary
Babin, Gilbert	HEC Montréal	Leung, Victor	University of British Columbia
Badawy, Wael	University of Calgary	Li, Baochun	University of Toronto
Bagheri, Ebrahim	Athabasca University	Li, Paul	Simon Fraser University
Bagheri, Ebrahim	Ryerson University	Li, ZeNian	Simon Fraser University
Bahreyni, Behraad	Simon Fraser University	Liang, Ben	University of Toronto
Bajic, Ivan	Simon Fraser University	Liang, Jie	Simon Fraser University
Bakr, Mohamed	McMaster University	LiboironLadouceur, Odile	McGill University
Balakrishnan, Ravin	University of Toronto	Lie, David	University of Toronto
Ban, Dayan	University of Waterloo	Liebeherr, Jorg	University of Toronto
Bandler, John	McMaster University	Lin, Xiaodong	University of Ontario Institute of Technology
Banzhaf, Wolfgang	Memorial University of Newfoundland	Little, James	University of British Columbia
Bao, Xiaoyi	University of Ottawa	Liu, Jiangchuan	Simon Fraser University
Baptiste, Pierre	École Polytechnique de Montréal	Lo, Hoi-Kwong	University of Toronto
Batani, Naïm	École de technologie supérieure	Lo, HoiKwong	University of Toronto
Bauer, Michael	University of Western Ontario	Lowe, David	University of British Columbia
Baugh, Jonathan	University of Waterloo	Loyka, Sergey	University of Ottawa
Beaudoin, Mario	University of British Columbia	Lu, Zhenguo	University of Ottawa
Beaulieu, Norman	University of Alberta	Lucena, Carlos	University of Waterloo
Beauvais, Jacques	Université de Sherbrooke	Lucena, LiacirdosSantos	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Beck, Christopher	University of Toronto	Lutfiyya, Hanan	University of Western Ontario
Belostotski, Leonid	University of Calgary	Lutkenhaus, Norbert	University of Waterloo
Belzile, Jean	École de technologie supérieure	Lvovsky, Alexander	University of Calgary
Benesty, Jacob	Institut national de la recherche scientifique	MacFarlane, Andrew	University of British Columbia
Bengio, Yoshua	Université de Montréal	Mackworth, Alan	University of British Columbia
Benhabib, Beno	University of Toronto	MacLean, Karon	University of British Columbia
BenYoussef, Belgacem	Simon Fraser University	Madden, John	University of British Columbia
Bergler, Sabine	Concordia University	Madhavji, Nazim	University of Western Ontario
Berini, Pierre	University of Ottawa	Maggiore, Manfredi	University of Toronto
Berry, Alain	Université de Sherbrooke	Magierowski, Sebastian	University of Calgary
Berry, Daniel	University of Waterloo	Maibaum, Thomas	McMaster University
Beznosov, Konstantin	University of British Columbia	Maier, Martin	Institut national de la recherche scientifique
Bhargava, Vijay	University of British Columbia	Majedi, Amir Hamed	University of Waterloo
Bhattacharya, Kankar	University of Waterloo	Major, François	Université de Montréal
Biddle, Robert	Carleton University	Mannor, Shie	McGill University
Bilodeau, GuillaumeAlexandre	École Polytechnique de Montréal	Mansour, Raafat	University of Waterloo

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Blostein, Steven	Queen's University	Marbach, Peter	University of Toronto
Bois, Guy	École Polytechnique de Montréal	Marceau, Danielle	University of Calgary
Bolognesi, Colombo	Simon Fraser University	Marcotte, Patrice	Université de Montréal
Bonn, Douglas	University of British Columbia	Margot, Joëlle	Université de Montréal
Borgeat, Louis	Université Laval	Mark, Jon	University of Waterloo
Bornemann, Jens	University of Victoria	Marsh, Stephen	University of New Brunswick
Borwein, Peter	Simon Fraser University	Marti, Jose	University of British Columbia
Bosisio, Renato	École Polytechnique de Montréal	Martin, Patrick	Queen's University
Bosse, Eloi	Université Laval	Masson, Patrice	Université de Sherbrooke
Bouchard, Martin	University of Ottawa	Matwin, Stan	University of Ottawa
Boucher, Simon	Cégep de Trois-Rivières	Matwin, Stan	Dalhousie University
Bouguila, Nizar	Concordia University	Matwin, Stanislaw	University of Ottawa
Boukerche, Azzedine	University of Ottawa	Mazumdar, Ravi	University of Waterloo
Boumaiza, Slim	University of Waterloo	McAdams, Stephen	McGill University
Boutilier, Craig	University of Toronto	McCarthy, Daniel	University of Waterloo
Boyd, Jeffrey	University of Calgary	McGrenere, Joanna	University of British Columbia
Boyd, Robert	University of Ottawa	McHugh, John	Dalhousie University
Brassard, Gilles	Université de Montréal	McMullin, James	University of Alberta
Bridges, Gregory	University of Manitoba	McNamara, Derek	University of Ottawa
Brohman, Kathryn	Queen's University	Medjeldi, Tayeb	Cégep de Trois-Rivières
Broucke, Mireille	University of Toronto	Mehmet Ali, Mustafa	Concordia University
Brown, Edward	Memorial University of Newfoundland	Mehrandezh, Mehran	University of Regina
Brown, Stephen	University of Toronto	Meldrum, Alkiviathes	University of Alberta
Bryant, Tim	Queen's University	Memisevic, Roland	Université de Montréal
Bryant, Timothy	Queen's University	Ménard, David	École Polytechnique de Montréal
Buchanan, Douglas	University of Manitoba	Menezes, Alfred	University of Waterloo
Buhr, Peter	University of Waterloo	Menon, Carlo	Simon Fraser University
Bui, Tien	Concordia University	Mermelstein, Paul	Institut national de la recherche scientifique
Burch, Kenneth	University of Toronto	Messaddeq, Younés	Université Laval
Cai, Lin	University of Victoria	Messier, Geoffrey	University of Calgary
Caloz, Christophe	École Polytechnique de Montréal	Mi, Zetian	McGill University
Cannon, Elizabeth	University of Calgary	Michalowski, Wojtek	University of Ottawa
Cardinal, Christian	École Polytechnique de Montréal	Michaud, François	Université de Sherbrooke
Cartledge, John	Queen's University	Michelson, David	University of British Columbia
Cavers, James	Simon Fraser University	Mihailidis, Alex	University of Toronto
Cercone, Nick	Dalhousie University	Milios, Evangelos	Dalhousie University
Cercone, Nick	York University	Miller, James	University of Alberta
ChaibDraa, Brahim	Université Laval	Mills, James	University of Toronto
Chaker, Mohamed	Institut national de la recherche scientifique	Mirabbasi, Shahriar	University of British Columbia
Champagne, Alexandre	Concordia University	Miri, Ali	University of Ottawa

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Champagne, Benoit	McGill University	Miri, Ali	Ryerson University
Chan, Wai-Yip (Geoffrey)	Queen's University	Misic, Jelena	University of Manitoba
Chan, Warren	University of Toronto	Misic, Jelena	Ryerson University
Charlebois, Serge	Université de Sherbrooke	Moisan, Christian	Université Laval
Chartrand, Pascal	Université de Montréal	Möller, Torsten	Simon Fraser University
Chau, Kenneth	University of British Columbia	Mooney, Patricia	Simon Fraser University
Chaudhuri, Sujeet	University of Waterloo	Morandotti, Roberto	Institut national de la recherche scientifique
Chen, Lawrence	McGill University	Moreau, Denis	Cégep de Trois-Rivières
Chen, Mark	Queen's University	Mori, Gregory	Simon Fraser University
Chen, Pu	University of Waterloo	Morissette, JeanClaude	Cégep de Trois-Rivières
Cheriet, Mohamed	École de technologie supérieure	Mosca, Michele	University of Waterloo
Cherkaoui, Omar	Université du Québec à Montréal	Moshovos, Andreas	University of Toronto
Cheung, Karen	University of British Columbia	Mouftah, Hussein	Queen's University
Chiasson, Sonia	Carleton University	Mouftah, Hussein	University of Ottawa
Chignell, Mark	University of Toronto	Mousavi, Parvin	Queen's University
Chouinard, JeanYves	Université Laval	Mudur, Sudhir	Concordia University
Chrostowski, Lukas	University of British Columbia	Mudur, Sudhir Pandurang	Concordia University
Chung, Joon	Ryerson University	Munzner, Tamara	University of British Columbia
Clark, James	McGill University	Murphy, Stephen	University of Waterloo
Clarke, Charles	University of Waterloo	Muscedere, Roberto	University of Windsor
Claude, Stephane Marie	University of Victoria	Mylopoulos, John	University of Toronto
Cleve, Richard	University of Calgary	Nachman, Adrian	University of Toronto
Coates, Mark	McGill University	Nasiopoulos, Panos	University of British Columbia
Coleman, David	University of New Brunswick	Nathan, Arokia	University of Waterloo
Cooperstock, Jeremy	McGill University	Nault, Barrie	University of Calgary
Courchesne, Luc	Université de Montréal	Nayak, Amiya	University of Ottawa
Courtois, Bertrand	Information Technology Association of Canada	Nayak, Ashwin	University of Waterloo
Courville, Aaron	Université de Montréal	Nedil, Mourad	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
Covvey, Dominic	University of Waterloo	Nejat, Goldie	University of Toronto
Cowan, Donald	University of Waterloo	Nerguzian, Chahé	École Polytechnique de Montréal
Crépeau, Claude	McGill University	Neville, Stephen	University of Victoria
Croft, Elizabeth	University of British Columbia	Nicolici, Nicola	McMaster University
Cui, Bo	University of Waterloo	Nie, JianYun	Université de Montréal
Damen, Mohamed Oussama	University of Waterloo	Nieva, Patricia	University of Waterloo
DAngiulli, Amedeo	Carleton University	Nikolova, Natalia	McMaster University
Dansereau, Richard	Carleton University	Noghanian, Sima	University of Manitoba
Darmon, Henri	McGill University	Nojeh, Alireza	University of British Columbia
Debbabi, Mourad	Concordia University	Nowrouzian, Behrooz	University of Alberta

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
DeBruin, Hubert	McMaster University	Nussbaum, Doron	Carleton University
DeCorby, Raymond	University of Alberta	OKeefe, Kyle	University of Calgary
DeFreitas, Joao(Nando)	University of British Columbia	Okoniewski, Michal	University of Calgary
Delisle, Gilles	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Okros, Alan	Royal Military College of Canada
Delisle, Gilles	University of Ottawa	OShaughnessy, Douglas	Institut national de la recherche scientifique
Denidni, Ahmed Tayeb	Institut national de la recherche scientifique	Ozaki, Tsuneyuki	Institut national de la recherche scientifique
Denidni, Tayeb	Institut national de la recherche scientifique	Pal, Christopher	École Polytechnique de Montréal
Denzinger, Joerg	University of Calgary	Pan, Jianping	University of Victoria
Depalle, Philippe	McGill University	Panangaden, Prakash	McGill University
Despins, Charles	Institut national de la recherche scientifique	Parameswaran, Meenakshinathan	Simon Fraser University
Despins, Charles	PROMPT- Quebec	Parrott, Lael	Université de Montréal
Despins, Charles	École de technologie supérieure	Patel, Hiren	University of Waterloo
Desrosiers, Christian	École de technologie supérieure	Patel, Hiren D.	University of Waterloo
Devillers, Rodolphe	Memorial University of Newfoundland	Patera, Jiri	Université de Montréal
Dexter, Albert	University of British Columbia	Patterson, Raymond	University of Alberta
Diamond, Sara	Ontario College of Art & Design	Payandeh, Shahram	Simon Fraser University
Diamond, Sara	OCAD University	Payeur, Pierre	University of Ottawa
Dick, Scott	University of Alberta	Pedrycz, Witold	University of Alberta
Dickinson, Sven	University of Toronto	Pellerin, Robert	École Polytechnique de Montréal
Dill, John	Simon Fraser University	Pen, UeLi	University of Toronto
Dimitrov, Vassil	University of Calgary	Peng, Qingjin	University of Manitoba
DIorio, Marie	National Research Council of Canada	Penn, Gerald	University of Toronto
Dodelet, JeanPol	Institut national de la recherche scientifique	Perry, Mark	University of Western Ontario
Doherty, Sean	Wilfrid Laurier University	Peters, Joseph	Simon Fraser University
Dong, Min	University of Ontario Institute of Technology	Petovello, Mark	University of Calgary
Dong, Xiaodai	University of Alberta	Petriu, Emil	University of Ottawa
Dong, Xiaodai	University of Victoria	Pignolet, Alain	Institut national de la recherche scientifique
Doran, Diane	University of Toronto	Plant, David	McGill University
Drouin, Dominique	Université de Sherbrooke	Plataniotis, Konstantinos	University of Toronto
Dssouli, Rachida	Concordia University	Pouliot, André	Cégep de Trois-Rivières
Dubois, Eric	University of Ottawa	Power, William	University of Waterloo
Dubrowski, Adam	University of Toronto	Precup, Doina	McGill University
Dumont, Guy	University of British Columbia	Pulfrey, David	University of British Columbia
Dumouchel, Pierre	École de technologie supérieure	Qian, Li	University of Toronto
Dumouchel, Pierre	Centre de recherche informatique de Montréal	Quaegebeur, Nicolas	Université de Sherbrooke
Dupont, Benoit	Université de Montréal	Rad, Ahmad	Simon Fraser University
Dziong, Zbigniew	École de technologie supérieure	RamirezSerrano, Alejandro	University of Calgary

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Eck, Douglas	Université de Montréal	Rancourt, Denis	Université Laval
Eckford, Andrew	York University	Razzari, Luca	Institut national de la recherche scientifique
Elbiaze, Halima	Université du Québec à Montréal	Reformat, Marek	University of Alberta
Eleftheriades, George	University of Toronto	Renaud, François	Cégep de Trois-Rivières
ElGamal, Mourad	McGill University	Rensink, Ronald	University of British Columbia
Ellis, Randy	Queen's University	Riopel, Diane	École Polytechnique de Montréal
ElSaddik, Abdulmotaleb	University of Ottawa	Ripeanu, Matei	University of British Columbia
ElSheimy, Naser	University of Calgary	Rose, George	Memorial University of Newfoundland
Enns, James	University of British Columbia	Rose, Richard	McGill University
Enright Jerger, Natalie	University of Toronto	Rosei, Federico	Institut national de la recherche scientifique
Erkut, Erhan	University of Alberta	Rosenberg, Catherine	University of Waterloo
Fafard, Mario	Université Laval	Roth, Gerhard	National Research Council of Canada
Fair, Ivan	University of Alberta	Roy, Sébastien	Université Laval
Fapojuwo, Abraham	University of Calgary	Roy, Sébastien	Université de Montréal
Farooq, Mohamad	Royal Military College of Canada	Ruda, Harry	University of Toronto
Fels, Deborah	Ryerson University	Rudan, John	Queen's University
Fels, Sidney	University of British Columbia	Ruediger, Andreas	Institut national de la recherche scientifique
Ferbeyre, Gerardo	Université de Montréal	Rusch, Leslie	Université Laval
Ferguson, Sean	McGill University	Sabourin, Robert	École de technologie supérieure
Fernandez, José Manuel	École Polytechnique de Montréal	Sachdev, Manoj	University of Waterloo
Fichtinger, Gabor	Queen's University	Sachrajda, Andrew	Université de Sherbrooke
Fisher, Brian	Simon Fraser University	Sack, JorgRüdiger	Carleton University
Fleming, Michael	University of New Brunswick	Saeedi, ParvanehAkhtar	Simon Fraser University
Folk, Joshua	University of British Columbia	Safavi-Naeini, Safieddin	University of Waterloo
Fong, Philip	University of Regina	Salami, Redwan	Université de Sherbrooke
Fong, Philip	University of Calgary	Samaan, Nancy	University of Ottawa
Fortier, Paul	Université Laval	Samson, Réjean	École Polytechnique de Montréal
Fortier, Paul	Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies	Sanchez, Otto	University of Ontario Institute of Technology
Fortin, André	École Polytechnique de Montréal	Sanders, Barry	University of Calgary
Fortin, Michel	Université Laval	Sargent, Edward	University of Toronto
Frayret, JeanMarc	École Polytechnique de Montréal	Sargent, Edward(Ted)	University of Toronto
Fréchette, Luc	Université de Sherbrooke	Sarris, Costas	University of Toronto
Freeman, Mark	University of Alberta	Sarshar, Nima	University of Regina
Frigon, Jean-François	École Polytechnique de Montréal	Savard, Gilles	École Polytechnique de Montréal
Fujinaga, Ichiro	McGill University	Savaria, Yvon	École Polytechnique de Montréal
Fung, Benjamin	Concordia University	Sawan, Mohamad	École Polytechnique de Montréal

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Gagnon, François	École de technologie supérieure	Sazonov, Andrei	University of Waterloo
Ganesan, Rajamohan	Concordia University	Scavone, Gary	McGill University
Gao, Yang	University of Calgary	Scheidler, Renate	University of Calgary
Gao, Yang	Brandon University	Schietekatte, François	Université de Montréal
Garg, Siddharth	University of Waterloo	Schlegel, Christian	University of Alberta
Gasevic, Dragan	Athabasca University	Schober, Robert	University of British Columbia
Gates, Byron	Simon Fraser University	Schriemer, Henry	University of Ottawa
Gazor, Saeed	Queen's University	Schwartz, Howard	Carleton University
Gendreau, Michel	Université de Montréal	Sebak, Abdel	Concordia University
Georganas, Nicolas	University of Ottawa	Seffah, Ahmed	Concordia University
Ghannouchi, Fadhel	University of Calgary	Sergio, Lauren	York University
Gharbi, Ali	École de technologie supérieure	Servati, Peyman	University of British Columbia
Ghasemi, Amir	Industry Canada	Shafai, Cyrus	University of Manitoba
Ghorbani, Aliakbar	University of New Brunswick	Shafai, Lotfollah	University of Manitoba
Ghrayeb, Ali	Concordia University	Shahbazpanahi, Shahram	University of Ontario Institute of Technology
Girard, André	Institut national de la recherche scientifique	Shaw, Christopher	Simon Fraser University
Gittens, Mechelle	University of Western Ontario	Shen, Xuemin(Sherman)	University of Waterloo
Glässer, Uwe	Simon Fraser University	Shen, XueminSherman	University of Waterloo
Glasgow, Janice	Queen's University	Shirmohammadi, Shervin	University of Ottawa
Glitho, Roch	Concordia University	Sigurdson, Kris	University of British Columbia
Godbout, Nicolas	École Polytechnique de Montréal	Singh, Karan	University of Toronto
Godin, Guy	National Research Council of Canada	Sipe, John	University of Toronto
Golnaraghi, Farid	Simon Fraser University	Sivoththaman, Sivanarayana(Siva)	University of Waterloo
Gong, Guang	University of Waterloo	Siwick, Bradley	McGill University
Gopalakrishnan, Sathish	University of British Columbia	Skone, Susan	University of Calgary
Gordon, Reuven	University of Victoria	Smith, Michael	University of Calgary
Gosselin, Clément	Université Laval	Smith, Peter	University of Toronto
Gottesman, Daniel	University of Waterloo	Sokolova, Marina	University of Ottawa
Goubran, Rafik	Carleton University	Somayaji, Anil	Carleton University
Goulet, Steven	Cégep de Trois-Rivières	Song, Wei	University of New Brunswick
Granger, Éric	École de technologie supérieure	Soriano, Patrick	HEC Montréal
Gray, Bonnie	Simon Fraser University	Stanyon, Wendy	University of Ontario Institute of Technology
Gregoire, JeanCharles	Institut national de la recherche scientifique	Steffan, Gregory	University of Toronto
Grenier, Dominic	Université Laval	Steffan, J. Gregory	University of Toronto
Grutter, Peter	McGill University	Steffan, John	University of Toronto
Gruver, William	Simon Fraser University	Steinberg, Aephraim	University of Toronto
Guan, Ling	Ryerson University	Stelmach, Lew	Industry Canada
Guastavino, Catherine	McGill University	Steuerman, David	University of Victoria

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Guergachi, Aziz	Ryerson University	Stevenson, Suzanne	University of Toronto
Gupta, Kamal	Simon Fraser University	StHilaire, Marc	Carleton University
Habib, Ayman	University of Calgary	Stinson, Douglas	University of Waterloo
Haccoun, David	École Polytechnique de Montréal	Stoeber, Boris	University of British Columbia
Hafid, Abdelhakim	Université de Montréal	Stojmenovic, Ivan	University of Ottawa
Hakem, Nadir	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Storey, MargaretAnne	University of Victoria
Hall, Trevor	University of Ottawa	Striakhilev, Denis	University of Waterloo
Hamel, John	University of Waterloo	Striakhilev, Denis	Foreign Organization
Haque, Emdad	University of Manitoba	Stuerzlinger, Wolfgang	York University
Hasan, Anwarul	University of Waterloo	Succi, Giancarlo	University of Alberta
Hassanein, Hossam	Queen's University	Suen, Ching	Concordia University
Hatzinakos, Dimitrios	University of Toronto	Sundaram, Shreyas	University of Waterloo
Haugen, Christopher	TRLabs	Sutton, Richard	University of Alberta
Haugen, Christopher	University of Alberta	Swamy, Srikantha	Concordia University
Hawrylak, Pawel	University of Ottawa	Szczecinski, Leszek	Institut national de la recherche scientifique
Hay, Allan	McGill University	Tabrizian, Maryam	McGill University
Hayden, Michael	Simon Fraser University	Tahar, Sofiène	Concordia University
Hayden, Patrick	McGill University	Tahvildari, Ladan	University of Waterloo
Hayward, Vincent	McGill University	Takahata, Kenichi	University of British Columbia
He, Yifeng	Ryerson University	Talbi, Larbi	Université du Québec en Outaouais
Hébert, Patrick	Université Laval	Tapp, Alain	Université de Montréal
Hefeeda, Mohamed	Simon Fraser University	Tatu, Serioja	Institut national de la recherche scientifique
Hegmann, Torsten	University of Manitoba	Tellambura, Chinthia	University of Alberta
Heidrich, Wolfgang	University of British Columbia	Thibeault, Claude	École de technologie supérieure
Helaoui, Mohamed	University of Calgary	Thomas, Gabriel	University of Manitoba
Helmy, Amr	University of Toronto	Tiedje, Thomas	University of British Columbia
Henderson, Janet	McGill University	Tittel, Wolfgang	University of Calgary
Henriques, Denise	York University	Toman, David	University of Waterloo
Heywood, Malcolm	Dalhousie University	Tory, Melanie	University of Victoria
Hilke, Michael	McGill University	Traore, Issa	University of Victoria
Hinton, Geoffrey	University of Toronto	Traube, Caroline	Université de Montréal
Hinzer, Karin	University of Ottawa	Trefler, Richard	University of Waterloo
Hirst, Graeme	University of Toronto	Tremblay, Christine	École de technologie supérieure
Ho, Paul	Simon Fraser University	Trépanier, Martin	École Polytechnique de Montréal
Ho, Pin-Han	University of Waterloo	Turetken, Ozgur	Ryerson University
Hoeber, Orland	University of Regina	Turner, Laurence	University of Calgary
Hoeber, Orland	Memorial University of Newfoundland	Ulieru, Mihaela	University of New Brunswick
Hoefer, Wolfgang	University of Victoria	Ulieru, Mihaela	Carleton University
Holzman, Jonathan	University of British Columbia	Uysal, Murat	University of Waterloo

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Hoos, Holger	University of British Columbia	Valaee, Shahrokh	University of Toronto
Hossain, Ekram	University of Manitoba	Valizadeh, Pouya	Concordia University
HosseiniAbardeh, Mojtaba	Magor Communications Corp.	Valter Mcconville, Kristiina	Ryerson University
Hoyer, Peter	University of Calgary	Van Veggel, Frank	University of Victoria
Hranilovic, Steve	McMaster University	Vanderlinde, Keith	University of Toronto
Huang, Weiping	McMaster University	VanOorschot, Paul	Carleton University
Huang, Xiangji(Jimmy)	York University	VanVeggel, Frank	University of Victoria
Hum, Sean	University of Toronto	Vaughan, Richard	Simon Fraser University
Hung, Patrick	University of Ontario Institute of Technology	Vaughan, Rodney	Simon Fraser University
Ibnkahla, Mohamed	Queen's University	Vengallatore, Srikanth	McGill University
Inkpen, Diana	University of Ottawa	Venkatesh, Bala	Ryerson University
Inkpen, Kori	Dalhousie University	Vickers, Richard	McGill University
Irani, Pourang	University of Manitoba	Vincent, Pascal	Université de Montréal
Ivanov, André	University of British Columbia	Voinigescu, Sorin	University of Toronto
Jaeger, Nicolas	University of British Columbia	VonBochmann, Gregor	University of Ottawa
Janssen, Jeannette	Dalhousie University	Wagner, AlanShelton	University of British Columbia
Jatskevich, Juri	University of British Columbia	Walus, Konrad	University of British Columbia
Jaumard, Brigitte	Concordia University	Wanderley, Marcelo	McGill University
Jepson, Allan	University of Toronto	Wang, Chun	Concordia University
Johnston, Ronald	University of Calgary	Wang, Jane	University of British Columbia
Joslin, Chris	Carleton University	Wang, Ke	Simon Fraser University
Joslin, Christopher	Carleton University	Wang, Lingyu	Concordia University
Jousselme, AnneLaure	National Defence	Wang, Zhou	University of Waterloo
Jullien, Graham	University of Calgary	Ward, Rabab	University of British Columbia
Juncker, David	McGill University	Warfield, Andrew	University of British Columbia
Jurisica, Igor	University of Toronto	Watkins, Simon	Simon Fraser University
Kabanza, Frouduald	Université de Sherbrooke	Watrous, John	University of Waterloo
Kaminska, Bozena	Simon Fraser University	Weddell, Grant	University of Waterloo
Kandil, Nahi	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Weihs, Gregor	University of Waterloo
Karanassios, Vassili	University of Waterloo	Weiskopf, Daniel	Simon Fraser University
Karmouch, Ahmed	University of Ottawa	Whitehead, Lorne	University of British Columbia
Karray, Fakhreddine	University of Waterloo	Whitesides, Sue	University of Victoria
Karsten, Martin	University of Waterloo	Wilhelm, Frank	University of Waterloo
Kasap, Safa	University of Saskatchewan	Williams, Hugh	University of Calgary
Kashyap, Raman	École Polytechnique de Montréal	Williams, Robin	University of Ottawa
Katchabaw, Michael	University of Western Ontario	Williamson, Carey	University of Calgary
Kavanagh, Karen	Simon Fraser University	Wilton, Steven	University of British Columbia
Kenny, Patrick	Centre de recherche informatique de Montréal	Wolf, Michael	University of British Columbia
Kersten, Gregory	University of Ottawa	Wong, Vincent	University of British Columbia

Chercheur	Affiliation	Chercheur	Affiliation
Keselj, Vlado	Dalhousie University	Woodcock, Kathryn	Ryerson University
Khandani, Amir	University of Waterloo	Woszczyk, Wieslaw	McGill University
Keyvan			
Khendek, Ferhat	Concordia University	Wu, Ke	École Polytechnique de Montréal
Khoury, Richard	Lakehead University	Wu, Kui	University of Victoria
KIEFFER, Jean-Claude	Partnership Group for Science and Engineering	Wu, Xiaolin	McMaster University
Kim, Il-Min	Queen's University	Yagoub, Mustapha	University of Ottawa
Kingstone, Alan	University of British Columbia	Yam, SzeHong (Scott)	Queen's University
Kirk, Andrew	McGill University	Yang, EnHui	University of Waterloo
Kirubarajan, Thia	McMaster University	Yang, Oliver	University of Ottawa
Klymyshyn, David	University of Saskatchewan	Yang, XueDong	University of Regina
Knight, Scott	Royal Military College of Canada	Yao, Jianping	University of Ottawa
Knoefel, Frank	Carleton University	Yao, Yiyu	University of Regina
Knoefel, Frank	Elisabeth Bruyère Hospital	Yeh, ChiHsiang	Queen's University
Kosseim, Leila	Concordia University	Yelon, Arthur	École Polytechnique de Montréal
Kotak, Dilip	National Research Council of Canada	Yeow, Tze-wei	University of Waterloo
Kotak, Dilip	Simon Fraser University	Young, Jeff	University of British Columbia
Kouki, Ammar	École de technologie supérieure	Youssef, Amr	Concordia University
Krasic, Charles	University of British Columbia	Yu, Eric	University of Toronto
Krishnamurthy, Vikram	University of British Columbia	Yu, Wei	University of Toronto
Kropf, Peter	Université de Montréal	Zatorre, Robert	McGill University
Kropf, Peter	Université de Neuchâtel	Zemel, Richard	University of Toronto
Kryzmiens, Witold	University of Alberta	Zeng, Yong	Concordia University
Kschischang, Frank	University of Toronto	Zhang, Hao	Simon Fraser University
Kumacheva, Eugenia	University of Toronto	Zhang, Jian-Kang	McMaster University
Kunz, Thomas	Carleton University	Zhang, Xiupu (John)	Concordia University
Kurgan, Lukasz	University of Alberta	Zhang, Yun	University of New Brunswick
Kyan, Matthew	Ryerson University	Zhao, Dongmei	McMaster University
Kycia, Jan	University of Waterloo	Zhao, Jiying	University of Ottawa
Labeau, Frédéric	McGill University	Zhao, Vicky	University of Alberta
Lachapelle, Gerard	University of Calgary	Zhu, Bo	Concordia University
Lacroix, Suzanne	École Polytechnique de Montréal	Zhu, WeiPing	Concordia University
Laflamme, Raymond	University of Waterloo	Zhuang, Weihua	University of Waterloo
Lagally, Eric	University of British Columbia	Zilic, Zeljko	McGill University
Laganière, Robert	University of Ottawa	Zincir-Heywood, Nur	Dalhousie University
Lamontagne, Luc	Université Laval	Ziou, Djamel	Université de Sherbrooke
		Zulkernine, Mohammad	Queen's University

ANNEXE D – CHAMPS NON PERTINENTS AU SECTEUR MATÉRIEL

General Chemistry	Microbiology	Dentistry
Operations Research	Industrial Engineering	Applied Chemistry
Nuclear & Particle Physics	General & Internal Medicine	Performing Arts
Pediatrics	Health Policy & Services	Ecology
Economics	Probability & Statistics	Immunology
Biochemistry & Molecular Biology	Miscellaneous Clinical Medicine	Otorhinolaryngology
Experimental Psychology	Astronomy & Astrophysics	Botany
Management	Marine Biology & Hydrobiology	Hematology
Fluids & Plasmas	Orthopedics	Social Psychology
Neurology & Neurosurgery	Organic Chemistry	General Zoology
Environmental Science	Public Health	Miscellaneous Social Sciences
Sociology	Inorganic & Nuclear Chemistry	Veterinary Medicine
Human Factors	Law	Science studies
Anatomy & Morphology	Agricult & Food Science	Miscellaneous Biomedical Research
General Biomedical Research	Biophysics	Meteorology & Atmospheric Science
Nursing	Information Science & Library Science	Geography
General Psychology	Cardiovascular System	Miscellaneous Mathematics
Civil Engineering	Physiology	Political Science and Public Administration
General Mathematics	Oceanography & Limnology	Psychiatry
Applied Mathematics	Chemical Engineering	Miscellaneous Biology
Miscellaneous Professional Field	Communication	Nuclear Technology
Polymers	Endocrinology	Rehabilitation
Biomedical Engineering	Anesthesiology	Fertility
Pharmacology	Education	Arthritis & Rheumatology
Environmental & Occupational Health	Surgery	Genetics & Heredity
Geology	Cancer	Radiology & Nuclear Medicine
General Biology	Geriatrics & Gerontology	Computers
Earth & planetary Science	Obstetrics & Gynecology	Mechanical Engineering
Cellular Biology Cytology & Histology	Criminology	Electrical Engineering & Electronics

ANNEXE E – MACRO EXCEL POUR DONNÉES CRSNG

```
Sub CoChercheurs()
    ' CoChercheurs Macro
    ' Dim a, i, j, Lig As Integer
    ' Recherche du rang de la dernière ligne
    Lig = 1
    Do While Not IsEmpty(Range("A" & Lig))
        Lig = Lig + 1
    Loop
    j = Lig + 1
    ' Boucle de la première à la dernière ligne
    For i = 2 To Lig - 1
        a = 1
        Do While ActiveSheet.Cells(i + a, 1) = ActiveSheet.Cells(i, 1)
            ActiveSheet.Cells(j, 2) = ActiveSheet.Cells(i + a, 2)
            ActiveSheet.Cells(j, 3) = ActiveSheet.Cells(i, 2)
            a = a + 1
        j = j + 1
    Loop
    Next i
    '
End Sub
```

ANNEXE F – MACRO EXCEL POUR DONNÉES MITACS

```

Sub ok()
'
' ok Macro
'

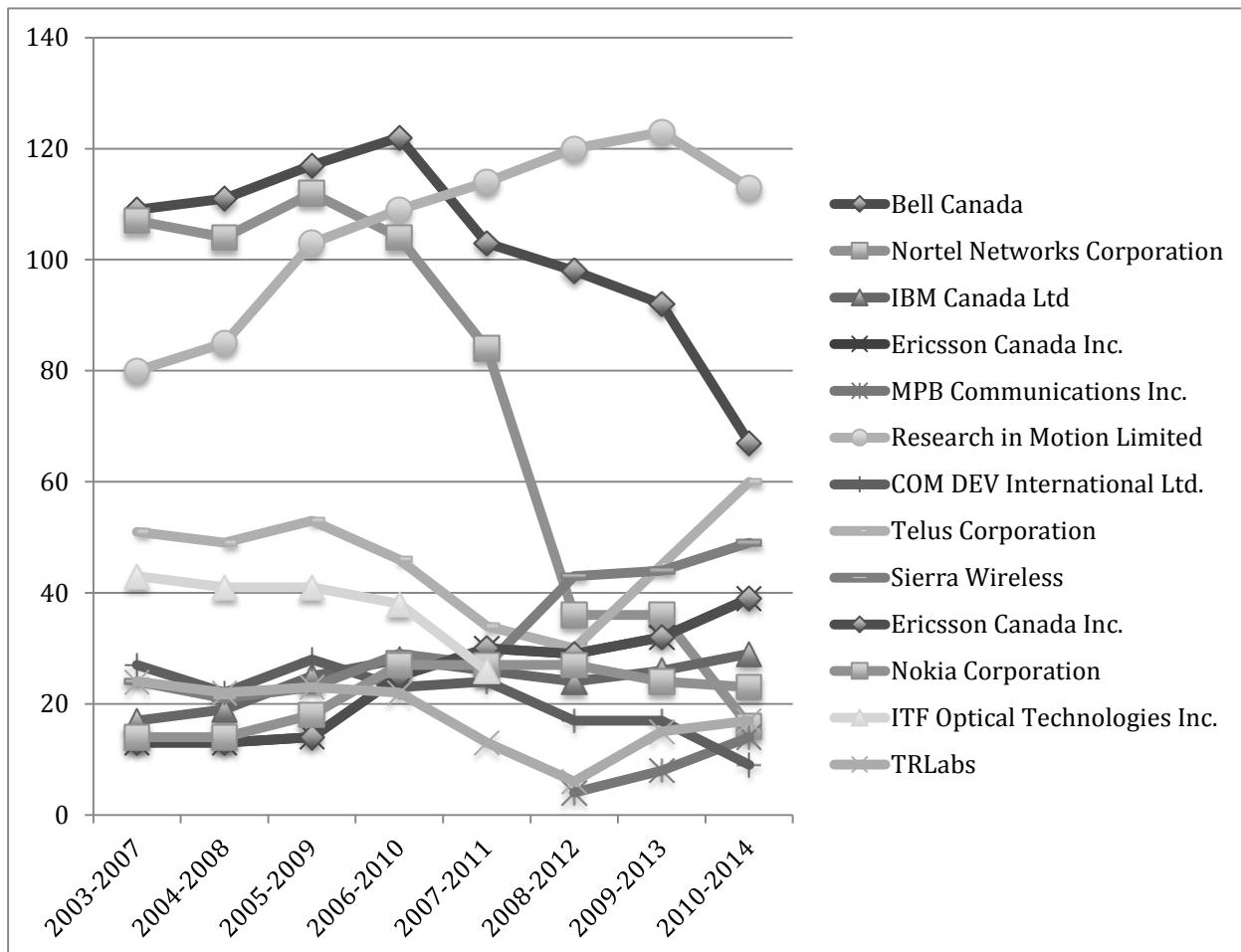
comp = 1
While IsEmpty(Cells(comp, 1)) = False
comp = comp + 1
Wend
Dim ligne As Integer
ligne = comp
For i = 2 To comp
    If IsEmpty(Cells(i, 3)) = False Then
        Cells(ligne, 1).Value = Cells(i, 1).Value
        Cells(ligne, 2).Value = Cells(i, 3).Value
        ligne = ligne + 1
        Cells(ligne, 1).Value = Cells(i, 2).Value
        Cells(ligne, 2).Value = Cells(i, 3).Value
        ligne = ligne + 1

        If IsEmpty(Cells(i, 4)) = False Then
            Cells(ligne, 1).Value = Cells(i, 1).Value
            Cells(ligne, 2).Value = Cells(i, 4).Value
            ligne = ligne + 1
            Cells(ligne, 1).Value = Cells(i, 2).Value
            Cells(ligne, 2).Value = Cells(i, 4).Value
            ligne = ligne + 1
            Cells(ligne, 1).Value = Cells(i, 3).Value
            Cells(ligne, 2).Value = Cells(i, 4).Value
            ligne = ligne + 1

        End If
    End If
Next i
'
End Sub

```

ANNEXE G – CENTRALITÉ DE DEGRÉ POUR LES FIRMES (CRSNG)



ANNEXE H – DONNÉES DE CENTRALITÉ (ORGANISATIONS)

Tableau H-3: Centralité d’intermédiairité normalisée pour les organisations gouvernementales

Organisation	2003- 2007	2004- 2008	2005- 2009	2006- 2010	2007- 2011	2008- 2012	2009- 2013	2010- 2014
National Research Council of Canada	0,646	0,521	0,411	0,274	0,248	0,111	0,049	0,027
Communications Security Establishment	0,102	0,094	0,065	0,126	0,115	0,079	0,078	0,055
National Defence	0,011	0,011	0,032	0,230	0,310	0,197	0,067	0,045
Defence Research and Development Canada	0,000	0,032	0,057	0,070	0,073	0,144	0,294	0,315
Industry Canada	0,138	0,143	0,214	0,309	0,399	0,341	0,546	0,529
PROMPT- Quebec	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,198
Alberta Informatics Circle of Research Excellence	0,157	0,131	0,089	0,099	0,035	0,045	0,059	0,000
Canadian Space Agency	0,028	0,030	0,028	0,023	0,075	0,028	0,020	0,000
Communications and Information Technology Ontario	0,062	0,059	0,000	0,000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Communications Research Centre Canada	0,143	0,183	0,164	0,054	0,022	0,000	0,000	#N/A

Tableau H-4: Centralité de vecteurs propres pour les organisations gouvernementales

Organisation	2003- 2007	2004- 2008	2005- 2009	2006- 2010	2007- 2011	2008- 2012	2009- 2013	2010- 2014
National Research Council of Canada	1,000	1,000	1,000	0,964	0,950	0,748	0,753	0,778
Communications Security Establishment	0,740	0,761	0,770	0,928	0,921	0,917	0,919	0,932
National Defence	0,002	0,002	0,004	0,224	0,229	0,229	0,225	0,214
Defence Research and Development Canada	0,002	0,003	0,006	0,016	0,016	0,018	0,020	0,022
Industry Canada	0,056	0,058	0,074	0,081	0,082	0,058	0,064	0,062
PROMPT- Quebec	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,011	0,039
Alberta Informatics Circle of Research Excellence	0,019	0,019	0,021	0,026	0,005	0,005	0,005	0,000
Canadian Space Agency	0,024	0,024	0,025	0,024	0,028	0,018	0,017	0,010
Centre National de la Recherche Scientifique	0,003	0,003	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Communications and Information Technology Ontario	0,032	0,032	0,026	0,032	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Communications Research Centre Canada	0,301	0,284	0,289	0,234	0,222	0,004	0,004	#N/A
Institut National d'Optique	0,247	0,231	0,232	0,225	0,217	#N/A	#N/A	#N/A

ANNEXE I – DONNÉES DE CENTRALITÉ (FIRMES)

Tableau I-2: Centralité d’intermédiarité normalisée pour les entreprises privées

Firme	2003-2007	2004-2008	2005-2009	2006-2010	2007-2011	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Bell Canada	0,985	1,000	1,000	1,000	1,000	0,825	0,746	0,338
Nortel Networks Corporation	1,000	0,889	0,862	0,824	0,691	0,361	0,202	0,020
IBM Canada Ltd	0,146	0,158	0,207	0,230	0,322	0,230	0,268	0,216
Ericsson Canada Inc.	0,096	0,063	0,047	0,146	0,177	0,194	0,352	0,293
MPB Communications Inc.	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,000	0,031	0,064
Research in Motion Limited	0,544	0,592	0,576	0,478	0,785	1,000	1,000	1,000
COM DEV International Ltd.	0,221	0,212	0,114	0,064	0,054	0,133	0,154	0,021
Telus Corporation	0,106	0,071	0,129	0,095	0,143	0,104	0,293	0,612
Sierra Wireless	0,121	0,073	0,082	0,063	0,082	0,256	0,236	0,210
Ericsson Canada Inc.	0,096	0,063	0,047	0,146	0,177	0,194	0,352	0,293
Nokia Corporation	0,234	0,236	0,250	0,221	0,273	0,410	0,197	0,153
ITF Optical Technologies Inc.	0,030	0,018	0,030	0,036	0,000	#N/A	#N/A	#N/A
TRLabs	0,267	0,223	0,196	0,170	0,069	0,000	0,042	0,000

Tableau I-3: Centralité de vecteurs propres pour les entreprises privées

Firme	2003-2007	2004-2008	2005-2009	2006-2010	2007-2011	2008-2012	2009-2013	2010-2014
Bell Canada	0,239	0,248	0,291	0,395	0,336	0,325	0,317	0,265
Nortel Networks Corporation	0,359	0,348	0,371	0,366	0,343	0,096	0,095	0,053
IBM Canada Ltd	0,007	0,008	0,012	0,021	0,021	0,020	0,038	0,039
Ericsson Canada Inc.	0,038	0,039	0,042	0,053	0,054	0,019	0,040	0,050
MPB Communications Inc.	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,004	0,006	0,010
Research in Motion Limited	0,874	0,904	0,965	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
COM DEV International Ltd.	0,091	0,088	0,094	0,060	0,055	0,044	0,042	0,005
Telus Corporation	0,252	0,242	0,246	0,241	0,226	0,075	0,098	0,113
Sierra Wireless	0,056	0,056	0,061	0,076	0,066	0,132	0,138	0,136
Ericsson Canada Inc.	0,038	0,039	0,042	0,053	0,054	0,019	0,040	0,050
Nokia Corporation	0,022	0,023	0,028	0,046	0,042	0,051	0,049	0,045
ITF Optical Technologies Inc.	0,249	0,234	0,235	0,227	0,217	#N/A	#N/A	#N/A
TRLabs	0,029	0,027	0,028	0,028	0,007	0,004	0,019	0,015

ANNEXE J – DONNÉES DE CENTRALITÉ DE DEGRÉ (UNIV.)

Université	2003-2007	2004-2008	2005-2009	2006-2010	2007-2011	2008-2012	2009-2013	2010-2014	Variation
University of British Columbia	168	746	919	1102	1213	1360	1487	1650	882%
University of Waterloo	750	1586	2078	2610	2716	2208	1777	1407	88%
University of Toronto	595	787	920	1015	991	798	755	599	1%
McGill University	819	1113	1058	1164	978	651	510	453	-45%
University of Calgary	480	864	1104	1303	1366	1114	962	700	46%
Carleton university	66	138	227	306	399	440	481	395	498%
University of Ottawa	584	770	802	829	753	609	473	369	-37%
University of Victoria	51	68	101	146	186	205	223	194	280%
McMaster University	213	229	202	194	170	150	153	173	-19%
ecole Polytechnique de Montreal	183	425	485	519	514	398	327	332	81%
Dalhousie University	193	306	315	279	240	228	212	144	-25%
Concordia University	29	47	49	111	144	166	197	219	655%
Simon Fraser University	56	119	132	177	168	142	173	203	263%
Universite de Montreal	207	300	365	428	433	338	280	225	9%
Institut national de la recherche scientifique	62	131	152	139	115	112	172	226	265%
University of Alberta	117	221	201	147	80	53	52	61	-48%
ecole de technologie superieure	108	209	206	206	165	135	138	156	44%
Universite de Sherbrooke	95	164	223	279	291	231	184	142	49%
Universite du Quebec en Abitibi-Temiscamingue	#N/A	#N/A	3	36	68	97	98	109	#N/A
Universite Laval	65	95	65	35	29	36	44	64	-2%
Universite du Quebec a Montreal	#N/A	#N/A	#N/A	15	30	41	41	47	#N/A
Universite du Quebec a Chicoutimi	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0	0	7	#N/A
Universite du Quebec a Trois-Rivieres	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0	1	1	#N/A	#N/A

ANNEXE K – DONNÉES DE CENTRALITÉ DES UNIVERSITÉS (CRSNG)

Tableau K-2: Centralité d’intermédiairité pour les universités

Université	2003-2007	2004-2008	2005-2009	2006-2010	2007-2011	2008-2012	2009-2013	2010-2014
University of British Columbia	0,498	0,632	0,685	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
University of Waterloo	0,738	0,762	0,807	0,731	0,720	0,641	0,568	0,620
University of Toronto	0,816	1,000	1,000	0,965	0,760	0,631	0,539	0,593
Simon Fraser University	0,333	0,265	0,293	0,497	0,458	0,378	0,451	0,582
University of Ottawa	0,562	0,577	0,562	0,816	0,715	0,567	0,443	0,524
Carleton university	0,184	0,167	0,180	0,209	0,309	0,342	0,539	0,476
École Polytechnique de Montreal	0,502	0,407	0,339	0,362	0,361	0,360	0,325	0,350
University of Victoria	0,230	0,173	0,262	0,245	0,255	0,257	0,273	0,328
University of Calgary	1,000	0,946	0,859	0,717	0,624	0,483	0,301	0,314
McGill University	0,768	0,614	0,637	0,536	0,440	0,331	0,306	0,302
Dalhousie University	0,085	0,037	0,044	0,065	0,084	0,115	0,193	0,262
Institut national de la recherche scientifique	0,071	0,097	0,182	0,081	0,079	0,136	0,223	0,257
University of Alberta	0,423	0,352	0,352	0,308	0,197	0,172	0,239	0,255
École de technologie supérieure	0,201	0,218	0,214	0,178	0,230	0,194	0,178	0,216
McMaster University	0,441	0,362	0,440	0,496	0,370	0,268	0,193	0,186
Université de Montréal	0,378	0,380	0,160	0,137	0,180	0,183	0,140	0,156
Concordia University	0,022	0,012	0,051	0,110	0,126	0,116	0,151	0,141
Université de Sherbrooke	0,142	0,172	0,146	0,175	0,126	0,085	0,086	0,083
Université Laval	0,209	0,196	0,167	0,143	0,066	0,056	0,063	0,072
Université du Québec à Chicoutimi	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,035	0,053	0,057
Université du Québec à Montréal	#N/A	#N/A	#N/A	0,000	0,000	0,018	0,013	0,035
Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue	#N/A	#N/A	0,000	0,007	0,026	0,022	0,029	0,031

Tableau K-3: Centralité de vecteurs propres pour les universités

Université	2003-2007	2004-2008	2005-2009	2006-2010	2007-2011	2008-2012	2009-2013	2010-2014
University of British Columbia	0,726	0,613	0,856	0,905	0,958	1,000	1,000	1,000
University of Toronto	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,911	0,899	0,937
University of Waterloo	0,616	0,636	0,824	0,800	0,829	0,827	0,834	0,861
University of Ottawa	0,884	0,760	0,835	0,803	0,824	0,682	0,769	0,781
Carleton university	0,579	0,410	0,712	0,708	0,731	0,732	0,734	0,743
McGill University	0,896	0,796	0,799	0,776	0,788	0,677	0,663	0,703
École Polytechnique de Montreal	0,606	0,653	0,597	0,608	0,623	0,591	0,598	0,669
University of Calgary	0,798	0,683	0,736	0,719	0,717	0,704	0,640	0,658
University of Victoria	0,648	0,393	0,409	0,507	0,540	0,537	0,565	0,600
Dalhousie University	0,560	0,311	0,552	0,551	0,535	0,535	0,527	0,525
University of Alberta	0,566	0,348	0,548	0,507	0,475	0,487	0,509	0,441
Simon Fraser University	0,527	0,196	0,158	0,202	0,234	0,295	0,396	0,428
McMaster University	0,793	0,618	0,551	0,574	0,562	0,400	0,405	0,349
Universite de Montreal	0,444	0,450	0,385	0,355	0,358	0,364	0,348	0,341
Universite de Sherbrooke	0,335	0,381	0,355	0,353	0,358	0,354	0,334	0,336
Institut national de la recherche scientifique	0,205	0,275	0,227	0,228	0,224	0,305	0,308	0,318
École de technologie supérieure	0,308	0,334	0,270	0,271	0,268	0,263	0,204	0,266
Concordia University	0,159	0,130	0,127	0,225	0,244	0,232	0,208	0,232
Universite Laval	0,141	0,140	0,119	0,119	0,122	0,128	0,151	0,180
Universite du Quebec en Abitibi-Temiscamingue	#N/A	#N/A	0,010	0,077	0,079	0,081	0,082	0,109
Universite du Quebec a Montreal	#N/A	#N/A	#N/A	0,029	0,031	0,035	0,035	0,098
Universite du Quebec a Trois-Rivières	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,003	0,004	0,005	0,009
Universite du Quebec a Chicoutimi	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,002	0,003	0,003

**ANNEXE L - BUDGET CRSNG EN DOLLARS CONSTANTS PAR
RAPPORT À 2013**

Année	2003		2013		Variation
Budget	22 759 288 \$		27 012 565 \$		+ 19%
Projets avec l'industrie	6 926 477 \$	30%	11 456 939 \$	42%	+ 65%
Avec co-chercheurs	4 745 377 \$	69%	4 786 016 \$	42%	+ 1%
Avec un chercheur uniquement	2 181 100 \$	31%	6 670 923 \$	58%	+ 206%
Projets sans l'industrie	15 832 811 \$	70%	15 555 626 \$	58%	- 2%
Avec co-chercheurs	1 352 522 \$	9%	1 393 638 \$	9%	+ 3%
Avec un chercheur uniquement	14 480 288 \$	91%	14 161 988 \$	91%	-2%

Année	2003	2013	Variation
Subvention moyenne par projet	46 542 \$	41 241 \$	-13%
Projets avec l'industrie	153 922 \$	65 096 \$	-136%
Avec co-chercheurs	189 815 \$	92 039 \$	-106%
Avec un chercheur uniquement	109 055 \$	53 798 \$	-103%
Projets sans l'industrie	35 659 \$	32 475 \$	-10%
Avec co-chercheurs	84 532 \$	107 203 \$	+ 21%
Avec un chercheur uniquement	33 833 \$	30 391 \$	-11%

ANNEXE M - SUJET DE RECHERCHE CRSNG

Photon devices	Theory of computation	Virtual reality and related simulations
Communication and information theory	Geographical information	Genome analysis
Artificial intelligence (computer vision, use2603)	Cognitive science -- language	Vlsi systems
Natural language and speech understanding	Intelligent systems applications	Biochemistry
Antennas and propagation	Human factors engineering	Optics (see also photon devices2505)
Systems, man and cybernetics	Instrumentation and measurements	Astronomy and astrophysics
Multimedia systems and networks	Mobile and personal communication	Mechanical engineering
Distributed and parallel processing	Graphics	Experimental methods and instrumentation
Complexity	Electronic properties of solids	Physics
Electrical and electronic engineering	Expert systems	Control systems
Wireless communication systems	Survey engineering and remote sensing	Behavioural neuroscience
Information technology	Sensory systems and perception	Cognitive science -- other
Integrated circuits	Geographic information systems, global positioning systems	Mechanical systems and instrumentation
Microwave and millimeterwave devices, circuits and technologies	Mathematics of computing	Instrumentation
Other computing methods	Electronic materials and components	Semiconductor fabrication and packaging
Digital signal processing	Electromagnetics	Biomedical technology
Statistical theory	Cognitive science -- fundamental	Construction engineering and management
Adaptive, learning and evolutionary systems	Radar and navigation	Ceramics
Computer vision	Remote sensing	Robotic control
Robotics	Optimization	Industrial engineering
Computer hardware	Microelectronics	Mathematical modelling
Image processing	Engineering design	Biomedical engineering
Electron devices	Plant and treebiology	Synthesis
Linear and non-linear systems	Cartography and geomatics	Semiconductors
Photonics	Materials science and technology	Magnetic properties and magnetic materials
Pattern analysis and machine intelligence	Vibrations	Combinatorics
Particle physics	Optical properties	Lipids
Quantum and/or computational chemistry	Nonparametric inference	Circuit theory