

Titre: Étude de l'influence de la présence d'un centre de recherche dans la collaboration interdisciplinaire et interuniversitaire
Title: la collaboration interdisciplinaire et interuniversitaire

Auteur: Oliver Leyva Ramos
Author:

Date: 2015

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Leyva Ramos, O. (2015). Étude de l'influence de la présence d'un centre de recherche dans la collaboration interdisciplinaire et interuniversitaire [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/1982/>

Document en libre accès dans PolyPublie Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/1982/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Beaudry, & Martin Trépanier
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA PRÉSENCE D'UN CENTRE DE RECHERCHE DANS
LA COLLABORATION INTERDISCIPLINAIRE ET INTERUNIVERSITAIRE

OLIVER LEYVA RAMOS

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)

DÉCEMBRE 2015

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA PRÉSENCE D'UN CENTRE DE RECHERCHE DANS
LA COLLABORATION INTERDISCIPLINAIRE ET INTERUNIVERSITAIRE

présenté par : LEYVA RAMOS Oliver

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

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

M. ARMELLINI Fabiano, D. Sc, président

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

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

Mme BRODEUR Christine, M. S. I., membre

DÉDICACE

A mi abue, tata y la chule

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une certaine manière à l'aboutissement de ce mémoire.

Je voudrais remercier Mme Catherine Beaudry, ma directrice de recherche, et M. Martin Trépanier, comme codirecteur du projet, pour l'encadrement et le guide qu'ils m'ont offerts au cours de ma maitrise. Ses conseils judicieux, l'attention rapide à mes questions et la transmission de leurs connaissances ont permis de mener le projet à bon port.

Je remercie Constant Rietsch pour son aide pour la réalisation des macros ainsi que Bastien Cucuel pour son aide sur Mathlab.

Je voudrais remercier aussi les étudiants de la Chaire de recherche du Canada sur la création, le développement et la commercialisation de l'innovation à l'École Polytechnique qui m'ont permis de réaliser ma maitrise dans un environnement agréable pour travailler et où il est facile de collaborer et réaliser des journées sportives.

Je remercie également Fabiano Armellini et Christine Brodeur d'être membres du jury pour l'évaluation de ce mémoire.

Finalement, j'aimerais remercier ma famille et mes amis pour le soutien tout au long de mes études.

RÉSUMÉ

De nombreuses initiatives comme la formation, l’élargissement des centres de recherche et la construction des groupes de recherche interdisciplinaire visent le développement de la collaboration et la favorisation de l’innovation.

La collaboration entre les membres d’un centre de recherche est une des motivations pour la formation de ce type de systèmes. Mais très peu d’études se centrent sur la mesure de l’influence de la formation d’un système de recherche sur la collaboration interuniversitaire et l’interdisciplinarité. Ces deux types de collaboration sont importants, car ils se montrent comme une voie à suivre pour pouvoir trouver des solutions à des problèmes dont la portée est au-delà d’un seul champ pratique favorisant ainsi l’innovation.

Dans notre travail, on étudie l’impact de la formation du CIRRELT (le Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d’entreprises, la logistique et le transport) sur la collaboration interdisciplinaire et interuniversitaire à travers les liens entre ses membres. Ces liens sont établis grâce aux documents de recherche variés produits entre les années 2000 et 2014. Les documents utilisés vont des publications dans les journaux scientifiques, communications, présentations et conférences jusqu’au chapitre de livres.

Pour mener cette étude, nous utilisons des méthodes bibliométriques et d’analyse de réseaux de collaboration entre les chercheurs. Grâce à ces méthodes, nous avons pu construire une classification disciplinaire des membres du centre de recherche ainsi que mesurer l’évolution de la collaboration interuniversitaire et interdisciplinaire. Pour faire cela, nous avons étudié la co-rédaction des documents de recherche dans le but de déterminer d’une part la collaboration globale au sein du système et d’autre part la diversité et la cohérence des disciplines présentes.

Nous avons pu constater que la formation d’une unité de recherche favorise la collaboration d’une manière globale et l’intégration des connaissances de différentes disciplines mais ces effets favorables doivent être supportés par des activités favorisant la collaboration pour atteindre la stabilité.

ABSTRACT

Numerous initiatives such as the creation or expansion of research centers and the construction of interdisciplinary research groups aim to develop collaboration and to favor innovation.

Collaboration between members of a research center is one of the goals of the creation of this kind of research system. But only a few studies are focused on measuring the impact of the constitution of a research center, on inter-university collaboration and interdisciplinarity. This two types of collaboration are important because they represent a way to find solutions to problems whose scope is beyond one practice field, thus encouraging innovation.

In this paper, we study the effect of the creation of the CIRRELT (Inter-university research center for business networks, logistics and transportation) on the interdisciplinary and inter-university collaboration through the links between its members. These links are established through the coauthorship of research documents produced between the years 2000 and 2014. The research documents used in this paper are: scientific journal publications, communications, presentations, conferences and book chapters.

To conduct this study, we use bibliometric methods and collaboration network analysis. Using these methods we were able to build a disciplinary classification of members of the research center and measure the evolution of inter-university and interdisciplinary collaboration. To do this we studied collaboration in a global way and afterwards we analyzed diversity and coherence of the disciplines represented by the researchers.

We have seen that the creation of a research unit promotes collaboration and knowledge integration from different disciplines. But these favorable effects have to be supported by activities or actions that keep promoting the exchange between the members even after the formation of the center to achieve stability through the establishment of a collaborative culture.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIII
LISTE DES ANNEXES	XIV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 RECENSION DE LA LITTÉRATURE.....	3
2.1 Centres de recherche et innovation	3
2.1.1 Motivation pour collaborer.....	4
2.1.2 Types de collaborations en recherche et facteurs qui les favorisent	5
2.1.3 Influence de la proximité.....	7
2.1.4 Impacts de la collaboration sur la productivité	11
2.1.5 Mesure de la collaboration par les coauteurs.	12
2.1.6 Recherche interdisciplinaire	14
2.2 Analyse de réseaux sociaux.....	16
2.2.1 Concepts fondamentaux de l'analyse des réseaux.	17
2.2.2 Collecte des données et mesures dans la théorie des réseaux	18
2.2.3 Représentation graphique	20
2.2.4 Propriétés d'un graphe	22

2.2.5 Analyse des réseaux sociaux et collaboration	29
2.3 Mesures d'interdisciplinarité et collaboration régionale	30
2.3.1 Les composants de l'intégration des connaissances.....	31
2.3.2 Diversité des disciplines.....	32
2.3.3 Cohérence.....	33
2.3.4 Combinaison de diversité disciplinaire et la cohérence d'un réseau.....	34
CHAPITRE 3 SUJET ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	36
3.1 Contexte	36
3.2 Hypothèses de recherche.....	37
3.3 Objectifs de recherche	38
3.4 Méthodologie générale de recherche.....	39
3.5 Données	40
3.6 Création des sociomatrices.....	42
3.6.1 Création des Sociomatrices sur Access	42
3.6.2 Traitement sur Excel	44
3.7 Indicateurs et mesures	45
3.7.1 Évolution du nombre d'auteurs	46
3.7.2 Indice d'interdisciplinarité	46
3.7.3 Indice de diversité disciplinaire.....	47
3.7.4 Indices de mesure de cohérence	51
3.7.5 Indices de mesure de cohésion	52
3.7.6 Tableau récapitulatif des indicateurs utilisés	54
3.8 Classification	55
3.8.1 Affiliation Universitaire	55

3.8.2 Catégorisation disciplinaire des chercheurs	56
3.9 Construction du réseau et visualisation	60
3.9.1 Présentation des outils	60
3.9.2 Exportation des sociomatrices	61
3.9.3 Construction des Réseaux	62
CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET ANALYSE	66
4.1 Évolution globale de la collaboration	66
4.2 Cohésion	68
4.2.1 Cohésion globale	69
4.2.2 Cohésion régionale	71
4.2.3 Étude la proximité institutionnelle	74
4.3 Diversité des disciplines	81
4.3.1 Proportion	81
4.3.2 Diversité disciplinaire	87
4.4 Cohérence des disciplines	90
4.4.1 Évolution globale de la centralité par intermédialité	90
4.4.2 Évolution de la centralité par intermédialité	92
4.4.3 Représentation graphique des réseaux de collaboration	94
CHAPITRE 5 CONCLUSION	107
BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXES	117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1: Correspondance date de publication et périodes d'analyse	41
Tableau 3-2: Nombre de publications par discipline	48
Tableau 3-3: Distribution des Membres par Université	55
Tableau 3-4: Nombre de chercheurs par discipline CIRRELT	58
Tableau 3-5: Répartition du nombre de chercheurs par discipline	59
Tableau 3-6: Partition de distribution des disciplines	63
Tableau 3-7: Partition de distribution des universités	64
Tableau 4-1: Évolution du nombre moyen d'auteurs par article	66
Tableau 4-2: Évolution de la structure du réseau	69
Tableau 4-3: Centralité par proximité regroupée par agglomération	71
Tableau 4-4: Moyenne de la centralité de proximité par université	74
Tableau 4-5: Proportion des disciplines dans les publications CIRRELT	81
Tableau 4-6: Évolution de la diversité	87
Tableau 4-7: Évolution de la centralité par intermédialité moyenne	90
Tableau 4-8: Centralité d'intermédialité par disciplines	93

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1. Réseau social avec 7 acteurs et 8 liens	18
Figure 2-2 Exemple de représentation d'un réseau par une Sociomatrice.....	20
Figure 2-3: Graphe composé de 6 nœuds et 6 liens	21
Figure 2-4: Graphe et matrice pondérés (Source: Wasserman et Fraust 1994)	22
Figure 2-5: Parcours, sentier et chemin dans un graphe	23
Figure 2-6: Diversité et cohérence (source : Rafols et Meyer, 2010)	32
Figure 2-7 Représentation schématique des attributs de la diversité (source : (Rafols et Meyer 2010)	33
Figure 3-1: Méthodologie générale de recherche.....	39
Figure 3-2: Exemple d'une matrice d'adjacence sur Access entre les colonnes les colonnes auteur 6 et auteur 9.....	43
Figure 3-3: Représentation de la répartition du nombre de chercheurs par discipline.....	60
Figure 3-4: Représentation d'un graphe avec deux nœuds, un arc et un contour sur Pajek	62
Figure 4-1: Graphe de la croissance relative de la moyenne d'auteurs par document	67
Figure 4-2: Évolution de la centralisation par périodes d'analyse.....	70
Figure 4-3: Évolution de la centralité par proximité (Closeness)	70
Figure 4-4: Graphe de la centralité des agglomérations.....	72
Figure 4-5: Réseau de collaboration circulaire à la période 5	73
Figure 4-6: Évolution de la centralité par université.....	75
Figure 4-7: Représentation des interactions entre universités dans la période 1	77
Figure 4-8: Représentation des interactions entre universités dans la période 2	77
Figure 4-9: Représentation des interactions entre universités dans la période 3	78
Figure 4-10: Représentation des interactions entre universités dans la période 4	78
Figure 4-11: Représentation des interactions entre universités dans la période 5	79

Figure 4-12: Variation du nombre de disciplines	82
Figure 4-13: Évolution de la proportion des disciplines	83
Figure 4-14: Évolution de la proportion des disciplines	84
Figure 4-15: Graphe de la diversité de Stirling en fonction du temps	87
Figure 4-16: Évolution de la croissance relative de la diversité	88
Figure 4-17: Évolution de la centralité par intermédiairité moyenne	91
Figure 4-18: Graphe d'évolution de la centralité par intermédiairité	92
Figure 4-19: Légende de la représentation graphique des disciplines	95
Figure 4-20: Réseau de collaboration à la période 1	96
Figure 4-21: Réseau de collaboration par disciplines à la période 1	96
Figure 4-22: Réseau de collaboration à la période 2	98
Figure 4-23: Réseau de collaboration par discipline à la période 2	98
Figure 4-24: Réseau de collaboration à la période 3	100
Figure 4-25: Réseau de collaboration par discipline à la période 3	100
Figure 4-26: Réseau de collaboration à la période 4	102
Figure 4-27: Réseau de collaboration par discipline à la période 4	102
Figure 4-28: Réseau de collaboration à la période 5	104
Figure 4-29: Réseau de collaboration par discipline à la période 5	104
Figure 4-30: Représentation de l'évolution de la cohérence du réseau périodes 2 et 4	106

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

- CERN :** Conseil européen pour la recherche nucléaire
- CIRRELT :** Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport
- CV :** Curriculum Vitae
- ÉTS :** École de Technologie Supérieure
- IDR :** Recherche interdisciplinaire (Interdisciplinary Research)
- ISI :** Institut pour l'Information Scientifique (Institute for Scientific Information)
- SC :** Catégories scientifiques (Scientific categories)
- UdeM :** Université de Montréal
- UQAM :** Université du Québec à Montréal

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : IDENTIFICATION DES MEMBRES DU CIRRELT	117
ANNEXE B : MACRO POUR CONSTRUCTION D'UNE SOCIOMATRICE SUR EXCEL	118
ANNEXE C : MACRO MATRICE CARRÉE	119
ANNEXE D : MACRO COMPARAISON DE COLONNES	120
ANNEXE E : MACRO REMPLISSAGE DES IDENTIFIANTS	122
ANNEXE F : MATRICE DE SIMILARITÉ	123
ANNEXE G : MATRICE DE DIFFÉRENCE	124
ANNEXE H: CLASSIFICATION UNIVERSITAIRE CIRRELT	125
ANNEXE I: LIENS DES PUBLICATIONS DES MEMBRES DU CIRRELT	128
ANNEXE J: CLASSIFICATION PAR PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	132
ANNEXE K: CLASSIFICATION DES DISCIPLINES PAR CHERCHEUR	133
ANNEXE L: NOMBRE DE PUBLICATIONS PAR MEMBRE DU CIRRELT	136
ANNEXE M: PROCEDURE MATLAB POUR LE CALCUL DE LA DIVERSITÉ	138
ANNEXE N: INDICE DE CENTRALITÉ DE PROXIMITÉ (CLOSENESS) PAR AUTEUR	139
ANNEXE O: CENTRALITÉ D'INTERMÉDIARITÉ (BETWEENNESS) PAR AUTEUR	142
ANNEXE P: CENTRALITÉ D'INTERMÉDIARITÉ PAR DISCIPLINE	145

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

De nos jours, c'est une perception générale que la recherche collaborative est favorable à l'innovation et qu'elle doit être encouragée. En conséquence, il est très courant pour les scientifiques de mener la recherche en collaboration avec des collègues de différentes institutions et disciplines (Qin, Lancaster, et Allen 1997). Ceci a donné naissance à des nombreuses initiatives pour développer la collaboration entre les chercheurs par exemple la formation et l'élargissement des centres de recherche et des groupes de recherche interdisciplinaire (Katz et Martin 1997).

La recherche interdisciplinaire est une forme de recherche collaborative utilisant la coordination des différentes perspectives professionnelles, dans un cadre organisationnel établi (Wagner et coll. 2011). Nous pouvons définir ce type de recherche comme un mode de recherche par équipe ou par individus qui intègre des perspectives, concepts, théories, techniques, outils ou information d'au moins deux corps de recherche ou de connaissances spécialisées. Celle-ci a comme objectif d'avancer dans la compréhension fondamentale ou de résoudre des problèmes dont les solutions sont au-delà d'un seul champ pratique (Porter et coll. 2007). En conséquence, ce type de recherche collaborative pousse les chercheurs vers les limites des disciplines scientifiques et même parfois à traverser ces limites pour former de nouvelles disciplines (National Academies 2005). C'est pour ces raisons que l'interdisciplinarité est souvent promue par ses contributions pour la génération des percées scientifiques et pour favoriser l'innovation et la production de connaissances.

La collaboration a une influence positive dans l'interdisciplinarité, lorsqu'on assume la présence d'un partenariat pour réussir l'intégration des connaissances des différents domaines. Dans ce cas l'interdisciplinarité peut être analysée à travers les interactions entre différents chercheurs (Qin, Lancaster, et Allen 1997).

Il existe plusieurs outils pour étudier la collaboration, dont entre autres l'analyse des réseaux sociaux. Dans ce type d'analyse, les attributs observés sont représentés par les patrons ou structures des liens entre les acteurs (Wasserman et Fraust 1994). La capacité d'un réseau à diffuser les connaissances peut favoriser l'innovation par l'accès que les acteurs ont de celles-ci pour pouvoir ainsi les combiner et développer des nouvelles idées (Fleming, Mingo, et Chen 2007). Les différentes caractéristiques des réseaux comme la structure, la taille, l'importance des liens et la position des individus ont une influence dans la productivité des chercheurs (Harhoff, Heibel, et Hoisl 2014).

Une manière de stimuler la recherche collaborative est la mise en place de programmes de financement dirigés vers certains individus ou centres de recherche (Rijnsoever, 2010), mais ces programmes fonctionnent au niveau institutionnel avec des doutes concernant leur efficacité. Pour mettre en place des stratégies et politiques adaptées qui favorisent l'innovation, les centres de recherche ont besoin d'évaluer leurs efforts en termes d'interdisciplinarité et intégration géographique. Car même si les listes et descriptions des institutions et disciplines présentes dans la recherche peuvent apporter un caractère informatif pour les observations sur la recherche interdisciplinaire, elles présentent un manque de précision pour déterminer si les efforts de collaborations régionales aboutissent vraiment à l'interdisciplinarité ou simplement la recherche est menée par des individus avec des spécialités différentes (Aboelela et coll. 2007).

Notre étude se concentre sur l'influence de la création d'un centre de recherche sur la collaboration régionale et l'interdisciplinarité. Pour mener cette étude, nous allons analyser le cas du CIRRELT, le Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport, qui regroupe des chercheurs de 8 établissements universitaires québécois. Ce centre de recherche a été choisi pour effectuer notre analyse parce qu'il représente des domaines multidisciplinaires qui visent à résoudre des problématiques complexes, comme l'est la mobilité des personnes et des marchandises. Ce centre de recherche a été créé en 2006 au Québec, par la fusion de deux centres de recherche régionaux, l'un localisé à Québec et l'autre à Montréal. Nous disposons des données sur les publications pour comparer la collaboration de ses membres entre les années 2000 et 2014. Cela nous permet de voir l'influence de sa création sur la recherche collaborative et interdisciplinaire.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante : dans le chapitre 2, nous faisons une recension de la littérature portant dans un premier temps sur la recherche collaborative et ensuite sur la théorie des réseaux appliquée à l'analyse des relations sociales. Le chapitre 3 décrit la démarche générale de l'étude composée par la description des différentes hypothèses, des données et de la méthodologie employée dans notre étude pour répondre aux objectifs. Le chapitre 4 présente les résultats ainsi que les analyses obtenues et leur discussion. Pour conclure ce mémoire, le chapitre 5 présente les limites de notre étude et les perspectives pour la recherche future.

CHAPITRE 2 RECENSION DE LA LITTÉRATURE

Nous allons diviser la recension de la littérature dans le but d'avoir les notions de base pour comprendre notre étude. Dans un premier temps, nous allons étudier la collaboration entre les chercheurs au sein des centres de recherche ; pour cela, nous allons nous pencher sur l'interdisciplinarité et collaboration régionale pour déterminer l'influence de la formation de ces regroupements dans l'innovation. Dans un deuxième temps, nous allons nous concentrer sur la théorie de l'analyse des réseaux sociaux qui nous donne les outils pour étudier les interactions entre les chercheurs.

2.1 Centres de recherche et innovation

C'est une perception générale que la recherche collaborative est favorable à l'innovation et qu'elle doit être encouragée. Cela a donné naissance à des nombreuses initiatives pour développer la collaboration entre les chercheurs, par exemple la formation et l'élargissement des centres de recherche et des groupes de recherche interdisciplinaire (Katz et Martin 1997). En conséquence, de nos jours il est très courant pour les scientifiques de mener la recherche en collaboration avec des collègues de différentes institutions et disciplines (Qin, Lancaster, et Allen 1997). Même si ce type de recherche collaborative est devenu courant depuis le XXe siècle, les études centrées sur la manière de l'organiser et sur son influence sur les systèmes d'information n'ont commencé qu'à partir des années 50. Ces études nous permettent de mettre en place des systèmes pour favoriser et faire plus efficace la collaboration entre institutions et spécialistes de différentes disciplines (Qin, Lancaster, et Allen 1997).

Dans cette partie, nous allons nous centrer dans un premier temps sur l'identification des différents types de collaboration dans la recherche ainsi que des facteurs qui encouragent la mise en place de celle-ci. Ensuite, nous allons examiner les effets de la collaboration sur la productivité et l'impact de la recherche collaborative. Après, nous allons analyser les sources de la collaboration, principalement le rôle de la communication et les effets de la proximité. Finalement, nous allons regarder l'évaluation de la recherche collaborative, particulièrement la mesure par la co-rédaction des publications.

Pour pouvoir déterminer l'exactitude des indicateurs utilisés, il faut bien définir la collaboration au sein de la recherche. Pour Katz et Martin (1997), cette notion est très floue, donc très difficile à

définir. Pour eux, la limite de la collaboration est établie par convention sociale, peut être négociable et varie considérablement à travers les institutions, secteurs et champs de recherche. Cette limite est difficile à identifier (Katz et Martin 1997). Malgré cela, nous devons choisir une définition pour étudier la collaboration. Nous pouvons utiliser la définition de Laudel (2002) qui se base sur la fonctionnalité des actions collectives qui n'ont pas forcément un but commun. Pour lui, la collaboration dans la recherche est définie comme « un système d'activités de recherche réalisées par plusieurs acteurs reliées d'une manière fonctionnelle pour atteindre un but de recherche qui correspond aux buts ou intérêts individuels de ces acteurs » (Laudel 2002).

L'utilisation de cette définition a des conséquences importantes. Premièrement, le partage d'un but commun n'est pas nécessaire pour l'existence d'une collaboration. En outre, la collaboration est définie par les activités, donc les collaborateurs sont exclusivement les personnes qui réalisent des activités de recherche, c'est-à-dire des activités liées à la production des nouvelles connaissances scientifiques (Krohn et Kiippers 1990). Ce concept de collaboration est réservé pour la recherche qui implique des interactions personnelles (Laudel 2002). De nos jours, nous pouvons compléter cette définition grâce à l'introduction des nouvelles technologies, par l'évolution des différents moyens d'interaction entre les chercheurs qui élargissent les manières de se communiquer et donc collaborer.

2.1.1 Motivation pour collaborer

Il existe plusieurs raisons pour expliquer la croissance de la collaboration dans les 30 dernières années. Une des raisons peut être l'augmentation des couts pour mener la recherche, ayant mené à la formation de centres pour partager des ressources. En conséquence les chercheurs, sont menés à collaborer d'une manière plus étroite régionalement (Katz et Martin 1997). Une autre raison reliée à celle-ci est la spécialisation qui est atteinte dans certains domaines, surtout ceux où l'instrumentation est complexe. Dans ce cas, des experts dans chaque domaine sont appelés pour former une équipe qui a comme but de réaliser une seule découverte (Gordon 1980). Prenons, par exemple, le cas de la physique des particules dans laquelle un seul individu ne peut pas réaliser toutes les tâches reliées aux expériences et où la formation d'une équipe avec des membres spécialisés est nécessaire.

Un autre élément qui a encouragé cette croissance dans la collaboration est la chute des couts de communication en termes de voyage et accès à l'information (Katz et Martin 1997). En effet, la

facilité de communiquer malgré les grandes distances grâce à l'Internet, par l'introduction du courriel électronique et les logiciels de communication instantanée par voix ou messages, a permis l'établissement des relations de collaboration entre des chercheurs qui sont éloignés géographiquement.

En outre, il y a aussi des raisons politiques pour collaborer comme les rapprochements entre les pays qui encouragent une collaboration plus importante entre leurs chercheurs. Ce type de collaboration vise à construire des liens culturels et politiques plus forts entre pays par un échange de connaissances. Tel est le cas des organisations comme le Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN) qui est un regroupement scientifique soutenu par la Commission Européenne qui vise à établir des relations plus importantes entre les nations de l'Union Européenne (Narin, Stevens, et Whitlow 1991).

Finalement, la croissance de l'importance des domaines interdisciplinaires peut représenter une motivation pour la collaboration entre des experts de différentes spécialités. L'intégration des plusieurs disciplines donne comme résultat des découvertes plus importantes et favorise l'innovation (Kodama 1992). Cette motivation pour la collaboration va être approfondie ultérieurement par son importance dans notre étude.

2.1.2 Types de collaborations en recherche et facteurs qui les favorisent

D'après une étude qualitative de Laudel (2002), on a pu distinguer différents types de collaboration basés sur les activités de recherche grâce à des entretiens avec des membres des centres de recherche (Laudel 2002). La collaboration peut se diviser donc en :

- collaboration par division des tâches ;
- collaboration par services ;
- transmission du savoir-faire ;
- accès à l'équipement de recherche ;
- stimulation mutuelle ;
- assesseurs de confiance.

Ces types sont décrits dans les sections ci-après.

2.1.2.1 Collaboration par division de tâches

Dans la collaboration par division des tâches, le travail de recherche est divisé entre plusieurs chercheurs. En effet, les phases du processus classique de recherche comme la conception théorique ou la partie expérimentale sont partagées si elles requièrent les contributions de plus d'une expertise. Ce type de collaboration se caractérise par une division des tâches créatives. En conséquence il y a une forte implication des tous les collaborateurs dans le travail de recherche et les activités des collaborateurs sont liées étroitement afin d'arriver à un but commun (Laudel 2002).

2.1.2.2 Collaboration par services

Dans ce type de collaboration, la proposition de recherche ainsi que tout le travail créatif sont faits exclusivement par un des collaborateurs. Le travail expérimental est de routine, donc il ne nécessite pas de créativité des collaborateurs qui le réalisent même si c'est un travail qui peut être demandant au niveau des efforts (Laudel 2002). Ce type de collaboration se présente généralement lorsque le chercheur est incapable d'apprendre les méthodes nécessaires pour résoudre un problème, car le processus d'apprentissage est long ou le bagage scientifique qu'il a n'est pas suffisant. Cela est très présent dans les recherches interdisciplinaires, lorsqu'un chercheur veut adapter des méthodes d'autres domaines pour résoudre ses problèmes de recherche.

2.1.2.3 Transmission du savoir-faire

Par savoir-faire, nous comprenons les connaissances nécessaires pour s'engager avec succès dans un processus de recherche spécifique : tel est le cas des connaissances sur le sujet de recherche ou les méthodes appliquées. La transmission de ce type de connaissance résulte souvent d'une demande du chercheur qui a besoin du savoir d'un de ses collègues pour résoudre des problèmes qui peuvent se présenter dans un travail de recherche. Ce phénomène est observé souvent comme des réponses à des demandes spontanées lors des réunions. L'information partagée par des chercheurs n'exige pas un effort créatif de leur part et se présente comme un support pour la recherche de leur collègue (Laudel 2002).

2.1.2.4 Accès à l'équipement de recherche

C'est un type de collaboration dans lequel le collaborateur ne fait que donner l'accès à l'équipement de recherche nécessaire pour un travail. Les interactions se réduisent alors à l'introduction à l'utilisation de l'équipement ainsi comme l'assistance pour l'utilisation si nécessaire (Laudel 2002). Nous n'allons pas prendre en compte pour notre étude ce type de collaboration, car l'échange d'idées créatives y est très limité.

2.1.2.5 Stimulation mutuelle

Cette collaboration n'intervient pas dans le développement d'une partie spécifique du projet de recherche, car il ne contient pas d'échange d'information précise ou des contributions qu'on puisse facilement identifier. En effet, on comprend par stimulation mutuelle l'effet secondaire de la communication entre les chercheurs qui peut les stimuler à penser aux problèmes qui existent dans leur propre champ de recherche, à des nouveaux projets de recherche possibles ou à des méthodes qu'ils peuvent adapter pour leur domaine. L'important ici n'est pas la transmission de connaissance mais la stimulation pour réfléchir à des approches différentes (Laudel 2002). À cause de son caractère spontané et flou, ce type de collaboration est difficilement documenté et est donc difficile à mesurer avec des indicateurs bibliométriques.

2.1.2.6 Assesseurs de confiance

Ce type de collaboration a lieu après le processus de création de connaissances. Il décrit la collaboration des collègues qui critiquent et commentent le travail des chercheurs avant la publication (Mullins 1973). Cette collaboration est souvent représentée dans un travail sous la forme de remerciements, mais comme elle n'intervient pas dans le processus créatif, nous pouvons négliger son influence dans notre étude sur la recherche interdisciplinaire.

2.1.3 Influence de la proximité

La proximité ne doit pas être associée uniquement à son sens géographique. Différentes études en géographie économique mettent l'accent sur différentes notions de la proximité comme des notions clés dans les processus de création des connaissances et d'innovation. Les points communs entre ces différentes notions de proximité sont d'un côté la diminution de l'incertitude et d'un autre côté de faciliter la coordination entre les différents collaborateurs (Boschma 2005).

Dans cette partie nous allons définir les différentes dimensions de la proximité (cognitive, organisationnelle, sociale, institutionnelle et géographique) et analyser leur influence dans la collaboration et la création des connaissances.

2.1.3.1 Proximité institutionnelle

Pour définir cette notion de proximité, nous devons d'abord définir le concept d'institution. Nous pouvons définir l'institution comme : l'ensemble d'habitudes communes, routines, pratiques établies ou lois qui régulent les interactions entre les individus (Boschma 2005).

Les institutions ont une influence sur la manière dans laquelle les acteurs et organisations coordonnent leurs actions. La notion de proximité institutionnelle inclut l'idée des acteurs qui partagent les mêmes règles institutionnelles pour collaborer ainsi que les mêmes habitudes, langage et valeurs (Malmberg et Maskell 2002). Ces derniers représentent une bonne base pour construire une culture de confiance réciproque et collaboration.

La proximité institutionnelle peut avoir aussi une influence négative dans la génération des nouvelles idées et l'innovation. Une proximité importante peut provoquer un renfermement institutionnel, ce qui représente un obstacle pour l'exploration de nouvelles possibilités (Boschma 2005).

Dans le cadre de notre étude, tous les acteurs partagent une même culture institutionnelle, car ils appartiennent tous au monde de la recherche universitaire. Mais dans une échelle plus restreinte, nous allons considérer chaque université comme une institution différente, car chacune a une culture et des règles particulières.

2.1.3.2 Proximité cognitive

La notion de proximité cognitive fait référence au partage d'une même base de connaissances et expertises. Ce type de proximité est important dans la communication, car elle facilite la compréhension et l'absorption de nouvelles connaissances, des acteurs qui partagent les mêmes bases cognitives sont plus enclins à apprendre de l'un et l'autre (Nooteboom 2000).

Malgré cela, une proximité cognitive trop grande peut être nuisible pour la création des nouvelles connaissances et l'innovation. Le développement de ces deux concepts requiert des disciplines différentes et à la fois complémentaires comme sources déclenchantes de la créativité (Boschma

2005). Pour maintenir la distance cognitive, les institutions doivent assurer l'accès à des disciplines hétérogènes et faire preuve d'ouverture.

Dans notre étude la proximité cognitive est importante, car elle affecte la collaboration interdisciplinaire. La distance cognitive entre les disciplines représentées par les chercheurs a une influence directe dans la communication et la créativité.

L'étude de cette dimension de la proximité va être étudiée dans la diversité des disciplines associées aux collaborateurs du CIRRELT.

2.1.3.3 Proximité organisationnelle

La création et transmission des connaissances dépend de la capacité de coordonner l'échange des idées créées par des acteurs et institutions variés. Les aménagements organisationnels ne sont pas uniquement des mécanismes de coordination des interactions, mais aussi des véhicules permettant le transfert et échange d'information et connaissances (Cooke et Morgan 1999).

La proximité organisationnelle est définie comme la mesure dans laquelle les relations sont partagées au sein d'un aménagement (Boschma 2005). Cette notion est présentée dans une gamme qui va d'un extrême à un autre. D'une part nous avons une proximité très faible représentée par l'absence des liens entre des acteurs indépendants. En passant par des réseaux peu associés composés par des entités faiblement liées. Et à l'autre extrême, on trouve des réseaux organisés construits avec des liens forts entre les participants. La proximité organisationnelle est bénéfique pour l'apprentissage et l'innovation, car le transfert des connaissances complexes requiert des liens forts (Hansen 1999).

Cette notion de proximité est explorée plus profondément plus tard dans ce mémoire par l'étude de la cohésion du réseau de collaboration et après dans l'analyse de la recherche interdisciplinaire, sous forme de cohérence entre les disciplines.

2.1.3.4 Proximité sociale

La proximité sociale est définie dans ce contexte comme les relations individuelles intégrées dans le tissu social. Une telle relation sociale est intégrée lorsqu'elle implique de la confiance basée sur l'amitié, l'amabilité ou des expériences communes (Boschma 2005).

La capacité des institutions pour apprendre et innover requiert de ce type de proximité, car elle favorise la communication. La distance sociale se présente donc comme un facteur qui influence le développement des collaborations (Boschma 2005).

Plus précisément, la coopération entre des chercheurs est plus probable si ceux-ci ont le même statut ou s'ils appartiennent au même réseau social, car cela peut améliorer la confiance et l'établissement d'une relation réciproque (Agrawal, Kapur, et McHale 2008). L'influence de la proximité sociale peut remplacer celle de la proximité géographique dans la production du transfert de connaissances. Cela peut être considéré comme une conséquence de l'idée implicite que la vraie collaboration doit se dérouler entre des partenaires du même rang (Katz et Martin 1997).

Malgré ces avantages, une proximité sociale trop importante peut provoquer l'établissement d'habitudes de collaboration entre les chercheurs. Les chercheurs très proches socialement peuvent favoriser la collaboration entre eux ce qui diminue leur ouverture à d'autres interactions.

2.1.3.5 Proximité géographique

La définition de la proximité géographique va être limitée à la distance spatiale entre deux acteurs, dans le but de bien l'isoler des autres notions de proximité. Une grande partie de la littérature affirme que les agents concentrés spatialement bénéficient des externalités de connaissances. Donc des distances plus courtes favorisent le contact et l'échange des connaissances tacites (Boschma 2005).

La plupart des collaborations commencent d'une manière spontanée et sont souvent le résultat d'une conversation informelle (Edge 1979). En effet, la communication informelle peut entraîner une augmentation de l'engagement à coopérer. Quand la collaboration commence de cette manière, les acteurs tendent à s'approcher avec précaution au début mettant ainsi des bases solides pour la relation de coopération. En conséquence, la proximité géographique favorise la collaboration en facilitant la communication informelle (Hagstrom 1965). Plus deux collaborateurs potentiels sont proches géographiquement, plus il est probable que la communication informelle ait lieu. Ceci est confirmé par une étude menée par Katz dans lequel il montre que la co-rédaction de publications diminue exponentiellement avec la distance qui sépare les partenaires (Katz 1992). Ceci n'exclut pas la possibilité que dans certains cas les chercheurs aillent essayer de trouver des partenaires avec les expertises plus adaptées à leurs travaux et sont donc prêts à se déplacer une distance considérable pour les trouver (Katz et Martin 1997).

Malgré les bénéfices de la proximité géographique sur la collaboration, celle-ci n'est pas une condition nécessaire pour que la collaboration ait lieu, d'autres types de proximité peuvent la substituer (Malecki et Oinas 1999). Le développement des technologies d'information et de communication permet que les réseaux de transfert de connaissances ne soient pas délimités spécialement. Même les connaissances tacites peuvent être transmises à travers des grandes distances par d'autres types de proximité (Rallet et Torre 1999). Le besoin de la proximité géographique est très faible pour la collaboration lorsqu'il existe une coordination importante (proximité organisationnelle) et les partenaires partagent une base solide de connaissances (proximité cognitive) (Rallet et Torre 1999). La présence physique reste essentielle pour le partage des connaissances tacites. Ce besoin de proximité géographique peut être comblé par l'organisation des réunions de temps en temps, éliminant la nécessité d'une proximité spatiale permanente.

Dans ce sens il est important de remarquer l'importance des réseaux de collaboration comme véhicules de la création et diffusion des connaissances. Puisque les réseaux sont définis d'une manière non territoriale ce serait erroné d'affirmer que les retombés de connaissances sont délimités géographiquement (Bunnell et Coe 2001). Cela n'empêche que les réseaux sociaux peuvent être localisés et construits par des acteurs locaux. Dans ce cas les retombés de connaissances vont être localisés géographiquement et la proximité géographique est donc nécessaire (Boschma 2005).

La proximité géographique peut favoriser la collaboration et l'innovation d'une manière indirecte par la stimulation d'autres formes de proximité. Mais elle ne représente pas une condition nécessaire ni suffisante pour la collaboration (Boschma 2005).

2.1.4 Impacts de la collaboration sur la productivité

L'exploration de la productivité de la recherche en termes de nombre de publications nous montre l'existence d'une corrélation entre une grande productivité et des niveaux importants de collaboration (Lawani 1986; Pao 1980). Par ailleurs, les auteurs les plus prolifiques ont une tendance à collaborer plus fréquemment et les chercheurs de tous les niveaux de productivité cherchent à collaborer plus avec des auteurs prolifiques qu'avec ceux qui ont une faible productivité (Katz et Martin 1997). De même, le nombre de coauteurs d'un article a une corrélation avec l'impact de celui-ci c'est-à-dire le nombre de citations d'un article augmente avec le nombre

d'auteurs (Lawani 1986). En conséquence, la collaboration aide à augmenter la visibilité des travaux par l'inclusion d'un plus grand nombre d'auteurs.

En plus d'incrémenter la productivité personnelle, la collaboration semble donner aux auteurs un autre avantage lorsque le travail est soumis pour être publié. On trouve une corrélation entre le nombre de coauteurs d'un article et la fréquence d'acceptation pour la publication dans des journaux (Gordon 1980). D'après Gordon, cela est possible grâce au degré technique qu'on peut atteindre par la participation de plusieurs chercheurs, grâce à la superposition des spécialisations entre les auteurs et l'opportunité de vérification du travail par des experts dans le sujet.

On voit donc que la collaboration sous la forme des co-rédactions a un impact positif dans la productivité et influence des travaux de recherche. Mais est-ce que cette mesure de la collaboration est bien en accord avec le concept que nous cherchons à mettre en évidence ? Pour répondre à cette question, nous allons étudier ce que représente la corédaction en termes de collaboration.

2.1.5 Mesure de la collaboration par les coauteurs.

Dans les études bibliométriques, la collaboration dans la recherche est souvent mesurée par les corédactions d'articles (Laudel 2002). On se base donc sur l'hypothèse que toutes les personnes qui apparaissent comme coauteurs d'une publication ont collaboré réellement dans la recherche. Cette affirmation est souvent questionnée par l'observation de quelques coauteurs qui n'ont pas contribué à l'écriture de l'article, tel est le cas des coauteurs honoraires (Katz and Martin 1997, 3). Malgré ces questionnements, ce type d'erreurs a un impact faible sur les résultats de l'étude de la collaboration (Melin et Persson 1996).

De même, on assume que tous les chercheurs qui ont collaboré deviennent des coauteurs. Cela peut être mis en question, car les co-rédactions ne tiennent pas en compte que d'une partie de toutes les relations de collaboration (Katz et Martin 1997). Nous devons être conscients du risque de négliger certaines collaborations ou de ne pas considérer les bonnes raisons pour lesquelles certains coauteurs sont pris en compte dans un article. Mais, d'après un sondage de Melin et Persson, seulement 5% des auteurs ont eu une expérience dans laquelle la collaboration n'a pas eu comme résultat une co-rédaction, et dans ces cas le manque de reconnaissance dans la collaboration a été dû au manque d'importance des contributions. Donc, une mauvaise interprétation de la collaboration est difficilement une tendance dans l'étude des coauteurs (Melin et Persson 1996).

D'un autre côté, il existe plusieurs formes de collaboration qui ne sont pas prises en compte par les co-rédactions. Cet indicateur peut donc négliger certaines pratiques de collaboration (Laudel 2001). Il faut donc bien savoir quels aspects de la collaboration sont capturés par l'étude des co-rédactions et si cet indicateur est adapté à notre étude des centres interdisciplinaires de recherche.

Même si les différents types de collaboration sont présents dans la plupart des projets et centres de recherche, ils ne sont pas affichés de la même façon. Dans le but de mesurer l'interdisciplinarité, la plupart des études prennent des documents comme sujet d'analyse et étudient les cooccurrences des éléments qu'on peut considérer comme spécifiques à une discipline (Schummer 2004). On assume que plus il y a de cooccurrences entre deux disciplines dans un ensemble de documents, plus la relation est forte entre les deux disciplines.

Nous allons nous concentrer sur les collaborations qui ont comme résultat une co-rédaction. L'analyse de coauteurs va nous montrer le lien entre les disciplines auxquelles sont affiliés ces auteurs. Ce type d'analyse par coauteurs met l'accent sur l'aspect social de l'interdisciplinarité et sur le côté pratique de la recherche au lieu de se centrer sur l'information (Schummer 2004).

L'étude de Laudel nous montre que la co-rédaction est presque garantie lors des collaborations par division de tâches ou (DOL) tout comme pour les collaborations pour des services (SER) qui ont une charge de travail importante. Ces genres de collaborations contiennent des contributions créatives des deux partenaires, c'est pour cette raison que nous pouvons les considérer comme les formes de collaborations les plus solides (Laudel 2002).

En utilisant les coauteurs d'une recherche comme indicateur de la collaboration, nous devons être conscients que nous assimilons la collaboration aux deux formes de recherche collaborative qu'on considère les plus importantes. En conséquence, on néglige plus de la moitié de la recherche collaborative qui n'aboutit pas à des reconnaissances bibliographiques et est donc cachée des indicateurs classiques (Laudel 2002). Dans la plupart des domaines de recherche, nous pouvons caractériser la production d'un chercheur principalement par ses articles scientifiques et ses conférences (Porter et coll. 2007).

Nous avons vu que l'étude des co-rédactions des documents de recherche sert à mesurer l'interdisciplinarité. Mais un aspect important pour pouvoir évaluer ce type de recherche est sa définition. Nous allons dédier la partie suivante l'explication de la recherche interdisciplinaire pour pouvoir l'analyser.

2.1.6 Recherche interdisciplinaire

De nos jours, la recherche interdisciplinaire est stimulée par des programmes de financement (Sa, 2008) qui se centrent sur certains individus ou centres de recherche (Rijnsoever, 2010). Ces programmes fonctionnent au niveau institutionnel avec des doutes concernant leur efficacité (Rhoten, 2004). Un des problèmes de l'interdisciplinarité qui peuvent nuire à son efficacité est la différence de coûts de transaction entre la recherche classique et celle interdisciplinaire, cela peut être dû aux coûts de coordination et intégration des connaissances, la distance cognitive entre les parties qui participent ainsi comme les coûts de gestion liés à la collaboration (Rafols 2007).

Les politiques pour favoriser l'interdisciplinarité semblent se baser plus sur des connaissances conventionnelles et des classifications arbitraires que sur de l'évidence empirique (Rafols et Meyer 2010). Par exemple, celles qui se basent sur des collaborations formelles entre laboratoires sont souvent questionnées. Elles ne sont pas considérées comme des instruments pour l'intégration des connaissances, mais comme un moyen de transformation des instituts de recherche (Rafols 2007). Pour mettre en place des politiques adaptées, les centres de recherche ont besoin d'un système pour évaluer leurs efforts en termes d'interdisciplinarité pour mettre en place des stratégies et politiques qui favorisent l'innovation.

2.1.6.1 Définition

Pour définir l'interdisciplinarité, il faut commencer par définir une discipline. La structure scientifique sous forme de disciplines a été développée au cours des XIXe et XXe siècles comme une organisation politique et sociale. C'est au cours de ces siècles que les distinctions entre les disciplines commencent à se creuser et ses membres commencent à s'isoler. À partir des années 1960, la distinction entre les disciplines est devenue la norme dans les publications (Wagner et coll. 2011). Dès la mise en place de cette structure scientifique, nous considérons une discipline scientifique comme une branche du savoir axée sur un problème central s'appuyant sur des éléments considérés comme importants et utilisant des explications, objectifs et théories en lien avec ce problème (Darden et Maull 1977).

La recherche interdisciplinaire, ou (IDR) par ses initiales en anglais, est un mode de recherche par équipe ou par individus qui intègre des perspectives, concepts, théories, techniques, outils ou information d'au moins deux corps de recherche ou de connaissances spécialisées (Porter et coll.

2007). Donc la caractéristique principale de l'interdisciplinarité n'est pas la présence des plusieurs disciplines au cœur d'un centre de recherche, mais un stade plus avancé dans la relation entre les disciplines dans lequel l'intégration est atteinte (Morillo, Bordons, et Gómez 2001).

Cette définition est complétée par Rhoten et Pfirman (2007) qui se réfèrent à l'interdisciplinarité comme « l'intégration de plusieurs disciplines, ensemble de connaissances ou modes de pensée pour produire un sens, explication ou produit qui est plus vaste et puissant que les parties qui le constituent. » (Rhoten et Pfirman 2007) p.58. Nous voyons donc l'émergence d'un consensus autour de l'importance de l'intégration des connaissances dans l'interdisciplinarité (National Academies 2005).

La recherche interdisciplinaire a comme objectif d'avancer dans la compréhension fondamentale ou de résoudre des problèmes dont les solutions sont au-delà d'un seul champ pratique (Porter et coll. 2007). En effet, les institutions de référence affirment que la complexité des problèmes de la société moderne demande des solutions innovantes qui combinent connaissances de différentes disciplines scientifiques (National Academies 2005). La recherche interdisciplinaire pousse les chercheurs vers les limites des disciplines scientifiques et même des fois à traverser ces limites pour former des nouvelles disciplines (National Academies 2005). C'est pour ces raisons que l'interdisciplinarité est souvent promue par ses contributions pour la génération des percées scientifiques et pour favoriser l'innovation et la production de connaissances (Gibbons, M. et coll. 1994).

En conséquence, depuis les années 1990s il y a eu une accélération dans l'adoption autoproclamée de l'interdisciplinarité de la part des scientifiques ainsi comme des responsables politiques (Rafols 2007). Dans ces discours qui sont souvent utilisés comme un outil pour la réforme des institutions scientifiques, l'interdisciplinarité est présentée comme le résultat des stratégies d'acquisition de connaissances particulières. D'un côté, nous avons la collaboration entre plusieurs laboratoires affiliés à des disciplines différentes, et d'un autre côté le recrutement au sein d'un seul laboratoire de chercheurs de différentes disciplines (Braun et Schubert 2003). Mais l'interdisciplinarité n'implique pas forcément une collaboration entre des chercheurs de plusieurs disciplines et, même quand c'est le cas, elle englobe une très grande variété de pratiques (Laudel 2001). Ainsi, en observant l'interdisciplinarité dans la pratique, on peut apercevoir que celle-ci est très diverse et la

recherche interdisciplinaire est menée de différentes façons (Rafols 2007), ce que rend plus complexe son étude.

La recherche interdisciplinaire est présentée plus comme un processus ou évolution dynamique que comme un état. La mesure de l'IDR doit donc indiquer un développement par rapport au temps. L'intégration de connaissances suggère un processus dynamique qui va de moins à plus d'intégration au sein d'un centre de recherche, comme conséquence les mesures doivent être faites sur des grands ensembles de données dans le temps.

Pour l'analyse de la collaboration interdisciplinaire, nous allons utiliser comme outil l'étude des réseaux. Dans la section suivante nous allons présenter quelques concepts de base de cette discipline.

2.2 Analyse de réseaux sociaux

Un réseau social est un ensemble de personnes ou groupes de personnes dont les membres ont des connexions d'une forme particulière avec les autres. L'analyse de ces systèmes a commencé il y a moins de 50 ans, et il a produit beaucoup de résultats concernant l'influence sociale, le regroupement des gens, la propagation de maladies et la communication de l'information parmi des sujets sur lesquels les sociologues se sont intéressés au XXIe siècle (Newman 2001b).

Les techniques d'analyse de réseaux sociaux sont devenues des outils de recherche dans nombreux projets pour étudier l'impact des interactions entre chercheurs sur le rendement en termes de production scientifique (Fleming, Mingo, et Chen 2007; Rost 2011). Les concepts principaux de cette analyse émergent presque indépendamment dans plusieurs disciplines sociales et scientifiques, la notion d'un réseau de relations qui lie des entités sociales par l'interaction entre ses membres a trouvé son expression à travers de cette discipline. Elle nous permet une analyse mathématique et visuelle des systèmes humains complexes (Krebs 2013).

L'analyse des réseaux a comme but principal de détecter et d'interpréter des patrons des liens sociaux entre les membres d'un groupe. Il représente une manière précise pour définir des concepts sociaux importants et un cadre d'analyse pour tester des théories basées sur des relations structurées, tout cela grâce à des mesures mathématiques explicites des propriétés structurelles du réseau. Pour mener ce type d'analyse, une approche exploratoire qui assume que les patrons des

liens au sein du réseau social ont une influence importante sur les membres doit être adoptée (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005).

Dans cette partie de la revue de la littérature, nous cherchons dans un premier temps à présenter les notions nécessaires pour mener cette étude.

2.2.1 Concepts fondamentaux de l'analyse des réseaux

Wasserman et Faust (1994) apportent une description exhaustive des éléments fondamentaux pour l'étude des réseaux sociaux. Nous allons présenter quelques concepts utilisés dans ce mémoire.

- **Acteur** : Dans l'étude des relations entre des entités sociales, chaque entité est appelée un acteur. Les acteurs sont des unités sociales individuelles ou collectives.
- **Lien relationnel** : Les acteurs sont liés les uns par rapport aux autres par les liens sociaux. Le type de liens peut être très vaste, la caractéristique principale qui définit un lien est l'établissement d'une relation entre une paire d'acteurs. Dans notre étude, puisque le lien relationnel va être la présence des coauteurs d'un document de recherche, nous allons considérer ce lien comme un partage de ressources immatérielles.
- **Groupe** : Ce concept peut être défini comme un ensemble fini d'acteurs que pour des raisons conceptuelles, théoriques ou empiriques est associé, c'est sur cet ensemble que les mesures sont réalisées.
- **Relation** : L'ensemble des liens du même type entre les membres d'un groupe est appelé relation.
- **Réseau Social** : c'est un ensemble ou des nombreux ensembles finis d'acteurs et la relation ou les relations définies sur eux. Nous pouvons alors décrire un réseau par une paire d'ensembles $G = \{P, E\}$ où P est un ensemble de n acteurs P_1, P_2, \dots, P_n et E est un ensemble des liens qui connectent deux éléments de P .

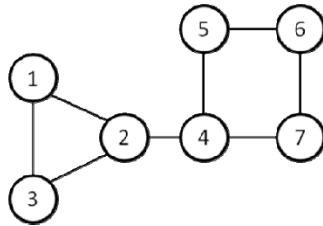


Figure 2-1. Réseau social avec 7 acteurs et 8 liens

2.2.2 Collecte des données et mesures dans la théorie des réseaux

Du fait que les données obtenues par les mesures des réseaux sont différentes à toutes autres données recueillies par les sciences sociales, un corps entier des méthodes a été développé pour son analyse. En effet, les théories des réseaux requièrent des mesures spécifiques en termes de patrons de relations qui caractérisent un système social et nous montrent comment celui-ci agit (Wasserman et Fraust 1994).

Il est donc important de savoir recueillir ces informations d'une manière correcte pour poursuivre avec les mesures.

2.2.2.1 Collection des données

Les techniques de collection des données peuvent avoir une influence dans les caractéristiques des relations, il faut donc choisir une technique adaptée à chaque étude. Pour faire l'étude d'un réseau, il faut au moins une variable structurelle, c'est-à-dire une variable qui mesure les liens entre deux auteurs. Cette variable peut être complétée après par des variables de composition qui nous donnent de l'information sur les caractéristiques des acteurs (Wasserman et Fraust 1994).

Pour pouvoir effectuer la collecte de données, il faut dans un premier temps définir la population. Dans certains cas, les limites de cette population sont définies facilement par l'existence d'une liste des membres de l'ensemble étudié. Le choix d'un ensemble défini nous permet d'avoir plus de précision et de simplifier l'analyse des données, car il n'est pas nécessaire de faire une autre analyse statistique sur un échantillon.

Ensuite nous devons définir la relation qu'on veut mesurer, cette relation doit représenter une connexion spécifique entre deux acteurs. Dans ce mémoire nous allons étudier la collaboration

entre deux chercheurs qui résulte en une co-rédaction de documents. Les chercheurs sont donc liés lorsqu'ils sont coauteurs d'un même document.

Une fois ces paramètres définis, il faut choisir une technique de collecte de données. Une des techniques utilisées dans la sociologie des sciences pour mesurer la diffusion des connaissances est l'utilisation des archives des publications. Dans cette technique, des archives d'interactions entre les chercheurs peuvent être analysées ce qui permet une analyse du passé (Carley et Hummon 1993). En utilisant cette méthode de collecte, les données obtenues sont des données secondaires, c'est-à-dire des données qui n'ont pas été recueillies spécifiquement pour notre recherche. Cette méthode d'obtention de données est plus adaptée à l'étude des réseaux que les questionnaires directs. Ceux-ci contiennent une quantité non négligeable d'erreurs provoquées par la subjectivité des répondants (Newman 2001b). En effet, la précision est plus grande lorsqu'on utilise des archives, car les gens ont souvent des problèmes à rapporter leurs interactions, comme montré par Bernard, Killworth et Sailer qui ont conclu après une étude d'observation et questionnement qu'au moins la moitié des personnes rapportaient incorrectement leurs interactions sociales (Bernard, Killworth, et Sailer 1980).

2.2.2.2 Mesures

Une fois la collecte de données mise en place, nous devons préparer celles-ci pour l'analyse. Il faut définir des paramètres de mesure pour pouvoir mener l'analyse, parmi ces paramètres se trouvent : l'unité d'observation, l'unité de modélisation et finalement la quantification des relations.

L'unité d'observation est l'entité sur laquelle les mesures sont prises. Les observations peuvent se faire dans des différents niveaux du réseau, souvent les données sont recueillies en observant les liens d'un acteur avec les autres membres du réseau, dans ce cas l'unité de mesure est un acteur. Mais nous pouvons aussi observer l'interaction à d'autres échelles, comme celle des sous-groupes. C'est le même cas pour la modélisation, il faut donc choisir une unité pour mettre en place un modèle d'étude.

Les propriétés des relations sont importantes pour la compréhension des mesures et la catégorisation des méthodes d'analyse. Il faut donc définir si une relation est directionnelle ou non directionnelle et si elle est dichotomique ou pondérée. Dans une relation directionnelle, le lien entre une paire d'acteurs a une origine et une destination. D'un autre côté une relation dichotomique est codée telle qu'elle représente si le lien existe ou pas, donc elle ne peut prendre que deux valeurs (0

ou 1). Au contraire, une relation pondérée peut prendre une gamme des valeurs qui indiquent la force, l'intensité ou la fréquence du lien entre chaque paire d'acteurs (Wasserman et Fraust 1994).

2.2.3 Représentation graphique

Les diverses représentations graphiques des réseaux ont servi comme bases pour le développement de concepts théoriques et sont devenues des outils importants pour l'analyse. Dans ce chapitre vont être présentées la théorie des graphes et la représentation matricielle, les représentations graphiques les plus utilisées.

2.2.3.1 Représentation matricielle : Sociomatrice

L'information d'un système social peut être présentée en forme matricielle de différentes façons. Une des matrices les plus utiles est la sociomatrice ou matrice d'adjacence, elle indique si deux nœuds sont adjacents ou pas. Cette matrice est de taille ($g \times g$) pour un ensemble contenant g acteurs, il y a donc une colonne et une ligne pour chaque acteur. Ces derniers sont indexés dans le même ordre pour les colonnes et les lignes. Chaque entrée x_{ij} montre quelle paire de nœuds est adjacente, elle prend la valeur 1 si les nœuds n_i et n_j sont liés ou 0 dans le cas échéant (Wasserman et Fraust 1994).

	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$	$n5$	$n6$
$n1$	-	0	0	0	1	1
$n2$	0	-	1	0	0	0
$n3$	0	1	-	0	0	0
$n4$	0	0	0	-	1	1
$n5$	1	0	0	1	-	1
$n6$	1	0	0	1	1	-

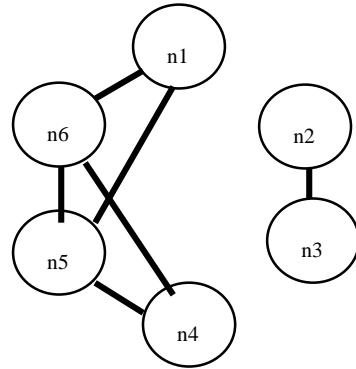


Figure 2-2 Exemple de représentation d'un réseau par une Sociomatrice

Un réseau pondéré peut être représenté par une socio matrice. Dans ce cas, l'entrée x_{ij} de la sociomatrice est la valeur associée avec la relation entre les acteurs i et j , cette entrée représente la force du lien entre les deux acteurs. Pour un réseau non dirigé, cette sociomatrice est symétrique.

L'intérêt de cette représentation est l'utilisation des opérations matricielles de base pour analyser des réseaux sociaux. L'addition et soustraction des matrices nous donne l'option de combiner des

matrices représentant des réseaux de même taille. La multiplication de matrices est une opération importante dans l'analyse de réseaux, car elle nous permet d'étudier des propriétés que vont être décrites dans la suite.

2.2.3.2 La théorie des graphes

Un graphe est une représentation qui se montre utile pour l'analyse des réseaux pour différentes raisons. D'une part, il nous fournit des opérations mathématiques et des concepts pour quantifier et mesurer ses propriétés structurelles. En conséquence la théorie des graphes permet de prouver des théorèmes sur les graphes qui s'appliquent aux structures sociales. Et d'autre part elle apporte une représentation d'un réseau social comme un modèle d'un système c'est-à-dire une représentation simplifiée, composée d'un ensemble d'acteurs et les liens entre eux. Dans ce modèle, les acteurs sont représentés par des points appelés nœuds et des lignes connectant les points sont utilisées pour représenter les liens (Wasserman et Fraust 1994).

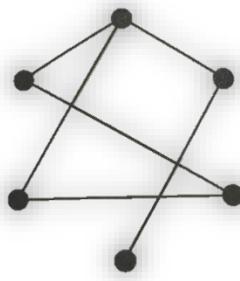


Figure 2-3: Graphe composé de 6 nœuds et 6 liens

Nous pouvons apercevoir aussi que dans un réseau les liens peuvent avoir une intensité différente; il peut y avoir des connexions plus fortes ou faibles. Pour représenter ces réseaux intrinsèquement pondérés, nous devons considérer cette différence d'intensité dans le graphe. Le graphe peut être complété par la pondération de chaque lien, comme dans le cas de la sociomatrice.

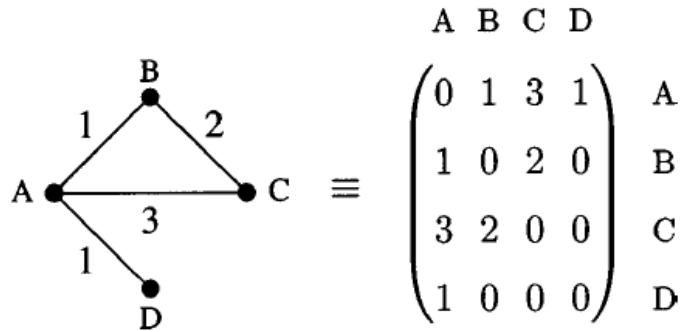


Figure 2-4: Graphe et matrice pondérés (Source: Wasserman et Fraust 1994)

Une fois le modèle du système social établi, des différentes propriétés structurelles peuvent être calculées. Les propriétés que vont être décrites ci-après permettent une compréhension et une étude des patrons de communication entre les membres du réseau.

2.2.4 Propriétés d'un graphe

2.2.4.1 Degré nodal

Le degré d'un nœud $d(i)$ est le nombre de lignes qui sont incidentes avec lui. Cela équivaut au nombre de nœuds que sont adjacents avec lui (Wasserman et Fraust 1994). Soit g le nombre total de nœuds dans le système. Le degré est un entier qui va de 0, si le nœud est isolé, jusqu'à $g-1$ si le nœud est connecté à tous les autres nœuds du graphe.

Le degré est très facile à calculer numériquement ; il donne beaucoup d'information sur l'activité de l'acteur présent dans le réseau. Cette propriété est la base d'une des mesures de centralité.

2.2.4.2 Parcours, sentiers et chemins

Dans cette section nous allons considérer les routes indirectes liant deux nœuds et qui passent par d'autres nœuds. Ces propriétés nous donnent de l'information sur la connectivité des graphes et elles nous aident à définir d'autres propriétés du réseau. Souvent pour étudier les réseaux sociaux il est important de savoir si un nœud est atteignable, si c'est le cas, par quels moyens il peut être atteint et quelle manière est l'optimale. Les propriétés suivantes aident à répondre à ces questions (Wasserman et Fraust 1994).

- **Parcours** : Un parcours est une suite de nœuds et lignes qui commence et finit par des nœuds. Dans cette suite, tous les nœuds sont incidents avec les lignes qui le précédent et suivent. La longueur du parcours est le nombre d'occurrences des lignes dans celui-ci. La suite représentant un parcours est notée W.
- **Sentier** : Un parcours dans lequel toutes les lignes sont différentes, même si deux nœuds peuvent être inclus plusieurs fois. En termes de communication, un sentier exprime qu'aucun lien communicatif n'est utilisé plus d'une fois.
- **Chemin** : Un chemin est un parcours dans lequel tous les nœuds ainsi que toutes les lignes sont différents. Un tel parcours dans un modèle de communication veut dire qu'aucun membre n'est informé plus d'une fois.

Un parcours serait : $W = n_1 l_2 n_4 l_3 n_2 l_3 n_4$

Un sentier serait : $W = n_4 l_3 n_2 l_4 n_3 l_5 n_4 l_2 n_1$

Un chemin serait : $W = n_1 l_2 n_4 l_3 n_2$

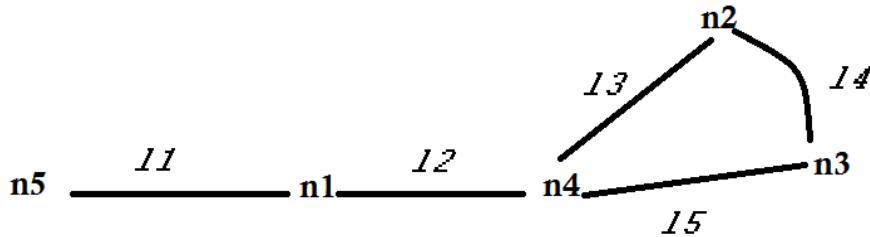


Figure 2-5: Parcours, sentier et chemin dans un graphe

Dans le cas des graphes pondérés, ces propriétés sont adaptées. Les définitions de parcours, sentier et chemin restent inchangées mais par contre la valeur et la longueur d'un chemin doivent être adaptées. La valeur d'un chemin est définie alors comme la valeur la plus faible attachée à n'importe quelle ligne du chemin, la longueur est la somme des valeurs attachées à toutes les lignes du chemin (Wasserman et Faust 1994).

2.2.4.3 Géodésique

Un des concepts fondamentaux dans la théorie des graphes est la « géodésique » ou le chemin le plus court qui lie deux acteurs. Ce chemin peut ne pas être unique, il peut exister plusieurs géodésiques entre deux nœuds. La distance géodésique ou simplement distance entre deux nœuds

est définie comme la longueur de la géodésique entre eux. Soit deux nœuds n_i et n_j , la distance entre eux est notée $d(i,j)$ (Newman 2001a).

Cette propriété permet la définition du diamètre d'un graphe, qui est la distance géodésique plus grande entre deux nœuds.

2.2.4.4 Centralité

Une des utilités principales de la théorie des graphes dans l'analyse des réseaux sociaux est l'identification des acteurs « les plus importants » dans un système social. Les mesures qui nous permettent de faire ressortir l'importance des acteurs essaient de décrire et mesurer les propriétés de la « localisation d'un acteur » au sein d'un réseau. Un acteur est considéré éminent si les liens de celui-ci le rendent particulièrement visible pour les autres acteurs du réseau (Friedkin 1991). Les acteurs plus importants sont donc ceux qui sont impliqués d'une manière plus vaste dans des relations avec les autres membres du réseau. Un acteur central est celui qui est impliqué dans beaucoup de liens.

Pour trouver quels acteurs sont les plus importants, nous allons donc chercher des mesures qui expriment quels acteurs sont situés au « centre » de l'ensemble d'acteurs. Dans les années 70s Freeman a développé un ensemble de mesures de centralité basées sur l'intermédiarité (*betweenness*). Il a présenté l'intermédiarité comme une propriété structurelle de la communication, et il a construit graduellement après quatre concepts de la centralité dans les réseaux sociaux qui ont été approfondis par la suite (Freeman 1977) :

- Centralité en termes de « degrés » : les flux entrants et sortants d'information de chaque nœud comme centre.
- Centralité en termes de « proximité (*closeness*) » : c'est la distance d'un acteur par rapport à tous les autres auteurs d'un réseau. Cette mesure représente la portée de la communication.
- Centralité en termes d' « intermédiarité (*betweenness*) » : c'est le niveau dans lequel l'acteur est placé dans le chemin le plus court entre les autres paires d'acteurs dans le réseau.
- Centralité en termes de projection dans les premiers « vecteurs propres » de la sociomatrice.

2.2.4.4.1 Centralité de degré

Dans cette mesure, la centralité est exprimée par le degré du nœud associé à celui-ci. La centralité de degré $C_D(i)$ est définie par Freeman (1979), soit :

- i un nœud du réseau
- $d(i)$ le degré de ce nœud i
- x_{ij} la valeur du lien entre le nœud i et le nœud j

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

Une standardisation proposée pour cette mesure est la division par le nombre total de connexions dans le réseau étudié. Ce nombre est calculé en ajoutant les valeurs associées à toutes les lignes du réseau. De cette manière, des réseaux qui ne sont pas de la même taille peuvent être comparés.

Un acteur avec une grande centralité, mesurée par son degré, est situé là où « les choses se passent » dans le réseau, car cet acteur est en contact direct avec beaucoup d'autres auteurs. En conséquence, cet acteur peut être reconnu par les autres comme un canal majeur de communication. Au contraire, un acteur avec un degré faible est périphérique dans le réseau et il a peu d'influence sur les liens présents dans celui-ci (Wasserman et Fraust 1994).

2.2.4.4.2 Centralité de proximité (« closeness centrality »)

Cette approche de la centralité est basée sur la distance. Cet indicateur mesure la proximité d'un acteur par rapport à tous les autres. Avec cette vision, l'acteur est central s'il peut interagir rapidement avec les autres acteurs. Dans un réseau de communication, ces acteurs n'ont pas besoin d'intermédiaires pour faire passer leurs idées. Les acteurs occupant des endroits centraux en ce qui concerne la proximité sont très productifs en termes de communication avec les autres membres (Freeman 1979).

La centralité de proximité est définie comme une proportion. Dans un premier temps, il s'agit de mesurer la distance de ce nœud par rapport à tous les autres nœuds du réseau. Ensuite, il faut faire la somme de toutes ces distances, soit l'éloignement ($E(x)$) tel que (Freeman 1979):

x : un nœud

y : le reste des nœuds du réseau

$d(x,y)$: la distance entre les nœuds x et y

$$E(x) = \sum_y d(x, y)$$

On définit la centralité de proximité $C(x)$ comme la réciproque de l'éloignement tel que :

$$C(x) = \frac{1}{E(x)} = \frac{1}{\sum_y d(x, y)}$$

La centralité de proximité nous donne une mesure globale de la position du nœud au sein du réseau. Pour étudier la position locale d'un nœud, nous pouvons étudier la centralité d'intermédiarité que nous allons présenter dans ensuite.

2.2.4.4.3 Centralité d'intermédiarité (« Betweenness centrality »)

Les interactions entre deux acteurs qui ne sont pas adjacents peuvent dépendre du reste des membres du réseau, surtout ceux qui se situent dans les chemins entre les deux. Ces autres acteurs peuvent potentiellement avoir un contrôle sur les interactions entre les deux acteurs. Dans cette approche, un acteur est central s'il est intermédiaire entre beaucoup d'autres acteurs dans le système social (Wasserman et Fraust 1994).

L'intermédiarité (« betweenness ») est une mesure de la fréquence dans laquelle un nœud est placé dans le chemin le plus court entre les autres paires de nœuds dans le réseau. En conséquence, cela mesure le degré dans lequel le nœud étudié peut fonctionner comme un point de contrôle pour la communication. Si un élément avec un niveau important d'intermédiarité est effacé du réseau, celui-ci se décomposerait en des grappes cohérentes entre elles (Leydesdorff 2007).

On définit g_{ij} comme le nombre des chemins géodésiques entre i et j, et g_{ikj} le nombre de ces chemins géodésiques qui passent par k. La centralité par intermédiarité de k, $B(k)$ es définie par (Farrall 2007) :

$$B(k) = \sum \sum \frac{g_{ikj}}{g_{ij}}, i \neq j \neq k$$

L'intermédiairité est une mesure relationnelle. Nous pouvons espérer qu'un individu qui est « intermédiaire » va s'appuyer sur différents groupes d'acteurs, cela veut dire qu'il lie les groupes mais pas forcément qu'il appartient à eux (Leydesdorff 2007).

2.2.4.4.4 *Centralité par rapport à l'analyse des vecteurs propres (« eigenvector centrality »)*

Cette mesure de centralité peut être considérée comme une extension de la centralité par degré. La centralité par vecteurs propres d'un nœud dans un réseau dichotomique est définie telle qu'elle soit proportionnelle à la somme des centralités des voisins de ce nœud. En conséquence, un nœud peut présenter une grande centralité soit par être connecté à beaucoup d'autres membres, soit par connexion avec autres qui ont une centralité importante (Newman 2004). L'analyse des vecteurs propres permet la décomposition de la sociomatrice, ce que détermine la position des nœuds au sein du réseau. Dans notation matricielle telle que \mathbf{A} est la sociomatrice et la centralité est \mathbf{X} un vecteur propre tel que:

$$\lambda \mathbf{X} = \mathbf{AX}$$

Newman a démontré que λ doit être la valeur propre la plus grande du vecteur propre correspondant. Dans le cas d'un réseau pondéré, les voisins avec un lien deux fois plus fort contribuent le double à la centralité de valeur propre. La généralisation vers un système pondéré de ce type de centralité est donc possible, la centralité est représentée alors par le vecteur propre le plus important de la sociomatrice (Newman 2004).

Grâce aux concepts présentés ici nous pouvons établir des mesures de différents types de collaboration. Nous allons présenter ces mesures dans la section suivante.

2.2.4.5 **Densité et centralisation**

La partie précédente s'est concentrée sur la centralité de certains acteurs, mais il est possible aussi d'analyser la mesure dans laquelle un graphe a une structure globale centralisée. Les concepts de densité et centralisation font référence à différents aspects de la compacité globale d'un graphe. La densité décrit le niveau de cohésion global d'un graphe tandis que la centralisation décrit le degré dans lequel cette cohésion est organisée autour des points focaux. Ces mesures sont donc complémentaires (Borgatti, Everett, et Freeman 2002).

La densité d'un graphe traduit l'idée qu'un réseau plus connecté a une structure plus compacte. Elle est définie comme le nombre des liens présents divisé par le nombre possible des liens dans le réseau (Wasserman et Fraust 1994). Dans cette définition les liens multiples et les liens pondérés ne sont pas pris en compte. Nous allons considérer uniquement des liens distincts, en conséquence nous allons traiter les liens multiples ou pondérés comme un seul lien. Nous pouvons l'exprimer la densité de manière suivante :

Soit n = nombre d'acteurs dans le réseau

$d(i)$ = le degré de l'acteur i

La densité du réseau $D = \sum_{i=1}^n d(i) / (n^2 - n)$

La densité d'un réseau est inversement proportionnelle la taille de celui-ci. Donc pour pouvoir comparer les densités de différents réseaux nous devons compléter cette mesure par le degré moyen des acteurs (Cantner et Graf 2006).

Dans le cas de la centralisation, Freeman (1979) a montré comment les mesures de centralité d'un acteur peuvent être transformées en mesures globales de centralisation. Une mesure de centralisation est l'expression de comment le graph est organisé autour de l'acteur le plus central. La procédure générale dans une mesure de centralisation est de mesurer la différence entre la centralité de l'acteur le plus central et celles des autres. Ensuite, la centralisation est le rapport de l'addition de ces différences et le maximum possible de ces différences (Freeman 1979).

Nous pouvons donc définir le degré de centralisation de la manière suivante :

Soit n = nombre d'acteurs

$Cx(pi)$ = la centralité d'un point i

$Cx(p^*)$ = la valeur plus grande de la centralité d'un point du réseau

Max $\sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(pi))$ = le maximum possible de l'addition des différences des centralités pour un graphe composé de n acteurs

Le degré de centralisation : $Cx = \frac{\sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(pi))}{\text{Max } \sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(pi))}$

2.2.5 Analyse des réseaux sociaux et collaboration

Les études des réseaux des chercheurs, dont les liens sont établis par la co-rédaction d'articles scientifiques, ont permis d'établir des mesures d'intensité de collaboration (Newman 2001b). L'utilisation de cette méthode pour caractériser les liens qui existent entre les chercheurs présente certains avantages, il est très probable que deux auteurs qui ont écrit un document ensemble se connaissent personnellement. Un autre avantage intéressant est l'accès aux données. Du fait que les publications des chercheurs sont bien documentées dans des bases de données électroniques, le traitement automatique est possible, et cela facilite la construction et l'analyse de réseaux plus vastes (Newman 2001a).

Un aspect important de la collaboration dans la recherche est la communication, donc le partage d'information entre un groupe localisé de chercheurs. Le résultat de ce partage de connaissance est influencé par la structure du réseau dans lequel celle-ci se propage, car cette structure affecte la transmission et diffusion de l'information (Schiffauerova 2009). Dans la section suivante, nous allons explorer plus profondément le lien qui existe entre la structure du réseau et la collaboration.

2.2.5.1 Structure du réseau et collaboration

La structure d'un réseau joue un rôle important dans la communication et donc dans le transfert des connaissances. Il existe alors une relation directe entre la structure du réseau et la performance de l'organisation. La collaboration entre les chercheurs avec des contacts dans différentes disciplines comble des trous structurels dans le réseau (Burt 2009), ce que permet aux scientifiques l'accès et le partage des connaissances de diverses disciplines résultant en une augmentation de la créativité et de l'innovation (Tsai 2001).

Cette structure est dynamique et peut être transformée par les acteurs. Par exemple, dans un réseau, la notoriété des chercheurs peut agir comme signal pour connecter avec les autres et les encourager à partager leurs ressources. Permettant ainsi aux individus de mettre en place les relations qui les bénéficient le plus (Bala et Goyal 2000).

Les différents aspects de la structure ont des conséquences diverses sur les individus. Par exemple, la cohésion sociale au sein des relations a un impact dans la motivation et la volonté des individus à investir du temps, énergie et effort pour partager les connaissances avec les autres. En outre, la portée d'un réseau qui relie différentes sources de connaissances augmente la capacité d'une

personne d'acheminer des idées complexes à des destinataires hétérogènes (Reagans et McEvily 2003).

La cohésion sociale a un effet positif dans le transfert des connaissances par son influence dans la motivation pour transmettre son savoir aux autres membres du réseau. La source de la volonté pour transmettre la connaissance au sein des réseaux sociaux denses est la solidité des liens entre des tiers partis (Reagans et McEvily 2003).

L'importance de la volonté réside dans le fait que pour le transfert de connaissances, le destinataire est dans la plupart des cas gagnant, pendant que pour la source le transfert représente un coût en termes de temps et d'effort de communication. La transaction est donc une action de coopération et celle-ci, plus probable si les membres autour de celle-ci ont des forts liens mis en place par des normes de coopération et de réputation des individus. Dans un réseau dense, la réputation des membres qui ne veulent pas coopérer peut se répandre plus facilement et donc limiter leur capacité d'interaction dans le futur. D'autre part, les normes de coopération promeuvent le transfert des connaissances en limitant la concurrence, qui est un obstacle pour la collaboration, en modérant le conflit possible entre les membres du groupe (Reagans et McEvily 2003).

L'étude des réseaux sociaux se présente donc comme un outil privilégié pour l'étude de la collaboration. Ci-après, nous allons présenter les concepts de base de cette discipline pour pouvoir mener notre étude sur l'influence de la création des centres de recherche dans la collaboration.

2.3 Mesures d'interdisciplinarité et collaboration régionale

Le concept d'interdisciplinarité est très ambigu, pluriel et pourtant controversé ce qui nous conduit à un manque de consensus dans l'utilisation d'indicateurs (Bordons, Morillo, et Gómez 2005). Nous prenons l'intégration des connaissances comme la base du processus cognitif, donc une mesure valable de la recherche interdisciplinaire doit capter le degré d'intégration qui a lieu au fur et à mesure que la recherche est menée (Wagner et coll. 2011).

Le point commun des approches bibliométriques, qui est la méthode la plus répandue pour mesurer l'interdisciplinarité, est qu'elles s'appuient sur un système de catégorisation des disciplines et un concept particulier de l'interdisciplinarité (Schummer 2004). Les mesures sur les travaux publiés se basent sur l'affirmation que le travail de recherche est complété une fois qu'il est publié et que

cette publication fait fonction de correction, évaluation et acceptation par une communauté scientifique (Wagner et coll. 2011).

Dans ce travail, nous allons utiliser plusieurs méthodes bibliométriques pour mesurer la recherche interdisciplinaire. Nous allons considérer la collaboration comme une notion clé dans la recherche interdisciplinaire, donc nous allons prendre les liens des coauteurs comme unité de mesure. Cette stratégie pour l'acquisition des connaissances nous montre seulement la collaboration entre des chercheurs de plusieurs disciplines ; cela ne nous montre pas la collaboration dans la pratique quotidienne au sein des laboratoires. Dans certains cas, cela peut entraîner l'interdisciplinarité même dans le cas où les chercheurs sont affiliés à une seule discipline (Rafols et Meyer 2007). Malgré cet inconvénient, nous allons montrer que cet indicateur peut nous donner beaucoup d'information sur la collaboration dans la production des nouvelles connaissances.

2.3.1 Les composants de l'intégration des connaissances

Comme remarqué précédemment, le concept clé de l'interdisciplinarité est l'intégration des connaissances. Dans le but de capturer le processus d'intégration dans la recherche, nous devons nous intéresser à deux aspects (Rafols et Meyer 2010):

- **Diversité** : nombre, équilibre et degré de différence parmi les différents corps de connaissances qui sont concernés.
- **Cohérence** : l'importance avec laquelle sont reliés des sujets spécifiques, concepts, outils, etc. dans le processus de recherche.

Dans ce cadre, le processus d'intégration des connaissances est caractérisé par une diversité importante, ce qui représente l'hétérogénéité cognitive et une augmentation de la cohérence. Nous représentons alors l'intégration des connaissances comme un processus dans lequel des corps de recherche différents qui étaient avant déconnectés se relient les uns par rapport aux autres (Rafols et Meyer 2010).

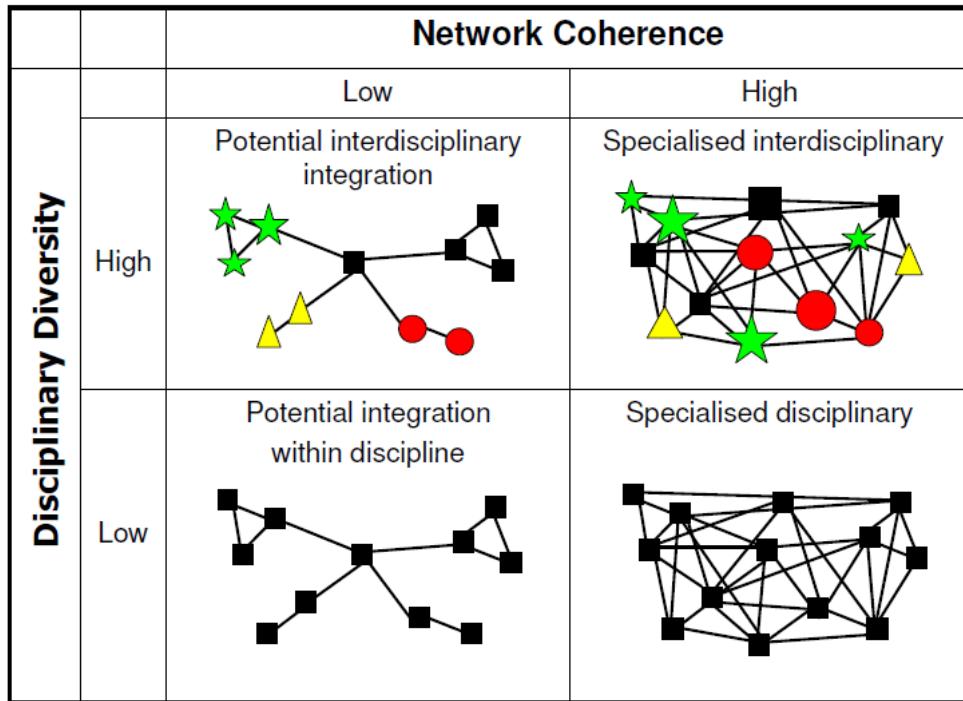


Figure 2-6: Diversité et cohérence (source : Rafols et Meyer, 2010)

La figure 2-6 décrit un modèle simple pour retracer l'intégration des connaissances à travers la diversité disciplinaire et la cohérence du réseau.

2.3.2 Diversité des disciplines

Le concept de diversité est devenu un sujet principal dans les politiques de science et technologie. Cet intérêt peut être dû à différentes raisons. Dans l'étude des sciences, les interactions entre des disciplines avec des perspectives diverses sont considérées comme un moyen d'améliorer la rigueur scientifique mais surtout la créativité (Stirling 2007). Dans un contexte plus large, la diversité institutionnelle et technologique sont vues comme des stimuli pour l'innovation et la productivité (Grabher et Stark 1997).

Le concept de diversité est utilisé dans plusieurs disciplines pour faire référence aux attributs d'un système composé par trois propriétés de base différentes (Stirling 2007):

- Variété : nombre de catégories.
- Équilibre : l'uniformité dans la distribution des catégories.
- Similarité : le degré dans lequel les catégories sont similaires.

La **figure 2-7** montre comment une augmentation d'un de ces attributs a comme résultat l'augmentation de la diversité dans le système analysé.

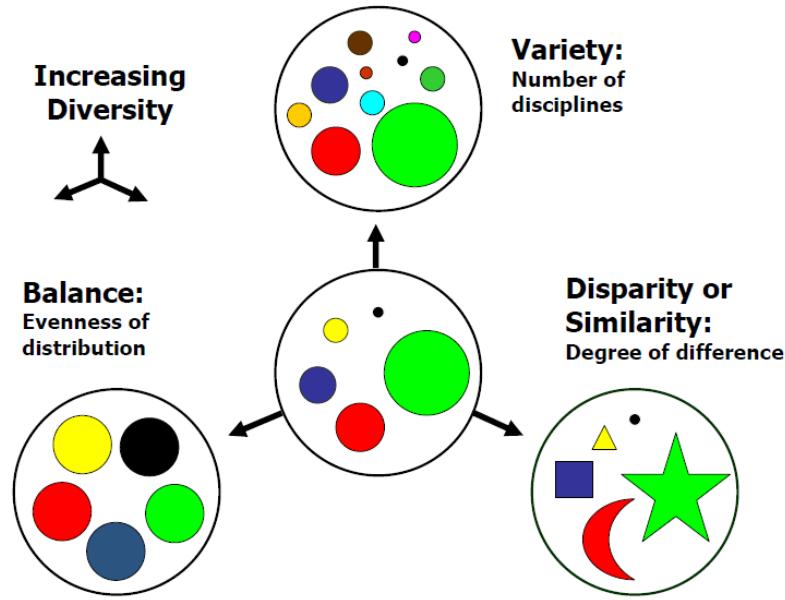


Figure 2-7 Représentation schématique des attributs de la diversité (source : (Rafols et Meyer 2010)

Ces trois propriétés qui composent la diversité sont toutes les trois nécessaires mais individuellement insuffisantes. Nous allons capturer chacune des propriétés dans la mesure de diversité par rapport à ces trois composantes.

2.3.3 Cohérence

Le concept de cohérence vise à capturer le degré dans lequel les éléments d'un système sont articulés et forment une véritable constellation (Rafols et Meyer 2010). Par conséquent, la cohérence est une propriété générale qui aborde la fonctionnalité d'un système. Dans notre contexte, la cohérence exprime le niveau dans lequel les chercheurs d'un centre de recherche forment une structure compacte. Si nous mesurons le degré de proximité cognitive par la collaboration entre les auteurs en utilisant l'étude des co-publications, un réseau plus regroupé est considéré comme ayant une cohérence cognitive plus importante.

La cohérence a été considérablement explorée dans les sciences de l'information. Dans le contexte des études sur l'innovation, elle a été utilisée pour mesurer la similarité entre les bases technologiques des entreprises avec l'idée que « si les entreprises sont plus cohérentes entre elles,

la probabilité du succès augmente » (Nesta et Saviotti 2005). Dans le cas de l'analyse des réseaux de collaboration, nous introduisons la cohérence pour exprimer le degré d'intégration déjà en place dans un corps de recherche. Néanmoins l'aspect clé de la recherche interdisciplinaire étant le processus d'intégration des connaissances, l'interdisciplinarité doit être évaluée par son évolution temporelle et donc par le changement de la cohérence (Rafols et Meyer 2010).

La cohérence peut prendre des significations différentes dépendamment de l'unité d'analyse utilisée dans l'étude de l'interdisciplinarité. Par exemple, une grande cohérence dans l'ensemble de références d'une publication peut refléter une spécialisation importante dans les pratiques de référencement (Rafols et Meyer 2010). Dans le cas d'un centre interdisciplinaire, une grande cohérence dans la collaboration pourrait suggérer que le centre est en train d'accomplir leur mission d'intégration de connaissances.

Du fait que notre définition de la cohérence est en termes de relations dans un réseau de chercheurs, l'analyse touche le domaine des réseaux sociaux comme l'analyse des regroupements et centralité. En effet, le lien entre l'interdisciplinarité et la structure des réseaux a été mis en place par Besselaar et Heimeriks (2001) et repris par Leydesdorff (2007). Ce dernier explore la centralité des réseaux en termes d'intermédialité comme indicateur d'interdisciplinarité.

2.3.4 Combinaison de diversité disciplinaire et la cohérence d'un réseau.

Avec l'introduction des concepts de diversité et cohérence, nous avons mis en évidence la relation qu'ils ont avec l'interdisciplinarité, mais pourquoi est-il nécessaire de les combiner pour obtenir une vision plus complète de l'intégration des connaissances ?

Un des problèmes avec la diversité des disciplines est qu'elle est basée sur des catégories prédefinies. À cause de la rigidité de celles-ci, nous pourrions rater des phénomènes émergents ou dynamiques dans la science. L'inclusion du paramètre de similarité atténue les effets de la création des nouvelles catégories similaires, mais ne résout pas le problème de l'information que peut être cachée dans les catégories déjà existantes (Rafols et Meyer 2010; Stirling 2007) .

D'un autre côté, la mesure de la cohérence semble une approche plus complète mais elle présente un compromis problématique entre la taille et la précision de l'analyse. Pour des recherches au niveau microscopique ces approches sont plus précises pour décrire des flux des connaissances et autres liens entre les entités. Mais ces indicateurs ne peuvent pas capturer la position des éléments

sur la cartographie scientifique, ce que provoque un manque de perspective à une autre échelle du processus d'intégration. Contrairement à cela, à un niveau macroscopique, dans les études qui utilisent des mesures compliquées, les liens entre les éléments deviennent opaques, et l'utilisation de grandes bases de données requiert l'accès à des ressources computationnelles qui sont difficile à avoir pour la plupart des chercheurs (Rafols et Meyer 2010). Complémenter la diversité avec la cohérence du réseau nous donne deux perspectives orthogonales de l'intégration des connaissances, car les indicateurs pour évaluer la cohérence sont indépendants des catégories de référence.

En vue de ces contraintes, le meilleur choix est d'utiliser les deux approches pour identifier l'intégration des connaissances dans des études de taille petite et moyenne. En utilisant les deux méthodes, nous pouvons avoir quatre cas possibles :

- **Faible** diversité – **Faible** cohérence : ce cas illustre un centre de recherche mono disciplinaire et dans lequel les membres ne collaborent pas forcément entre eux.
- **Forte** diversité – **Forte** cohérence : dans ce cas, la collaboration se fait entre des chercheurs dans beaucoup de disciplines mais ils collaborent avec des chercheurs de profil similaire. Cette similarité nous dit que le centre de recherche a une spécialité particulière. Cela a comme résultat un centre interdisciplinaire mais dans lequel il y a une faible intégration des nouvelles connaissances.
- **Faible** diversité – **Forte** cohérence : c'est le cas d'un centre spécialisé dans lequel les membres sont affiliés à des disciplines similaires et collaborent entre eux.
- **Forte** diversité – **Faible** cohérence : dans ce cas les chercheurs de ce centre de recherche appartiennent à des disciplines différentes et qui ne sont pas liées fortement il existe donc un fort potentiel pour l'intégration des connaissances.

Même si la faible cohérence suggère une intégration potentielle pour confirmer sa mise en place, nous allons regarder son évolution par rapport au temps.

CHAPITRE 3 SUJET ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Ce chapitre est consacré à l'explication approfondie des méthodes utilisées pour analyser l'intégration des connaissances ainsi comme la collaboration interuniversitaire au sein d'un centre de recherche. Il est divisé en 6 sections. La première section explique le choix du contexte. La deuxième section décrit la structure de données utilisées ainsi que leur obtention et leur préparation pour être utilisées dans l'analyse. La troisième section explique la technique pour mesurer la collaboration et la construction des sociomatrices. La quatrième section décrit le choix et construction des indicateurs utilisés dans l'analyse. La cinquième section explique d'une manière approfondie la construction de la classification disciplinaire des chercheurs. La dernière section décrit les outils informatiques et procédures utilisés pour la construction et l'analyse du réseau de collaboration dans le centre de recherche ainsi que la visualisation développée pour représenter l'activité collaborative dynamiquement.

3.1 Contexte

Le domaine des transports a été choisi pour effectuer notre analyse parce que c'est un domaine multidisciplinaire qui vise à résoudre une problématique complexe, comme l'est la mobilité des personnes et marchandises. La mobilité est actuellement un enjeu global qui présente des problèmes dont les solutions sont au-delà d'un seul champ pratique et nécessite donc la participation de différents domaines.

L'étude de la recherche en mobilité offre donc l'opportunité d'avoir accès à un domaine dynamique et en plein essor qui est important pour la communauté scientifique mais aussi pour les gouvernements. Dans le but d'étudier les problématiques issues de la mobilité, le gouvernement du Québec a formé en 2006 le CIRRELT (Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport). Ce centre de recherche est le résultat de la fusion de deux centres de recherche reconnus, d'un côté le Centre de recherche sur les transports (CRT) situé à Montréal et d'autre part le Centre de recherche sur les technologies de l'organisation réseau (CENTOR) basé dans la ville de Québec. Il a comme but d'agir comme un catalyseur permettant d'attirer des chercheurs pour la création des nouvelles équipes, stimuler la mise en commun des expertises disponibles et s'établir ainsi comme une référence incontournable au niveau local et international (Cirrelt 2015).

Les différentes activités de recherche du CIRRELT comme le sont les conférences, les ateliers de recherche et les séminaires nous permettent d'étudier la collaboration entre ses 78 membres réguliers dans différentes productions scientifiques autres que seulement les articles scientifiques.

Dans notre analyse, le contexte temporel est très important, car nous voulons montrer l'utilité de l'existence des centres de recherche à travers de l'évolution de la collaboration. Pour montrer cette évolution, nous pouvons décomposer la période d'analyse en deux parties. Nous considérons la première partie, qui présente les interactions entre les chercheurs avant la formation du CIRRELT et qui est composée des deux premières périodes d'analyse. La deuxième partie de l'analyse débute à la formation du centre de recherche et est composée des 3 dernières étapes d'analyse.

3.2 Hypothèses de recherche

L'approche énoncée dans ce mémoire s'appuie sur les hypothèses de recherche suivantes.

D'abord, un des buts de la création du CIRRELT exprimé dans sa description (Cirrelt 2015) est la mise en commun des expertises représentées par ses différents membres. Un moyen d'atteindre cet objectif est la collaboration entre les chercheurs associés.

La structure d'un réseau joue un rôle important dans la communication et le transfert des connaissances. Il existe alors une relation directe entre la structure du réseau et la réussite collaborative de l'organisation. Les propriétés structurelles comme la cohésion et la portée d'un réseau ont un effet positif dans le transfert des connaissances. Nous pouvons alors établir une première hypothèse :

Hypothèse 1: La création d'un centre de recherche par la fusion de deux centres régionaux favorise la collaboration entre des entités, s'exprimant par l'augmentation de la cohésion globale du centre. Nous pouvons traduire cela par deux sous-hypothèses :

- a) La formation du centre entraîne une augmentation de la cohésion globale donc du coefficient de centralisation du réseau de collaboration.
- b) La formation du centre provoque une croissance de la cohésion par portée mesurée par la moyenne de la centralité par proximité (Closeness) des membres du CIRRELT.

Ensuite, nous allons étudier l'influence de la formation d'un centre de recherche composé de chercheurs de différentes disciplines sur l'intégration des connaissances. Meyers et Rafols (2010)

proposent un lien entre l'intégration des connaissances et l'augmentation de la diversité et la cohésion des disciplines représentées par les membres d'un centre (Rafols et Meyer 2010). En plus, les activités mises en place au sein d'un centre de recherche favorisent la collaboration et en conséquence l'interdisciplinarité (Qiu 1992). Nous pouvons alors proposer l'hypothèse suivante :

Hypothèse 2 : Il existe une augmentation de l'interdisciplinarité suite à la formation du CIRRELT, cela est traduit par deux sous hypothèses.

- a) Suite à la formation du CIRRELT, il existe une évolution positive dans la diversité de connaissances.
- b) Suite à la formation du CIRRELT, il y a une augmentation de la cohérence disciplinaire dans le système social.

3.3 Objectifs de recherche

L'objectif des travaux effectués dans ce mémoire est d'analyser les interactions entre les chercheurs au sein d'un centre de recherche pour montrer l'influence de la formation de ce centre dans la collaboration.

Pour atteindre cet objectif, nous avons établi plusieurs objectifs spécifiques :

- Mettre en place un processus d'utilisation des données présentes dans les rapports des centres de recherche.
- Caractériser les réseaux de façon à illustrer et à mesurer la collaboration entre les chercheurs.
- Adapter une méthode de classification des chercheurs par discipline à l'aide des données accessibles facilement sur internet.
- Classer les membres du centre de recherche par discipline et institution.
- Montrer l'évolution de la diversité et cohérence des disciplines des chercheurs présents dans le centre de recherche ainsi que la structure du réseau de collaboration.
- Représenter graphiquement la collaboration au sein du centre de recherche choisi.

3.4 Méthodologie générale de recherche

La méthode de recherche est illustrée à la figure 3-1. Chacune des parties va être expliquée dans les sections suivantes.

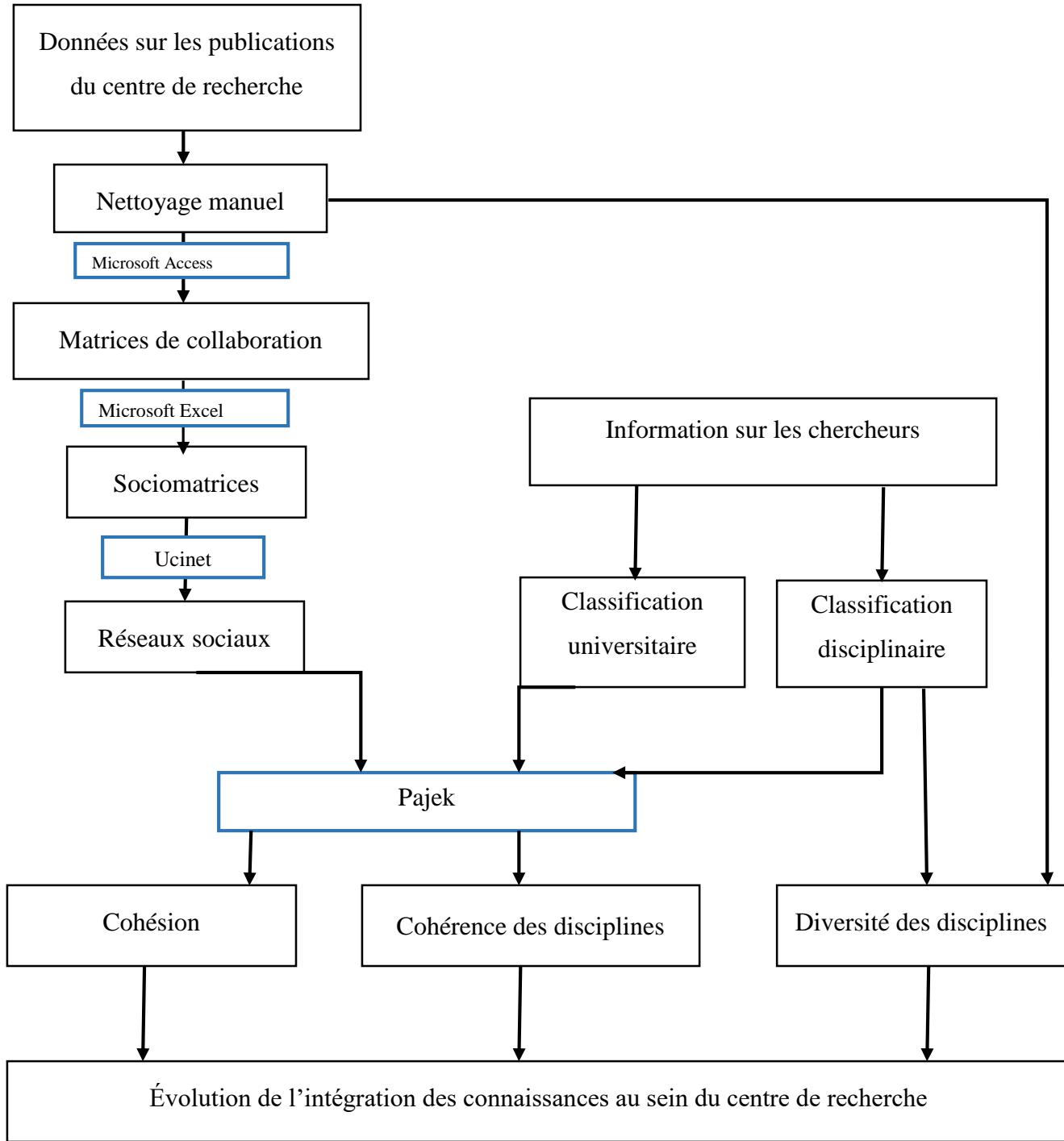


Figure 3-1: Méthodologie générale de recherche

3.5 Données

Les données disponibles pour notre étude sont dans la liste de publications des membres du CIRRELT, depuis l'année 2000 jusqu'à l'année 2014, soit 8 747 documents produits au sein du centre de recherche. Cette base de données contient :

- Le type de publication, qui peut être un article dans un journal scientifique, un acte de conférence, des communications ou documents de recherche.
- La référence du document, c'est-à-dire le titre, la publication, le lieu et la date.
- Les noms des auteurs, à chaque auteur est associé un identifiant pour faciliter l'identification des membres et la manipulation des données.

La population étudiée pour construire le réseau de collaboration est constituée des 3 006 chercheurs qui ont écrit un document de recherche dans la base de données du CIRRELT. Néanmoins, l'analyse va se centrer sur les membres du centre de recherche. La liste des 78 membres réguliers du CIRRELT (voir Annexe A) a été obtenue sur le site internet de celui-ci. L'information sur le site internet est plus adaptée que les rapports annuels, car elle est mise à jour plus régulièrement. Nous avons aussi complété la liste avec l'affiliation universitaire de chaque membre régulier du centre (Cirrelt 2015).

L'ensemble des publications réalisées par les chercheurs au sein du CIRRELT apporte une base de données secondaire que permet de construire la totalité du réseau de collaboration des membres réguliers. L'utilisation d'une archive de données secondaires entraîne des problèmes liés au traitement des données pour leur étude.

La préparation de cette base de données a requis un effort considérable, car l'information a été fournie en forme d'une liste dans laquelle les références des documents et les noms des auteurs sont sur une même ligne séparés par des symboles de ponctuation divers.

Pour la préparation des données, Microsoft Excel 2013 et Microsoft Access 2013 ont été utilisés, nous avons complété les fonctions des tableaux sur Excel par des Macros écrites sur Visual Basic dans son langage de programmation.

Le logiciel Excel permet de diviser l'information contenue dans la base de données du CIRRELT en colonnes. Cependant, la diversité dans le nombre d'auteurs et l'information des productions

scientifiques donne comme résultat un décalage dans les données contenues dans chaque catégorie. Après cette division un travail manuel d'organisation des 8 747 documents a été nécessaire.

Les données ont été divisées dans les catégories suivantes :

- Auteur : Le nombre d'auteurs des documents de recherche varie de 1 à 12 auteurs, en conséquence 12 colonnes sont destinées auteurs avec leur numéro d'identification.
- Type de publication
- Titre du document et publication
- Date de publication
- Période d'analyse

Dans le but de réaliser une analyse de l'évolution du CIRRELT, les publications ont été classées dans cinq périodes temporelles de même durée, soit 3 ans décrites dans le tableau 3-1. Une moyenne mobile peut être utilisée pour définir les périodes d'analyse, mais dans notre étude l'évolution de nos réseaux est assez lente pour garder les périodes temporelles fixes. Pour ce faire, une formule conditionnelle a été utilisée sur Excel avec les conditions suivantes :

Tableau 3-1: Correspondance date de publication et périodes d'analyse.

Date de publication	Période d'analyse
2000-2002	1
2003-2005	2
2006-2008	3
2009-2011	4
2012-2014	5

Pour faciliter la manipulation des données, nous allons utiliser les numéros d'identification des auteurs au lieu de leur nom. Pour isoler l'identifiant dans chaque document du centre de recherche, la fonction division de cellules sur Excel a été utilisée. Le résultat de cette opération est le remplacement des noms des auteurs par leur identifiant sur une nouvelle base de données dans laquelle apparaissent les chercheurs qui ont coécrit les documents.

La base de données contenant les identifiants des auteurs de chaque document a été divisée en 5 bases différentes dans le but de construire 5 réseaux qui représentent la collaboration dans le centre de recherche dans les périodes mentionnées précédemment. Pour faire cela, nous avons utilisé la fonction filtre dans Excel. Ces nouvelles bases de données sont la source pour la construction des sociomatrices. (cf. partie 3.6)

3.6 Crédit des sociomatrices

Dans le but de faire l'analyse du réseau de collaboration au sein du CIRRELT, nous devons dans un premier temps construire les matrices d'adjacence. Pour cela, la co-rédaction des documents de recherche a été choisie pour exprimer la relation de collaboration entre les acteurs. Cette relation exprime bien le type de collaboration que nous voulons mesurer comme expliqué précédemment (cf. partie 2.1.5).

L'information sur cette transmission de ressources immatérielles est contenue dans la base de données des identifiants des auteurs de chaque document produit au CIRRELT. Pour obtenir les matrices d'adjacence, deux outils informatiques ont été utilisés. Dans un premier temps, Microsoft Access a été utilisé pour établir les relations entre les acteurs et ensuite Excel a été utilisé pour la mise en forme nécessaire pour l'exportation vers Ucinet.

3.6.1 Crédit des Sociomatrices sur Access

Dans le cadre de notre étude, une sociomatrice est définie comme une matrice carrée qui exprime le nombre de fois que les chercheurs ont collaboré à la rédaction des documents. Cette matrice est obtenue grâce au tableau des auteurs des publications, dans lequel nous disposons des identifiants des auteurs de chaque document. Pour extraire l'information nécessaire à la construction des sociomatrices, nous allons utiliser la méthode développée par Everton (2004). Il a créé un tutoriel très complet qui montre le processus pour convertir un tableau d'interactions sociales en sociomatrice (Everton 2004). Cette méthode ne fournit pas automatiquement le nombre de documents dans lequel un acteur a participé.

Le premier pas pour la création de la sociomatrice est l'importation de la base de données dans Access, car les données fournies pour l'étude ont été classées sur Excel. Ce processus est rapide

parce que les deux logiciels sont compatibles. L'étape suivante est la création d'un tableau croisé avec les données de co-rédaction dans le but de les exporter en forme matricielle.

Access nous permet de faire le tableau croisé en comptant le nombre de fois que les identifiants des deux colonnes choisies se trouvent sur la même ligne. L'outil utilisé est une requête croisée qui prend les colonnes sélectionnées comme les éléments à chercher dans le tableau des auteurs des documents. Cela représente le nombre d'articles que les auteurs ont écrits ensemble. Ce processus a comme résultat une matrice d'adjacence pour l'information contenue dans cette paire de colonnes. Dans la figure 3-2, nous pouvons voir le résultat en forme de matrice de cette procédure appliquée aux colonnes 6 et 9. Avec cette méthode, toutes les combinaisons entre les 12 colonnes doivent être parcourues, ce qui aboutit à un nombre important de matrices.

Auteur 6	Total de ID	<>	2268	2994	3009	3108	3260	3287	3325
	2069	2069							
1174	2	2							
1421	2	1							1
1428	1	1							
1842	1	1							
1913	2	2							
2126	1	1							
2266	1		1						
2274	1	1							
2277	1	1							
2279	1	1							
2288	1	1							
2713	1	1							
2796	1	1							
2819	1	1							
2925	1	1							
2992	1			1					
2999	1	1							
3006	3				3				
3062	1	1							
3074	3	3							
3105	1					1			
3124	1	1							
3283	1							1	
3323	2								2
368	1	1							
458	2	2							
524	1	1							
65	1	1							

Figure 3-2: Exemple d'une matrice d'adjacence sur Access entre les colonnes les colonnes auteur 6 et auteur 9.

Le processus d'extraction des matrices d'adjacence est long, car nous avons un nombre maximal d'auteurs par article de 12, ce qui représente un nombre important de combinaisons. Dans un premier temps, nous avons essayé d'extraire les sociomatrices directement sur Excel à l'aide d'une macro (voir Annexe B) qui parcourt toutes les caisses de la socio matrice pour calculer le nombre de fois que les deux acteurs ont collaboré dans la rédaction d'un document. Ce processus demande

beaucoup de calculs informatiques et même en divisant les opérations par deux (car la matrice est symétrique) le temps de calcul estimé a été de plus de 3 mois(!).

En conséquence, l'utilisation d'Access comme outil pour la construction des matrices a été retenue. Cela a entraîné une opération supplémentaire sur Excel pour former une seule sociomatrice par période temporelle.

3.6.2 Traitement sur Excel

Une fois les différentes matrices d'adjacence obtenues, une addition de celles-ci doit être faite pour former une seule sociomatrice. Excel permet de faire des opérations matricielles, ce que facilite le processus. Mais, pour faire la somme de deux matrices, celles-ci doivent avoir la même taille, et dans notre cas les acteurs doivent suivre le même ordre dans la matrice pour que la somme de matrices représente bien la superposition des réseaux.

Les matrices obtenues avec Access ne sont pas toutes de la même taille et ne sont pas toutes carrées. Cela signifie que nous devons ajouter des colonnes et des lignes pour avoir les matrices que vont composer notre sociomatrice. Nous allons procéder en deux temps : d'abord l'égalisation de la taille de toutes les matrices obtenues sur Access pour ensuite les transformer en matrices carrées ; ces deux opérations seront réalisées sur Excel à l'aide de Macros.

Pour égaliser la taille des matrices, nous allons procéder par comparaison des acteurs qui participent dans chacune d'elles, les matrices étant comparées deux à deux. À l'aide d'une macro, nous allons comparer les identifiants des auteurs que sont situés sur l'entête des colonnes. Pour inclure tous les acteurs qui participent dans le réseau, nous devons transformer toutes les matrices en matrices carrées grâce à une macro (voir **Annexe C**). Cette Macro compare les entêtes des lignes et des colonnes dans une même matrice pour en ajouter au cas où les deux soient différentes.

Ensuite, les entêtes des matrices sont comparés deux à deux ; l'ordre croissant des identifiants est nécessaire pour réaliser cette tâche. Pour compléter les matrices, la macro compare automatiquement les identifiants. S'ils sont différents, la colonne avec l'identifiant plus grand est choisie et on ajoute une nouvelle colonne avant celle-ci pour ensuite copier l'identifiant le plus faible vers l'entête. Avec cette opération, l'information contenue dans la matrice n'est pas modifiée, car toutes les cellules de la colonne sont déplacées (voir **Annexe D**).

Une fois que toutes les matrices ont les mêmes acteurs sur l'entête des colonnes, nous procédon à leur transformation en matrices carrées en utilisant la même procédure d'ajout de lignes que précédemment grâce à la même macro de l'**annexe C**. Après cette opération, nous pouvons procéder à l'addition des matrices pour construire la sociomatrice que nous allons utiliser pour notre analyse.

Dans le but de faire l'addition des matrices sur Excel, chaque matrice doit être délimitée. Pour cela, les cellules qui composent la matrice sont sélectionnées et nommées, cela facilite leur manipulation. L'addition des matrices se fait comme une addition de cellules classique sauf pour deux pas : nous devons sélectionner les cellules où va se placer la matrice résultante de cette opération et, pour entrer la formule et lancer le calcul, on doit appuyer sur les touches Ctrl+Shift +Enter après avoir introduit la formule de la somme sur Excel. Nous répétons cette opération dans le but d'obtenir les sociomatrices pour chacune des cinq périodes d'analyse.

Cette étape représente une partie de la préparation pour la construction des réseaux sur les logiciels spécialisés dans l'analyse et visualisation. Pour compléter cette préparation, nous devons établir les indicateurs et mesures que nous allons utiliser dans notre analyse.

3.7 Indicateurs et mesures

Dans ce mémoire, nous utilisons deux méthodes d'analyse des réseaux et des mesures bibliométriques. Ces méthodes englobent des techniques mathématiques et statistiques pour l'étude des communications dans la distribution de l'information et des publications. Cela permet l'évaluation de la collaboration à différentes échelles, soit au niveau régional comme individuel. Les indicateurs utilisés capturent l'intégration et la cohésion des connaissances de différentes disciplines ainsi comme la collaboration interuniversitaire.

Pour le calcul de certains indicateurs, les chercheurs doivent être classés. D'une part, chaque auteur va être affilié à une université au Québec et d'autre part, nous allons faire un classement par discipline. La mise en place de ces classifications va être approfondie ultérieurement.

3.7.1 Évolution du nombre d'auteurs

Les publications avec plusieurs auteurs ont souvent servi d'unité de base pour mesurer l'activité collaborative (Katz et Martin 1997). Un indicateur très simple de l'évolution de la collaboration entre les chercheurs est la moyenne d'auteurs par article à différentes périodes de temps (Porter et Rafols 2009). Cet indicateur nous donne une idée globale de la collaboration dans le domaine étudié. Dans notre cas nous allons utiliser 5 périodes de 3 ans chacune entre les années 2000 et 2014.

Soit n : la somme d'auteurs par article

Soit N_j : le nombre de publications produites à la période j

M_n = moyenne d'auteurs par article dans la période choisie.

$$M_n = \frac{n}{N_j}$$

Pour calculer cet indicateur, nous allons utiliser la base de données des publications du CIRRELT. La moyenne d'auteurs par article est obtenue grâce à la fonction d'Excel que permet de compter les cellules non vides d'un rang choisi « NBVAL ». De cette manière, nous pouvons compter le nombre d'auteurs par ligne qui correspond à chaque document.

3.7.2 Indice d'interdisciplinarité

Un indice pour mesurer la recherche interdisciplinaire est le nombre relatif de documents coécrits par auteurs affiliés à plus d'une discipline (Schummer 2004). Nous pouvons le diviser en plusieurs indices dépendant du nombre de disciplines qu'on veut faire intervenir. Soit N le nombre total de documents, nous définissons l'indice d'interdisciplinarité :

$$I_n = \text{nombre de documents corédigés par auteurs de } n \text{ ou plus disciplines différentes} / N$$

3.7.3 Indice de diversité disciplinaire

Les indicateurs classiques de la diversité ont été développés par Shannon et Simpson. Ces deux indicateurs mesurent une combinaison de variété et équilibre mais ne tiennent pas en compte des similarités entre les catégories (Stirling 2007).

p_i = proportion d'éléments dans la catégorie i

d_{ij} = distance cognitive entre les catégories i et j

$s_{ij} = 1 - d_{ij}$ = similarité entre les catégories i et j

$H = \text{Shannon}$

$$H = \sum_i p_i \ln(p_i)$$

$I = \text{Simpson}$

$$I = \sum_{i \neq j} p_i p_j = 1 - \sum_i p_i^2$$

Stirling propose une approche heuristique dans laquelle nous pouvons explorer les variations des indicateurs de la diversité par rapport à l'importance qu'on donne aux paramètres de variété, équilibre ou similarité. Comme résultat de ce processus, Stirling a pu formuler un indice de diversité plus généralisé qui fait intervenir des paramètres α et β (Stirling 2007).

Nous pouvons utiliser un indicateur de Stirling Δ tel que $\alpha=1$ et $\beta=1$, c'est le moyen le plus simple d'incorporer variété, équilibre et similarité (Rafols et Meyer 2010).

Stirling généralisée

$$\sum_{i,j} d_{ij}^\alpha (p_i p_j)^\beta$$

$\Delta = \text{Stirling } (\alpha=1, \beta=1)$

$$\Delta = \sum_{i,j} d_{ij} p_i p_j = 1 - \sum_{i,j} s_{ij} p_i p_j$$

L'indicateur de Stirling Δ peut être considéré comme un indicateur de diversité de Simpson dans lequel les proportions des catégories sont pondérées par leur distance et leur similarité.

L'avantage d'utiliser le travail de Stirling pour évaluer l'interdisciplinarité est que même si le choix du paramètre de mesure de la distance (d_{ij}) peut être problématique, son inclusion diminue l'effet des changements dans les catégories (Rafols et Meyer 2010). Cela est important pour les corps de recherche émergents, car si une nouvelle catégorie se développe tout en étant très similaire à une catégorie existante, alors sa distance d_{ij} va être proche de zéro et son inclusion dans la liste de catégories va entraîner une augmentation très faible de la diversité.

3.7.3.1 Proportion disciplinaire

Dans cette section, on explique la construction de la proportion de chaque discipline au sein du centre de recherche. Pour déterminer cela, nous allons utiliser la discipline associée à chaque chercheur dans la classification que nous avons réalisée. Nous voulons déterminer la part de chaque discipline dans les publications des chercheurs. En conséquence, nous allons prendre en compte le nombre de publications dans lesquelles intervient chaque membre.

Pour chaque période d'analyse, le nombre de publications par chercheur est calculé grâce à une requête en utilisant Access pour analyser la base de données. Le tableau du nombre de publications par auteur est présenté à l'**annexe L**.

Une fois le nombre de publications dans lesquels chaque chercheur participe est établi, on procède à lier ce nombre à la classification scientifique associée à chaque membre du CIRRELT. Pour faire cela, nous allons utiliser la discipline principale et la discipline secondaire associée à chaque membre. Cela est fait pour tenir en compte les expertises présentes dans le centre. Nous présentons le nombre de documents par discipline ci-dessous.

Tableau 3-2: Nombre de publications par discipline

Discipline	1	2	3	4	5	Total
Business	161	200	169	170	37	737
Génie Civil	63	1	4	100	149	317
Computation: Théorie	445	304	486	587	188	2010
Criminologie	6	0	11	48	8	73
Économie	143	73	123	189	85	613
Foresterie	122	185	292	121	60	780
Génie Industriel	302	299	473	547	144	1765
Génie Logiciel	10	3	7	2	9	31
Géographie	8	0	22	10	1	41
Intelligence Artificielle	4	0	0	11	4	19

Tableau 3-2: Nombre de publications par discipline (suite et fin)

Science Politique	31	23	29	36	5	124
Psychologie	32	0	18	92	60	202
Recherche Opérationnelle	1182	798	1344	1634	605	5563
Statistiques et Probabilité	84	46	95	88	34	347
Systèmes d'information	8	11	5	12	2	38
Télécommunications	31	15	53	54	6	159
Transports et Logistique	374	210	391	546	460	1981
Environnement	21	0	0	8	21	50
Management	50	69	86	67	15	287
Mathématiques	56	47	39	42	34	218
Santé Publique	0	0	0	0	11	11
Urbanisme	175	113	163	200	113	764
Total	3308	2397	3810	4564	2051	16130

Avec ces informations nous pouvons définir la proportion disciplinaire de la manière suivante :

- N_p : nombre total de documents écrits à la période temporelle p
- $R(i)_p$: nombre de documents de recherche associés à la discipline i à la période p
- $P(i)_p$: proportion de la discipline i à la période p

$$P(i)_p = \frac{R(i)_p}{N_p}$$

3.7.3.2 Similarité et distance cognitives.

Dans le but de déterminer la distance cognitive entre les catégories scientifiques, nous allons déterminer la similitude entre celles-ci. Malgré la quantité d'études bibliométriques faites pour mesurer la diversité, la plupart se centrent sur des aspects particuliers à celle-ci. Seul le travail de Porter réussit à intégrer vraiment les attributs de variété, équilibre et similarité dans un seul indicateur (Porter et coll. 2007). Nous pouvons adapter son concept de distance à notre étude, car nous allons utiliser les mêmes catégories scientifiques (SC). Cette méthode pour mesurer la

similarité a été utilisée dans d'autres études de l'interdisciplinarité (Rafols et Meyer 2010; Rafols et Leydesdorff 2009).

La similarité entre les catégories scientifiques est représentée par une matrice de similarité, $S\{s_{ij}\}$. Chaque (s_{ij}) exprime la similarité des patrons de citations entre les disciplines i et j . Pour faire cela, Rafols et Leydesdorff (2009) ont utilisé les rapports de citations des journaux scientifiques (*Science Citation Index*) et des journaux des sciences sociales (*Social Science Citation Index*). Ils ont classé les journaux contenus dans ces bases de données dans les catégories assignées par l'équipe de ISI par rapport à leur titre et à leur patron de citations. Pour mesurer la similarité entre les catégories, ils ont calculé les similarités des patrons de citations sous forme de cosinus, ce qui nous donne un indicateur entre zéro et un (Rafols et Leydesdorff 2009).

Nous allons utiliser ces données pour construire la matrice de similarité S dans laquelle sont seulement prises en compte les disciplines présentes dans le centre de recherche étudié (**Annexe F**). La matrice de distance D entre les catégories est construite par l'opération $d_{ij} = 1 - s_{ij}$, pour chaque discipline (**Annexe G**).

3.7.3.3 Indicateur de Stirling

Une fois obtenues la matrice de différence et les proportions de chaque discipline, nous pouvons calculer l'indicateur de Stirling qui représente la diversité. Nous construisons, dans un premier temps, pour la période temporelle j , le vecteur de proportionnalité P_j tel que, s'il y a n disciplines présentes dans le centre de recherche, P_j est composé par la proportion de chaque discipline selon le même ordre que dans la matrice de différence.

$$P_j = \begin{matrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{matrix}$$

Ensuite, l'indicateur de Stirling Δ peut être calculé par une opération matricielle.

$$\Delta = \sum_{i,j} d_{ij} p_i p_j \rightarrow \Delta_j = {}^t P_j D P_j$$

Le logiciel Matlab est l'outil informatique que nous allons utiliser pour calculer cet indicateur. Matlab est adapté à ce calcul, car il est compatible avec Excel et nous permet de faire des calculs matriciels. Pour calculer l'indicateur, nous devons dans un premier temps importer la matrice de

distance et les vecteurs de proportionnalité : une fonction existe pour faire cela facilement. Ensuite, nous faisons une boucle pour calculer les cinq Δ_j . La procédure est présentée dans l'**annexe M**.

3.7.4 Indices de mesure de cohérence

L'étude des réseaux sociaux nous fournit des outils pour mesurer la cohérence et la cohésion d'un système, dans ce cas un centre de recherche. Comme vu précédemment, la cohérence peut être mesurée par l'étude de grappes (clusters) ou par l'étude de la centralité. Dans ce mémoire, nous allons utiliser l'étude de la centralité pour observer l'évolution de la cohérence.

Nous présentons ci-après quelques indicateurs pour mesurer la cohérence et la cohésion des réseaux classiques :

- **La force de liaison moyenne**, S : la moyenne de la matrice de corrélation en excluant la diagonale. Elle décrit les liens et l'intensité des similarités qui existent dans les réseaux pondérés. S a une valeur entre zéro et un par définition. S est le degré de centralité moyen normalisé par la taille du réseau.
- **Intermédiairité**, B : le nombre moyen des géodésiques dans lequel les acteurs participent, normalisé par la taille du réseau.

Le degré de centralité et la centralité par proximité sont basés sur l'accessibilité de l'information d'un membre au sein du réseau, c'est-à-dire la facilité avec laquelle l'information peut atteindre une personne (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005). Ces deux indicateurs permettent de capturer le niveau de connectivité d'un réseau, c'est-à-dire l'influence sur l'efficacité dans l'accès à l'information pour les participants, mais ils ne réussissent pas à capter l'intégration et la cohérence entre les acteurs (Leydesdorff 2007). Malgré cela, la centralité par proximité peut nous aider à mesurer la cohésion géographique au sein du centre, c'est-à-dire la connectivité entre les différentes universités et leur accessibilité à l'information.

Une autre approche pour décrire la centralité se base sur l'idée qu'une personne est plus importante comme intermédiaire dans le réseau de communication. Cette dimension de la centralité est mesurée par la centralité par intermédiairité qui montre à quel point un membre est crucial pour la transmission de l'information en mettant en évidence les flux d'information qui sont interrompus si une personne arrête de transmettre de l'information ou quitte le réseau (De Nooy, Mrvar, et

Batagelj 2005). L'intermédiairité capture donc la cohérence structurelle et l'articulation cognitive du centre de recherche (Rafols et Meyer 2010). La centralité par intermédiairité se présente donc comme le meilleur indicateur pour mesurer l'intégration interdisciplinaire des connaissances (Leydesdorff 2007).

Dans le cas de la cohérence interdisciplinaire, nous allons utiliser la centralité par intermédiairité comme indicateur. De même, Pajek est utilisé comme outil informatique. La centralité par intermédiairité d'un nœud est définie comme la proportion de toutes les géodésiques entre tous les autres acteurs qui incluent ce nœud (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005).

Pajek affiche la centralité d'intermédiairité comme un vecteur composé, nous allons considérer l'évolution de ce vecteur pour mesurer l'intégration des connaissances.

3.7.5 Indices de mesure de cohésion

Intuitivement la cohésion se traduit par un réseau social composé de beaucoup de liens. Plus de liens entre les acteurs construisent une structure plus compacte qui est donc plus cohésive. Dans l'analyse des réseaux sociaux, la densité d'un réseau capture cette idée (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005).

Nous allons utiliser l'indicateur de densité d'un réseau présenté dans la recension de la littérature :

Soit n = nombre d'acteurs dans le réseau

d_i = le degré de l'acteur i

La densité du réseau $\mathbf{D} = \sum_{i=1}^n d_i / (n^2 - n)$

Cette information est complétée par la mesure de centralisation. Celle-ci est l'expression de comment le graph est organisé autour de l'acteur le plus central. Nous avons définir le degré de centralisation de la manière suivante :

Soit n = nombre d'acteurs

$Cx(p_i)$ = la centralité d'un point i

$Cx(p^*)$ = la valeur plus grande de la centralité d'un point du réseau

$\text{Max } \sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(p_i))$ = le maximum possible de l'addition des différences des centralités pour un graphe composé de n acteurs

$$\text{Le degré de centralisation : } \mathbf{Cx} = \frac{\sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(p_i))}{\text{Max } \sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(p_i))}$$

Ces indicateurs sont calculés grâce au logiciel Pajek. Cet outil présenté ultérieurement va être aussi utilisé dans la visualisation de nos réseaux. Pour pouvoir utiliser les définitions de densité et centralisation vues précédemment nous devons transformer nos réseaux. Nous devons éliminer d'une part les liens multiples et d'autre part dichotomiser notre réseau.

Un autre moyen de mesurer la cohésion d'un groupe est basé sur la portée du réseau. Dans cette optique un réseau avec une cohésion importante doit permettre aux membres de joindre les autres sans forcément être liés directement (Wasserman et Fraust 1994). Un indicateur de cohésion de ce type de cohésion est donc la longueur moyenne de chemins (L). Celle-ci est définie comme le nombre minimal de liens parcourus pour aller d'un auteur à un autre en traversant le réseau. L'indicateur est donc la moyenne de coefficients de centralité de proximité (*closeness*) celui-ci sert à montrer si le réseau est répandu (Leydesdorff 2007).

Le coefficient de centralité par proximité $C(x)$ est tel que:

Soit x : un nœud

y : le reste des nœuds du réseau

$d(x,y)$: la distance entre les nœuds x et y

$$E(x) = \sum_y d(x, y)$$

$$C(x) = \frac{1}{E(x)} = \frac{1}{\sum_y d(x, y)}$$

La longueur moyenne des chemins : $L = \text{Moyenne } C(x)$

Dans les résultats affichés par Pajek, la centralité par proximité est représentée en forme d'un vecteur dans lequel sont présentées les valeurs de celle-ci pour chaque nœud. Pour notre analyse, nous allons utiliser cette valeur directement, car le logiciel propose cette définition de la centralité par proximité qui est déjà standardisée et donc adaptée à sa comparaison.

3.7.6 Tableau récapitulatif des indicateurs utilisés

Nous allons choisir parmi les indicateurs suivants pour caractériser la collaboration au sein du centre de recherche étudié.

Mesure	Indicateur	Formule
Collaboration globale	Nombre d'auteurs par article	$M_n = \frac{n}{N_j}$
Proportion des disciplines	Proportion de publications associées à une discipline	$P(i)_p = \frac{R(i)_p}{N_p}$
Diversité	Indicateur de Stirling	$\Delta = \sum_{i,j} d_{ij} p_i p_j \rightarrow \Delta_j = {}^t P_j D P_j$
Cohérence des disciplines	Centralité d'intermédiairité (<i>Betweeness</i>)	$\sum \sum \frac{g_{ikj}}{g_{ij}}, i \neq j \neq k$
Cohésion par portée	Centralité par proximité (<i>Closeness</i>)	$C(x) = \frac{1}{E(x)} = \frac{1}{\sum_y d(x,y)}$
Cohésion globale	Densité	$D = \sum_{i=1}^n d_i / (n^2 - n)$
Cohésion autour des points centraux	Degré de centralisation	$Cx = \frac{\sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(p_i))}{\text{Max } \sum_{i=1}^n (Cx(p^*) - Cx(p_i))}$

L'indice de collaboration globale ne peut pas être utilisé car nous ne pouvons pas facilement faire la différence entre une augmentation de la collaboration comme conséquence de la formation d'un centre ou si elle est une tendance globale des publications. De même, nous n'allons pas utiliser la densité comme indicateur car elle dépend fortement de la taille des réseaux, en conséquence cet indicateur n'est pas adapté pour la comparaison des réseaux de taille différente.

3.8 Classification

Pour réaliser les mesures d’interdisciplinarité et intégration géographique, nous devons utiliser des systèmes de classification des chercheurs. Dans cette section, nous allons énoncer les catégories géographiques utilisées dans notre analyse et ensuite nous allons expliquer la méthode de classification de la discipline des chercheurs pour mesurer l’intégration interdisciplinaire.

3.8.1 Affiliation Universitaire

Un des avantages de la formation d’un centre de recherche est la coopération entre des entités éloignées géographiquement. Cela se fait au travers de la création de conférences, ateliers ou séminaires qui permettent la mise en commun d’expertises.

Dans le but de mesurer les interactions entre les différentes entités géographiques, nous allons diviser les chercheurs par leur affiliation à deux échelles différentes :

- Université d’attache : Chaque chercheur est affilié à une université située au Québec. Nous pouvons obtenir l’information de l’affiliation des membres réguliers directement sur le site du CIRRELT. Ici, l’interaction est mesurée à l’échelle des universités.
- Régionale : Le CIRRELT est né de l’union de deux centres régionaux situés à Montréal et à Québec. Donc, l’analyse des interactions entre ces deux régions est nécessaire pour mesurer le niveau d’intégration des ressources. Pour cela, nous allons classer les institutions éducatives par rapport à leur emplacement.

Les résultats de la classification de chaque membre sont présentés dans l’Annexe H, les différentes catégories sont composées de la manière suivante :

Tableau 3-3: Distribution des Membres par Université

Université	Nombre de Chercheurs
Université Concordia (anglophone)	7
ÉTS (École de technologie supérieure)	4
HEC Montréal (École des hautes études commerciales)	8
Université McGill (anglophone)	6

Tableau 3-3: Distribution des Membres par Université (suite et fin)

Polytechnique Montréal	15
Université de Montréal	12
Université Laval	18
UQAM (Université du Québec à Montréal)	6
UQAR (Université du Québec à Rimouski)	2

3.8.2 Catégorisation disciplinaire des chercheurs

Une partie essentielle de l'étude de la recherche interdisciplinaire est la définition des disciplines et les paramètres pour classer les chercheurs dans ces disciplines.

Des caractéristiques des chercheurs comme l'identité professionnelle, l'institution d'affiliation ou des groupes de référence sont centrées sur une discipline en particulier (Porter, Cohen 2007). Pour classer ces caractéristiques personnelles, nous allons utiliser les catégories « Science Metrix » basées sur les catégories de « web of science » comme unités pour nos analyses. Ces catégories ont été utilisées dans plusieurs études de mesure d'interdisciplinarité (Porte, Cohen 2007) ainsi que dans la cartographie des sciences (Moya et al (2004), Boyack et al (2006)), ce qui augmente la validité externe de ces unités de mesure.

Ces catégories sont utilisées pour la classification des journaux scientifiques, donc nous pouvons considérer qu'elles englobent la plupart des domaines de recherche. Nous avons une description de chaque catégorie sur le site internet de « *Web of Science* », dans la section « *Journal Citation Reports* ». Les disciplines de recherche évoluent dans le temps. Pour pallier ce problème, la liste des catégories (SC's) s'adapte aux pratiques de recherche actuelles et couvre les disciplines de la meilleure manière disponible (Porter, 2007).

Nous allons attribuer les catégories aux chercheurs par deux méthodes : la première est la discipline associée à ses publications ; nous allons expliquer plus en profondeur ci-après. La deuxième méthode est par l'analyse des curriculum vitae (CVs). En effet, plusieurs ressources sont intéressantes pour déterminer l'appartenance à une discipline, une de ces sources est l'information contenue dans les CVs, qui peuvent nous donner un aperçu de l'information intéressante sur les

chercheurs, comme (Porter, 2007) par exemple la formation et le poste de chaque chercheur ainsi que ses affiliations dans les centres de recherche.

La deuxième méthode est utilisée pour confirmer les résultats de l'analyse des publications et dans le cas où ce n'est pas possible de mettre en place la méthode d'analyse des publications. Dans le cadre de notre étude, nous n'avions pas accès aux publications représentatives sur le CV ou site de l'institution d'affiliation de 11 des membres réguliers, ce que se traduit en l'utilisation uniquement de la méthode d'analyse des CV dans moins de 15% des cas. Dans les autres cas, les deux méthodes ont été utilisées avec le même résultat. La méthode d'analyse de publications qui va être présentée ensuite est la méthode principale de classification.

3.8.2.1 Classification par les publications

Dans le but de classer les chercheurs par discipline, on procède à l'analyse des journaux dans lesquels ils sont publiés. Nous devons donc, dans un premier temps, trouver ses publications représentatives. Nous avons souvent accès à ces publications à travers le site des écoles ou associations dans lesquelles les chercheurs travaillent. Pour promouvoir le travail des chercheurs ou professeurs associés, ces institutions destinent à une section spéciale sur leur site dans laquelle ces articles sont présentés. Les liens pour accéder aux publications sont présentés dans l'**Annexe I.**

Grâce à ces liens, nous pouvons construire une base de données des publications sur Excel. Nous traitons cette base de données pour garder seulement l'information qui nous intéresse, c'est-à-dire le journal de publication de chaque article. Nous devons ensuite associer chaque journal à une discipline. Pour cela, nous allons utiliser la catégorisation faite par « Science Metrix ». La liste des journaux scientifiques qui ont été classés sur « Science Metrix » a été téléchargée depuis leur site internet (« Classification Science Metrix » 2015). Cette liste consiste en 15 007 journaux scientifiques classés par discipline est sous-discipline. Pour notre étude, on s'intéresse aux sous-disciplines, car elles permettent de faire une classification plus détaillée.

Cette classification n'est pas considérée complètement objective, car elle n'est pas entièrement basée sur des patrons de citations. C'est une conséquence de la méthode de classification de l'équipe, qui attribue des catégories aux journaux en fonction de différents critères parmi lesquels figurent le titre et les modes de citations (Leydesdorff 2007). En tenant en compte que la catégorisation exacte des sujets de journaux est impossible à cause du flou dans ces derniers

(Bensman 2001) , nous allons nous fier à la catégorisation « science metrix », car elle a été validée par son utilisation dans des études précédentes (Porter et Rafols 2009; Porter et coll. 2007).

Grâce à cette classification, nous pouvons associer chaque chercheur avec une discipline principale et une discipline secondaire, dépendamment du nombre des publications dans les journaux associés à celles-ci. Par cette méthode, on obtient 20 disciplines présentes au sein du CIRRELT. Le résultat de cette méthode de classification est présenté dans l'**Annexe J**. Le tableau 3-4 présente les disciplines disponibles dans le centre, les disciplines primaires et secondaires sont prises en compte.

Tableau 3-4:Nombre de chercheurs par discipline CIRRELT

Discipline	Nombre de Chercheurs
Recherche opérationnelle	31
Transport et Logistique	23
Affaires et Management	5
Génie Industriel et Automatisation	9
Statistiques et Probabilité	3
Urbanisme	5
Géographie	1
Finance	1
Économie	2
Programmation: Théorie	3
Foresterie	2
Génie Logiciel	1
Télécommunications	1
Environnement	1
Santé Publique	1
Mathématiques	1
Systèmes d'Information	1
Génie Civil	1
Sociologie du Développement	1
Intelligence Artificielle	1

3.8.2.2 Classification disciplinaire

Avec les deux méthodes de classification des chercheurs par discipline, nous trouvons la présence de 22 disciplines dans le centre de recherche représentées par les 78 chercheurs. Le tableau 3-5 présente le nombre de chercheurs par discipline au CIRRELT ainsi que le pourcentage de cette discipline par rapport au nombre total de chercheurs.

Tableau 3-5: Répartition du nombre de chercheurs par discipline

Discipline	Nombre de chercheurs	Pourcentage
Affaires	5	4.35%
Génie Civil	2	1.74%
Programmation: Théorie	11	9.57%
Criminologie	1	0.87%
Économie	3	2.61%
Foresterie	3	2.61%
Génie Industriel	15	13.04%
Génie Logiciel	1	0.87%
Géographie	1	0.87%
Intelligence Artificielle	1	0.87%
Science Politique	1	0.87%
Psychologie	1	0.87%
Recherche Opérationnelle	35	30.43%
Statistiques et Probabilité	4	3.48%
Systèmes d'information	1	0.87%
Télécommunications	1	0.87%
Transports et Logistique	22	19.13%
Environnement	1	0.87%
Sociologie	1	0.87%
Mathématiques	1	0.87%
Santé Publique	1	0.87%
Urbanisme	3	2.61%
Total	115	100.00%

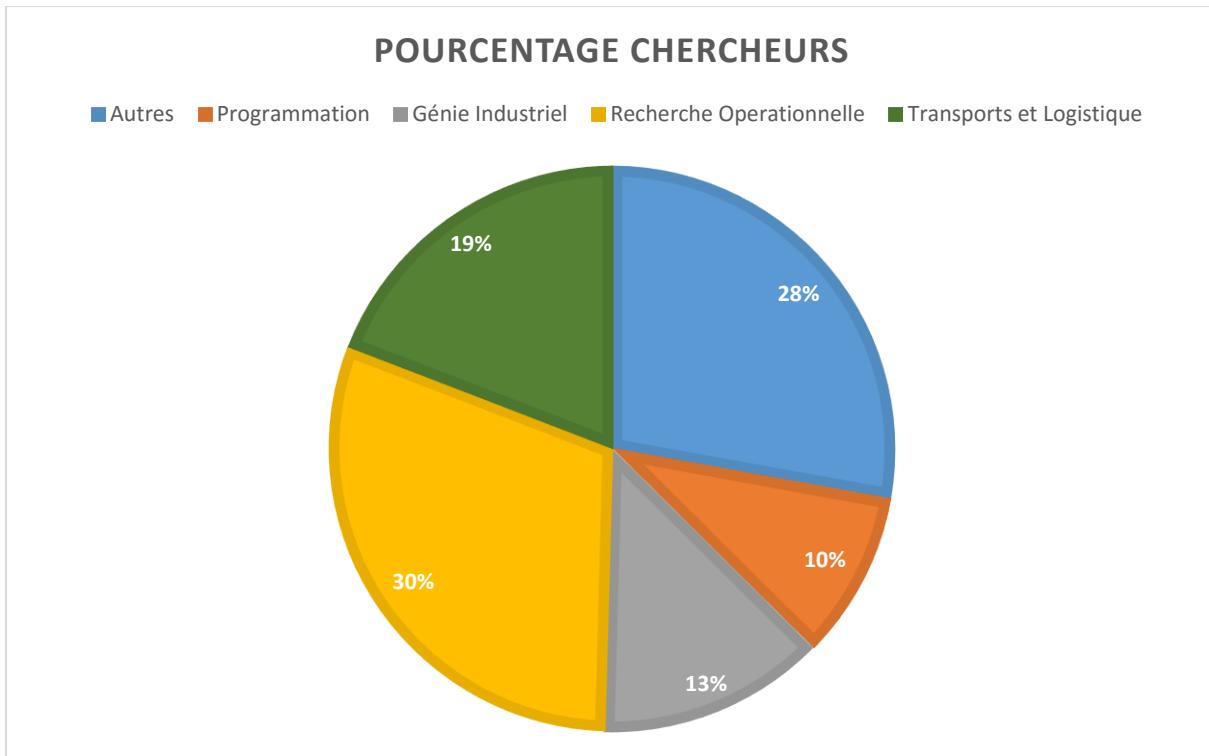


Figure 3-3: Représentation de la répartition du nombre de chercheurs par discipline

Dans la figure 3-3, nous avons un aperçu de la distribution par rapport au nombre de chercheurs des disciplines principales au sein du CIRRELT.

3.9 Construction du réseau et visualisation

Les sociomatrices contiennent toute l'information nécessaire pour la construction des réseaux de collaboration. L'importance de cette représentation d'un système social est qu'elle nous permet son analyse par des mesures de structure et par la représentation visuelle. La visualisation et l'analyse structurelle forment un instrument intégré qui nous donne une description plus complète d'un système. Pour mener cette étude, des logiciels d'analyse des réseaux sont un outil primordial.

3.9.1 Présentation des outils

Actuellement, il existe plus d'une centaine de logiciels qui permettent de faire l'analyse des réseaux. Le choix du logiciel se base sur des critères pertinents comme : compatibilité avec le système d'opération Windows, accès gratuit, permettant l'analyse des grands réseaux et avoir un moyen de support en cas de problèmes.

Voici une liste non exhaustive de logiciels d'analyse de réseaux répondant à ces critères : Pajek, Ucinet, NetDraw, NodeXL, Visione et Gephi, R avec le package iGraph.

Nous devons choisir des logiciels qui intègrent les mesures statistiques pertinentes en plus de permettre la visualisation des réseaux. Nous avons choisi deux logiciels qui sont compatibles avec notre méthode d'analyse et qui répondent aux critères de choix. Le premier logiciel choisi est Ucinet (Borgatti, Everett, et Freeman 2002), un logiciel développé par Lin Freeman et ses collaborateurs. Ce logiciel est entièrement compatible avec Excel, ce qui nous permet d'intégrer les matrices et de les modifier pour leur utilisation. Ucinet est aussi entièrement compatible avec Pajek, ce que nous offre la possibilité d'exporter les sociomatrices obtenues pour son étude et visualisation sur une seule plateforme.

Comme mentionné précédemment, l'autre logiciel choisi est Pajek (Mrvar et Batagelj 1996). Ce logiciel d'accès libre sert à l'analyse de grands réseaux. Son développement en langage Delphi a démarré en 1996 par Mrvar et Batagelj. Le logiciel incorpore les techniques d'analyse des réseaux tout comme la visualisation.

3.9.2 Exportation des sociomatrices

Dans le but de procéder à l'analyse, nous devons transformer les sociomatrices en réseaux sociaux. Comme mentionné précédemment, l'utilisation d'Ucinet nous permet d'importer directement les sociomatrices créées dans Excel. Ces matrices doivent être traitées pour qu'elles expriment l'information sur la collaboration que nous allons exporter vers Pajek pour l'analyse.

En effet, le décompte de collaborations sur Access nous donne le nombre de documents que deux auteurs ont écrit ensemble mais ce chiffre est réparti des deux côtés des matrices, ce qui fait que la sociomatrice ne soit pas symétrique. Pour résoudre ce problème, nous devons transformer chaque sociomatrice à l'aide d'Ucinet. Le logiciel nous permet de transformer en matrice symétrique nos matrices de base par différentes opérations. L'opération choisie est la somme des deux composants de la matrice qui expriment la collaboration entre la même paire d'acteurs (m_{ij} et m_{ji}) ce qui nous permet de prendre en compte toutes les collaborations entre ces deux membres.

Une fois cette transformation réalisée, nous pouvons exporter la sociomatrice vers Pajek. Cette opération est nécessaire, car la création d'un réseau directement sur Pajek prend trop de temps, car

il doit être créé par lignes de code. Cette exportation nous épargne cette tâche et dure quelques secondes, après lesquelles nous pouvons continuer l'étude du système social dans Pajek.

3.9.3 Construction des Réseaux

La prochaine étape pour mener notre étude est la création des réseaux de collaboration grâce au logiciel Pajek. Un graphe dans ce logiciel est représenté dans la figure 3-4 par : la liste de nœuds (« vertices ») qui interagissent dans notre réseau avec leur identifiant correspondant, la liste de contours (« edges ») composée des numéros des acteurs qui participent ainsi comme la valeur associée à cette interaction et finalement de la liste d'arcs (« arcs ») composée de la même manière que les contours sauf qu'ils représentent une relation dirigée. Nous avons en première place l'émetteur et en deuxième place le récepteur suivi par la force de la relation.

```

1  *vertices  2
2  1  "Alice"  0.0 0.0 0.0
3  2  "Bob"    0.0 0.0 0.0
4  *Arcs
5  2 1 1
6  *Edges
7  1 2 7
8

```

Figure 3-4: Représentation d'un graphe avec deux nœuds, un arc et un contour sur Pajek

Le réseau exporté par Ucinet est un réseau dirigé, nous devons transformer ce type de graphe en un non dirigé et pondéré qui représente mieux les interactions dans le centre. Nous devons donc transformer les arcs en contours pondérés, il suffit de remplacer la liste d'arcs par une liste de contours « edges ».

3.9.3.1 Élaboration des catégories

Après cette étape, le réseau peut être analysé et visualisé. Nous pouvons faire des mesures structurelles générales et visualiser les interactions entre tous les acteurs d'une manière globale, car les classifications universitaire et disciplinaire des acteurs ne sont pas encore incorporées à ce modèle. Pour pouvoir prendre en compte les classifications, nous devons construire des partitions dans le logiciel. Les partitions sont des distributions des nœuds qui indiquent pour chaque nœud dans quelle classe il appartient (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005). Pour chaque période, nous procéderons de la même manière. Il faut créer des partitions pour les classifications disciplinaire et

universitaire, donc au départ il faut créer une partition nulle et l'éditer pour représenter ces classifications. Cette procédure est manuelle : il faut donc attribuer un numéro à chaque discipline et à chaque université ; ce numéro va représenter une partition pour le logiciel.

La partition zéro est choisie d'office comme les chercheurs qui n'appartiennent pas à notre centre de recherche et le reste des partitions sont affichées dans les tableaux suivants.

Tableau 3-6: Partition de distribution des disciplines

Discipline principale	Partition
Recherche Opérationnelle	1
Transports et Logistique	2
Génie Industriel	3
Computation: Théorie	4
business et management	5
Civil engineering	6
Criminologie	7
Intelligence Artificielle	8
Economie	9
Foresterie	10
Géographie	11
Systèmes d'information	12
Télécommunications	13
Sciences Politiques	14
Psychologie	15
Génie Logiciel	16
Statistiques et Probabilité	17

Pour la construction de cette partition, seules les disciplines principales sont prises en compte parce que chaque acteur ne peut être associé qu'à une seule catégorie dans une partition. Nous avons donc comme résultat 17 disciplines représentées à travers des chercheurs au CIRRELT. C'est une limite de notre méthode, car nous n'avons pas pris en compte la discipline secondaire des membres.

La deuxième partition que nous allons élaborer est la distribution des membres par universités, la partition 0 est encore composée des chercheurs non membres du CIRRELT, celle-ci est présentée dans le tableau 3-7.

Tableau 3-7: Partition de distribution des universités

Affiliation membres réguliers	partition
U. Laval	1
U. Concordia	2
ÉTS	3
HEC Montréal	4
U. McGill	5
Polytechnique Montréal	6
U. de Montréal	7
UQAM	8

3.9.3.2 Visualisation

L’œil humain est habitué à reconnaître des patrons automatiquement, en conséquence la visualisation des réseaux aide à reconnaître et présenter les patrons des liens (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005). La visualisation se présente donc comme un outil pour faciliter une compréhension intuitive des concepts de l’analyse de réseaux, c’est pour cette raison que nous allons l’utiliser tout au long de notre analyse.

Nous allons utiliser une procédure automatique pour dessiner les réseaux. Cela nous permet de générer une disposition du réseau optimale pour l’exploration visuelle. Quelques principes de base doivent être respectés dans la visualisation. Le premier est que la distance entre les nœuds doit exprimer la force des liens de la manière la plus fidèle possible, donc la longueur d’une ligne doit être proportionnelle à la valeur du lien. Une bonne représentation doit aussi minimiser la variation de la longueur des lignes. En outre, le côté esthétique du dessin ne doit pas être négligé, les nœuds ni les lignes ne doivent pas être dessinés trop près et le nombre de lignes qui se croisent doit être minimisé (De Nooy, Mrvar, et Batagelj 2005).

En vue de toutes ces restrictions, les procédés automatiques pour trouver la représentation optimale sont le meilleur choix. Ceux-ci nous permettent aussi d’éliminer l’influence des idées préconçues de la personne qui dessine le réseau en plus d’être une méthode beaucoup plus rapide.

Pajek nous offre le choix entre plusieurs représentations automatiques. Nous allons nous centrer spécifiquement en deux commandes « énergétiques » ; ces commandes optimisent la distance entre

les nœuds pour diminuer la variation des longueurs des lignes. En utilisant ces commandes, les nœuds sont replacés dans des « meilleures » positions jusqu'à arriver à un état d'équilibre.

La première de ces représentations a été créée par Kamada et Kawai (1988). Cette méthode produit des résultats plus réguliers et stables que l'autre commande mais elle est plus lente. Cette méthode est donc plus adaptée pour les petits réseaux de moins de 500 acteurs (Kamada et Kawai 1988). La deuxième représentation est celle créée par Fruchterman et Reingold (1991), elle est plus rapide à mettre en place et donc est mieux adaptée pour les grands réseaux, cette commande sépare plus efficacement les parties du réseau que ne sont pas connectées. Même si chaque commande a ses points forts et points faibles, nous allons utiliser celle qui est plus adaptée pour notre étude, dans ce cas nous avons dans chaque période temporelle plus de 500 acteurs en interaction donc nous devons utiliser la méthode Fruchterman-Reingold. Avec l'option « factor » de cette commande, nous pouvons adapter en plus la densité du centre du graphe pour améliorer la lecture et interprétation de celui-ci (Fruchterman et Reingold 1991).

CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET ANALYSE

Dans ce chapitre, nous analysons dans un premier temps les résultats qui nous donnent une idée globale de la collaboration. Ensuite, nous discutons de l'évolution de la diversité des disciplines au sein du centre de recherche. Après, nous allons analyser les résultats issus de l'analyse structurelle des réseaux, pour finalement montrer visuellement l'évolution du centre au niveau de l'intégration des connaissances. 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

Pour nous donner une idée globale de l'augmentation de la collaboration, nous utilisons les indicateurs classiques qui expriment la coopération entre les auteurs. L'évolution du nombre d'auteurs par article nous donne un aperçu de la collaboration dans les publications du CIRRELT en général.

Le nombre moyen d'auteurs par article peut nous donner une idée de l'engagement dans la collaboration de la part des membres au moment de la formation du centre de recherche (entre les périodes 2 et 3).

Tableau 4-1: Évolution du nombre moyen d'auteurs par article.

Période	1	2	3	4	5
M_n	2.7985	2.7308	2.7288	2.8349	3.0715
Croissance	-	-2.4%	-0.1%	3.9%	8.3%

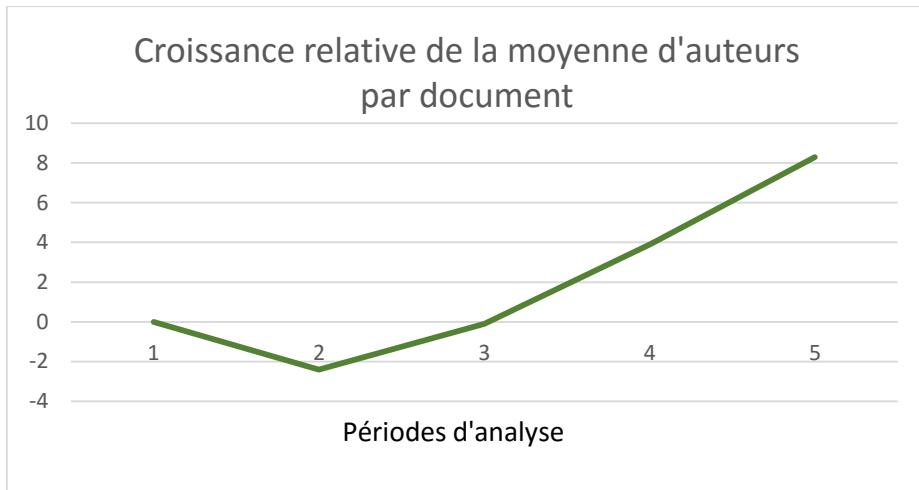


Figure 4-1: Graphe de la croissance relative de la moyenne d'auteurs par document

La moyenne du nombre d'auteurs par article décroît dans un premier temps. Entre les deux premières périodes d'analyse, il y a une brèche un peu plus marquée qu'entre les périodes 2 et 3 où la différence est minime. Cela montre le début du changement de la tendance du nombre d'auteurs par document. Ce changement concorde avec la formation du CIRRELT entre les étapes 2 et 3. À partir de la création du centre, on peut apercevoir une croissance soutenue dans le nombre moyen du nombre d'auteurs. L'évolution de cet indicateur entre les périodes 4 et 5 représente le double de la différence entre les étapes 3 et 4.

La croissance relative du nombre d'auteurs confirme donc notre première hypothèse selon laquelle la création du CIRRELT est à l'origine de l'activation de la collaboration. Nous apercevons une diminution de l'activité collaborative dans les deux premières périodes de l'étude et la construction du centre de recherche vient changer cette tendance par les activités qui favorisent la collaboration.

La baisse du nombre moyen d'auteurs par article avant la mise en place du centre de recherche nous aide à confirmer cette hypothèse, car une moyenne du nombre d'auteurs toujours croissant peut correspondre à l'évolution naturelle de la collaboration au sein de chaque discipline comme présentée par Smith qui a remarqué une augmentation naturelle du nombre d'auteurs par article avec l'essor de la collaboration de manière générale (Katz et Martin 1997).

4.2 Cohésion

L’analyse de la structure des réseaux basés sur la collaboration entre les chercheurs du CIRRELT nous permet de calculer d’une part, l’indice global de centralisation et densité, et d’autre part la centralité par proximité de chaque membre du centre de recherche. Les données obtenues pour ce dernier indicateur sont présentées dans l’**annexe N**.

Pour quelques chercheurs du CIRRELT, le calcul de la centralité par proximité n’est pas possible, car ils ne participent pas dans le réseau. Dans notre étude nous avons choisi d’étudier la composante principale du réseau, c’est-à-dire les chercheurs du CIRRELT et ignorer les autres composantes pour cette mesure. Pour les chercheurs qui ne collaborent pas, la somme des distances avec les autres chercheurs est nulle, ce qu’a comme conséquence une division par zéro lors du calcul. Nous avons choisi de remplacer les résultats non disponibles par des zéros dans l’indice de centralité. Cela se traduit comme un acteur qui est infiniment loin des autres comme résultat de deux scénarios : le premier dans lequel le membre n’a produit aucun document au sein du centre de recherche pendant la période d’étude et donc il n’a aucune interaction avec les autres membres. Où le deuxième scénario est le fait de publier sans collaborer avec les autres acteurs participant au système social. Dans les deux cas, la distance sociale de cet acteur avec les autres est infinie et donc sa centralité est nulle.

Dans cette partie, nous allons étudier la cohésion des réseaux en examinant les résultats à trois échelles différentes. Dans un premier temps, nous allons étudier l’évolution de la cohésion globale du réseau de collaboration à travers l’évolution de la centralisation et la densité. Ensuite, nous allons regrouper les chercheurs par la localisation géographique de leur université, soit les villes de Québec ou Montréal. Finalement, nous allons les regrouper par rapport à leur affiliation universitaire.

4.2.1 Cohésion globale

La structure des réseaux étudiée à travers la cohésion globale nous donne de l'information sur l'efficacité de la transmission de connaissances et de la collaboration au sein du centre de recherche. Nous allons analyser cette cohésion grâce à trois indicateurs : la densité, la centralité par proximité (closeness) et la centralisation.

L'étude de la densité nous donne de l'information sur le nombre de connexions d'un réseau, ce qui nous aide à déterminer la compacité d'une structure. Cet indice dépend forcément de la taille du réseau donc il n'est pas adapté pour les comparaisons. L'analyse de la structure nous permet de calculer d'autre part le coefficient de centralisation. Une centralisation plus importante (proche de 1) indique que les acteurs périphériques du réseau sont plus proches des acteurs centraux, cela dénote une structure condensée autour des points centraux. En outre, une cohésion importante permet aux membres de se joindre facilement, la moyenne de centralité par proximité mesure cette notion de cohésion.

L'évolution de la structure des réseaux est présentée dans le tableau 4-2. La description de la structure est composée de la densité, de la taille du degré moyen, la moyenne de la centralité par proximité (closeness) et du coefficient de centralisation.

Tableau 4-2: Évolution de la structure du réseau

	Périodes				
	1	2	3	4	5
Nombre d'acteurs	1257	735	1114	1388	841
Degré moyen	4.569	4.574	4.583	5.014	4.687
Densité	0.0072	0.0124	0.0082	0.0072	0.0111
Centralisation	0.072	0.094	0.084	0.067	0.088
Closeness moyenne	0.204	0.219	0.180	0.199	0.179

Pour comparer la cohésion dans les différentes périodes, nous avons tracé d'une part le degré de centralisation et d'autre part la centralité par proximité moyenne de tous les acteurs du graphe en fonction de chaque période.

Dans les figures 4-2 et 4-3 sont représentées les évolutions des deux indicateurs de cohésion du réseau de collaboration. Ces figures décrivent l'évolution globale du réseau ce que va nous permettre de vérifier notre première hypothèse sur la structure du réseau.

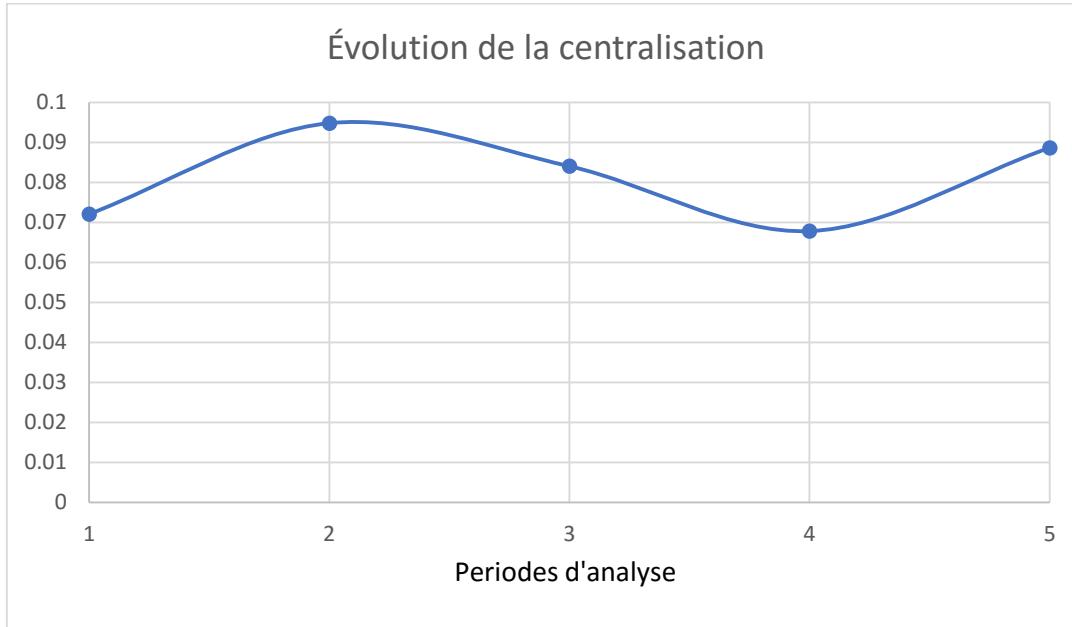


Figure 4-2: Évolution de la centralisation par périodes d'analyse

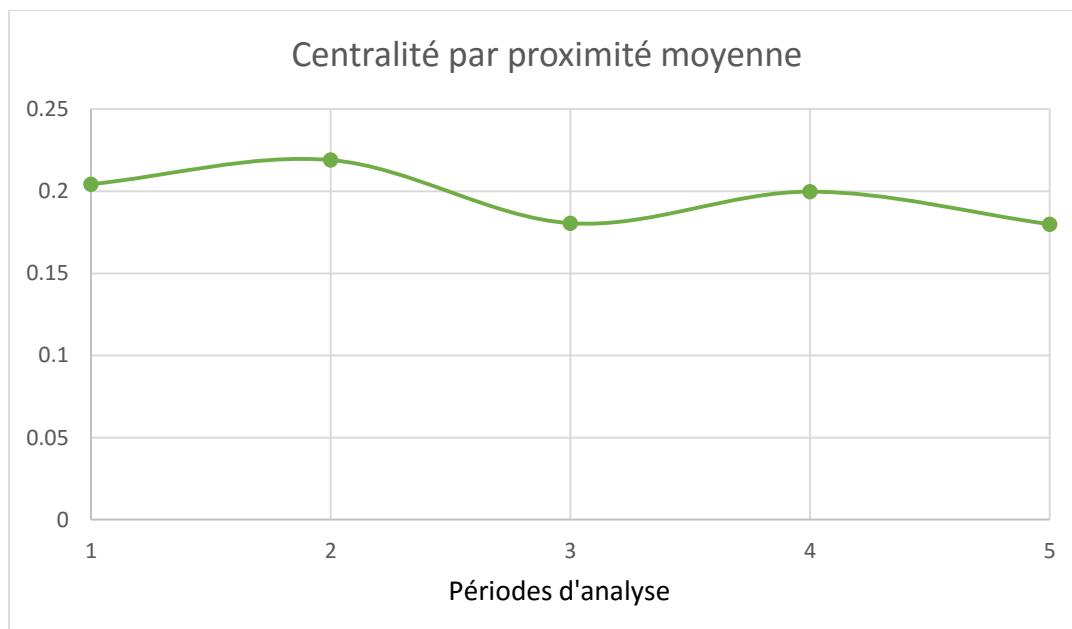


Figure 4-3: Évolution de la centralité par proximité (Closeness)

Par l'analyse des figures 4-2 et 4-3, nous pouvons identifier deux tendances différentes de la cohésion du réseau. Dans un premier temps nous allons regarder le degré de centralisation du réseau. Il y a diminution de la centralisation entre les périodes deux et quatre, cela exprime une expansion du réseau. Cette évolution peut être le résultat de l'effervescence liée à la mise en place du centre de recherche. Dans les premières étapes de vie du centre, les chercheurs sont introduits à des nouveaux collaborateurs.

À partir de la quatrième période on voit renversement de cette tendance, par une augmentation de la centralisation. Cela montre un rapprochement des chercheurs et la densification du réseau autour des points focaux. On voit alors une stabilisation de la collaboration autour des acteurs centraux augmentant ainsi la cohésion globale du CIRRELT. Cela confirme la première partie de notre première hypothèse, car on observe une augmentation de la centralisation et donc de la cohésion globale du réseau à la dernière période d'analyse.

Contrairement au degré de centralisation, la moyenne du coefficient de centralité par proximité affiche une évolution globale négative. Même s'il y a deux faibles redressements aux périodes 2 et 4, il y a une diminution générale de la centralité moyenne. Cela peut être interprété comme une expansion du réseau, avec l'inclusion des nouveaux collaborateurs la distance entre les chercheurs augmente. En conséquence joindre les autres membres devient plus difficile et dans ce sens la cohésion diminue. Ce résultat réfute la deuxième partie de notre première hypothèse. La formation du CIRRELT ne semble pas avoir d'influence sur la facilité pour joindre les chercheurs à travers leurs collaborations.

4.2.2 Cohésion régionale

La classification géographique des chercheurs ainsi que l'indice de centralité par proximité nous permettent de dresser un portrait de l'évolution de la cohésion dans les deux villes où sont situées les universités qui font partie du CIRRELT. Ces résultats sont présentés dans le tableau 4-3 suivant.

Tableau 4-3: Centralité par proximité regroupée par agglomération

Agglomération	Période				
	1	2	3	4	5
Montréal	0.222	0.134	0.145	0.222	0.190
Québec	0.238	0.190	0.213	0.251	0.197

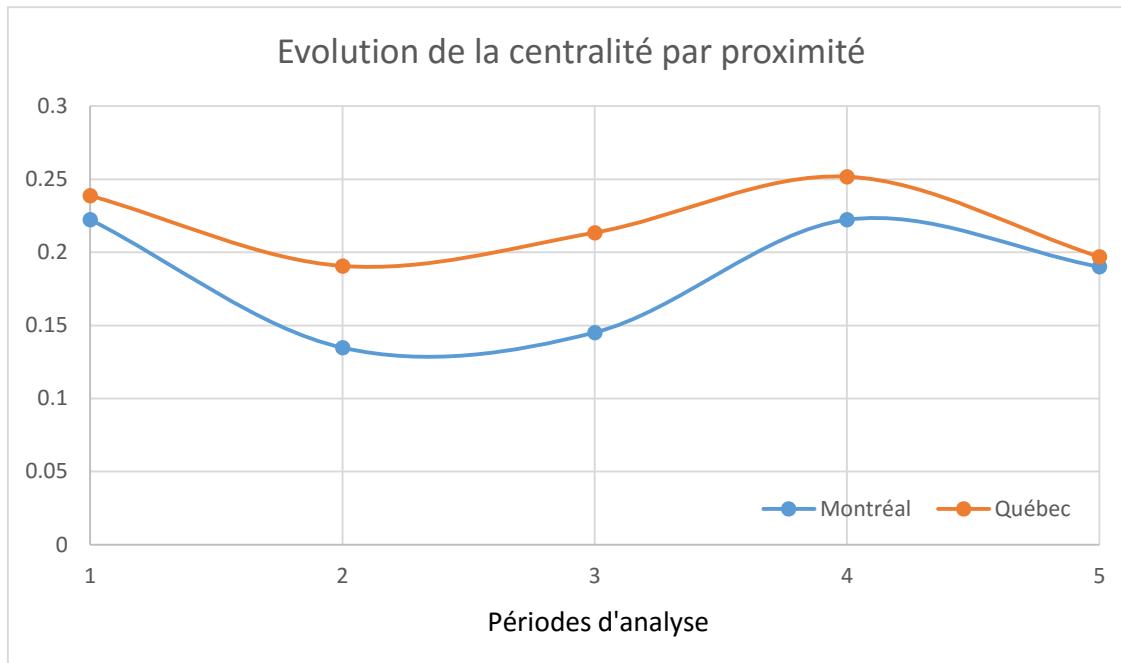


Figure 4-4: Graphe de la centralité des agglomérations.

Nous pouvons remarquer que la moyenne de la centralité de l'agglomération de Québec est tout le temps plus importante que celle de Montréal. Malgré cette différence, les indices pour les deux villes suivent la même évolution.

Dans un premier temps il existe une chute de la centralité entre les deux premières périodes. Une fois le CIRRELT formé à la fin de la période 2, nous pouvons voir un développement de la centralité pendant les 6 prochaines années traduits par les périodes 3 et 4 et finalement dans les deux cas nous pouvons voir un déclin dans les 3 dernières années. Même si à la dernière période étudiée on peut apercevoir cette diminution, il existe aussi un équilibrage de la centralité des deux pôles géographique du centre.

Nous pouvons apercevoir donc une augmentation de la cohésion lorsque le CIRRELT a été formé, cette hausse continue jusqu'à la cinquième période d'analyse. L'évolution peut être expliquée par la motivation à collaborer et donc écrire des documents avec le plus de membres possible. Après la revalorisation de la collaboration, les membres du centre de recherche découvrent des collaborateurs privilégiés et donc la cohésion descend pour se stabiliser.

Du point de vue des pôles géographiques, nous pouvons en déduire que les chercheurs associés aux universités de Québec sont plus connectés et donc plus cohésifs que les chercheurs de Montréal. Cela peut être dû au nombre d'universités présentes dans la région de Montréal, où il y a 7 institutions participants au CIRRELT, tandis qu'il y a qu'une université dans la région de Québec.

Pour voir l'influence des chercheurs de la région de Montréal sur la structure globale du réseau nous pouvons étudier le réseau de collaboration créé à la dernière période d'analyse en séparant les universités de Montréal et Québec.

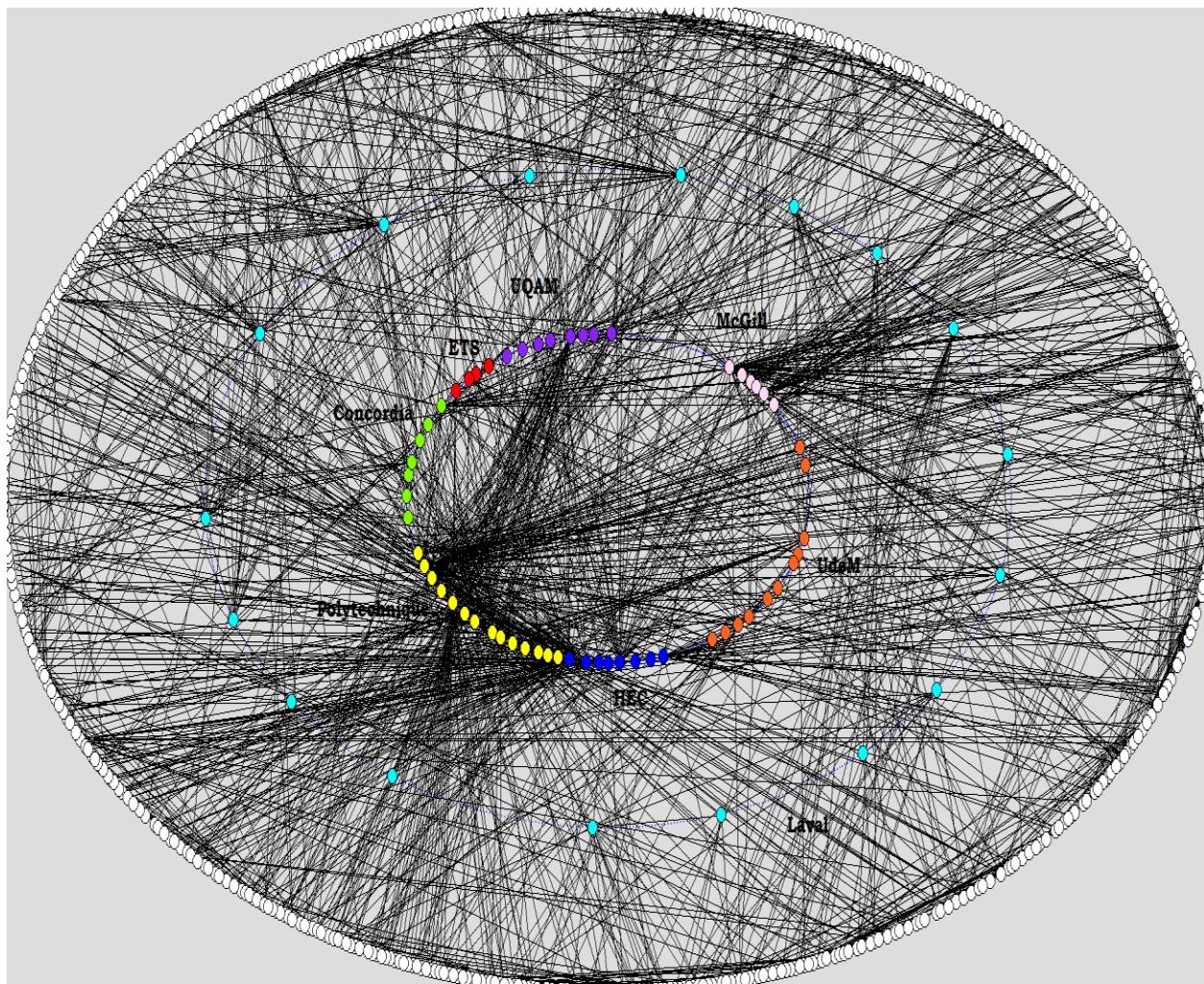


Figure 4-5: Réseau de collaboration circulaire à la période 5

La figure 4-5 représente le réseau de collaboration entre 2012 et 2014, nous avons placé les acteurs sur 3 cercles concentriques. Sur le cercle extérieur sont localisés les chercheurs qui n'appartiennent pas au CIRRELT. Les membres du CIRRELT à Québec sont sur le cercle moyen et finalement sur

le cercle intérieur sont situés les membres du CIRRELT affiliés à Montréal. Ces deniers sont ordonnés par institution de recherche. Nous pouvons observer que la densité des échanges entre les chercheurs situés à Montréal est importante autour de Polytechnique, HEC, UdeM, UQÀM et ÉTS. Cela peut être influencé par la proximité institutionnelle, en effet ces universités partagent une culture francophone.

Grâce à cette figure, nous pouvons aussi observer que les chercheurs de l'École Polytechnique sont très actifs dans la collaboration à l'intérieur de Montréal tandis que ceux affiliés à McGill sont plus ouverts vers l'extérieur du CIRRELT.

Dans la section suivante, nous allons nous pencher sur une échelle plus petite et analyser la cohésion du système à l'échelle universitaire.

4.2.3 Étude la proximité institutionnelle.

Pour l'étude de la cohésion à cette échelle nous utilisons la classification universitaire construite auparavant et les données de la centralité par auteur. Pour étudier l'évolution de la centralité, nous avons utilisé la moyenne des centralités des chercheurs associés aux 8 universités affiliées au CIRRELT. Nous présentons les résultats ci-après.

Tableau 4-4: Moyenne de la centralité de proximité par université

Université	Période				
	1	2	3	4	5
U. Concordia	0.198	0.064	0.088	0.220	0.187
ÉTS	0.223	0.176	0.152	0.234	0.118
HEC Montréal	0.275	0.175	0.180	0.197	0.211
U. McGill	0.175	0.041	0.044	0.221	0.182
Polytechnique Montréal	0.245	0.199	0.183	0.260	0.244
U. de Montréal	0.206	0.127	0.163	0.190	0.154
U. Laval	0.253	0.199	0.212	0.256	0.197
U. du Québec à Montréal	0.181	0.094	0.154	0.218	0.165

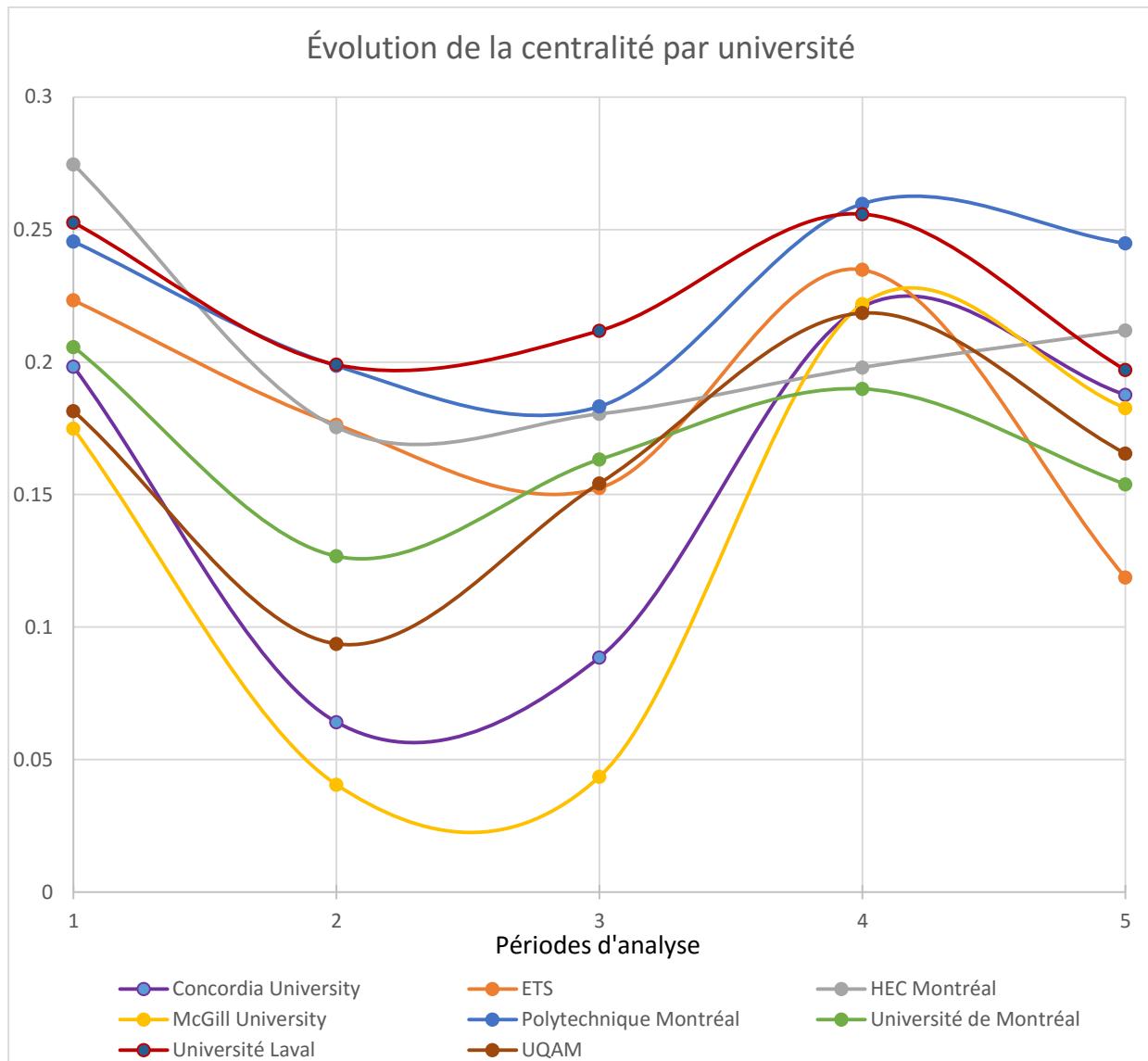


Figure 4-6: Évolution de la centralité par université

D'une manière générale, l'évolution de la centralité avant la création du CIRRELT (entre les périodes 1 et 2) suit une orientation descendante, même si pour quelques universités cette chute est plus importante que pour d'autres. Nous pouvons voir que pour HEC Montréal et pour l'université Concordia la pente descendante est plus importante. Ensuite, à l'exception de la centralité des chercheurs associés à HEC Montréal, on peut apercevoir une même tendance dans l'évolution de la centralité de proximité à partir de la formation du centre de recherche.

Il y a une augmentation de l'indice de centralité pour toutes les universités dans les périodes 3 et 4, suivie par un déclin dans le dernier stade. L'augmentation de la centralité est plus importante pour Polytechnique Montréal, McGill et Concordia. L'École Polytechnique est l'université avec la centralité la plus grande tandis que McGill passe d'être la dernière université à la quatrième et Concordia passe de la septième à la cinquième place par rapport à leur moyenne.

Entre les périodes 4 et 5, il y a une chute de la centralité pour toutes les universités sauf HEC Montréal. Cette diminution est plus importante pour l'ÉTS qui apparaît comme la seule école à avoir une centralité plus basse qu'avant la formation du centre de recherche. Dans le cas de HEC Montréal, dès la création du CIRRELT la moyenne de la centralité de ses membres ne cesse d'augmenter, la plaçant deuxième en niveau d'importance derrière Polytechnique à la fin de l'étude.

D'une manière globale, nous pouvons remarquer qu'à partir de la création du CIRRELT, la centralité moyenne des universités a augmenté même si la tendance semble continue. Nous pouvons aussi remarquer que les différences entre les indices de centralité se sont réduites dans le cas des universités ainsi que pour les régions. Cela confirme notre deuxième hypothèse selon laquelle la cohésion globale du centre exprimé dans notre étude par l'indice de centralité de proximité a augmenté avec la création du CIRRELT.

Dans le but d'avoir une meilleure vision de l'évolution de cette cohésion, nous pouvons utiliser la représentation graphique du réseau.

Nous allons donc présenter l'évolution de la centralité graphiquement. Pour cela, nous allons représenter chaque université par un cercle dont la taille est liée à la moyenne de la centralité par proximité des acteurs qui y sont affiliés, l'ensemble d'acteurs du réseau qui ne sont pas affiliés au CIRRELT vont être représentés par un cercle blanc dont la taille est liée à la centralité. La distance entre les catégories, dans ce cas les écoles, est liée proportionnelle à la force des liens entre elles.

4.2.3.1 Visualisation du réseau

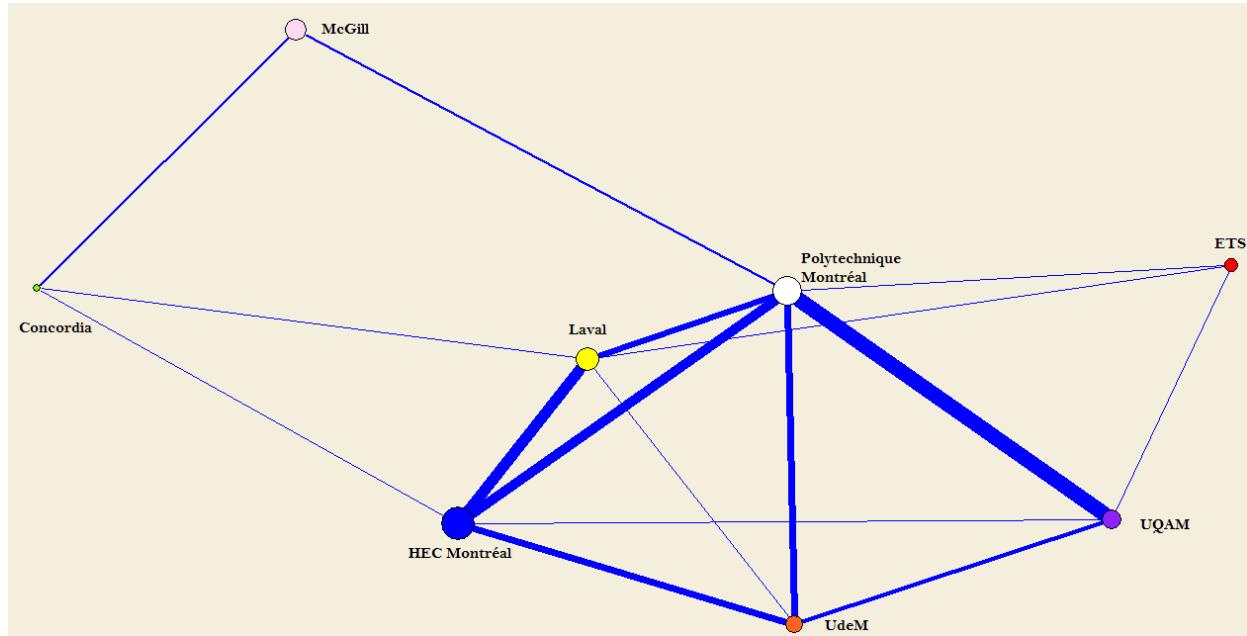


Figure 4-7: Représentation des interactions entre universités dans la période 1

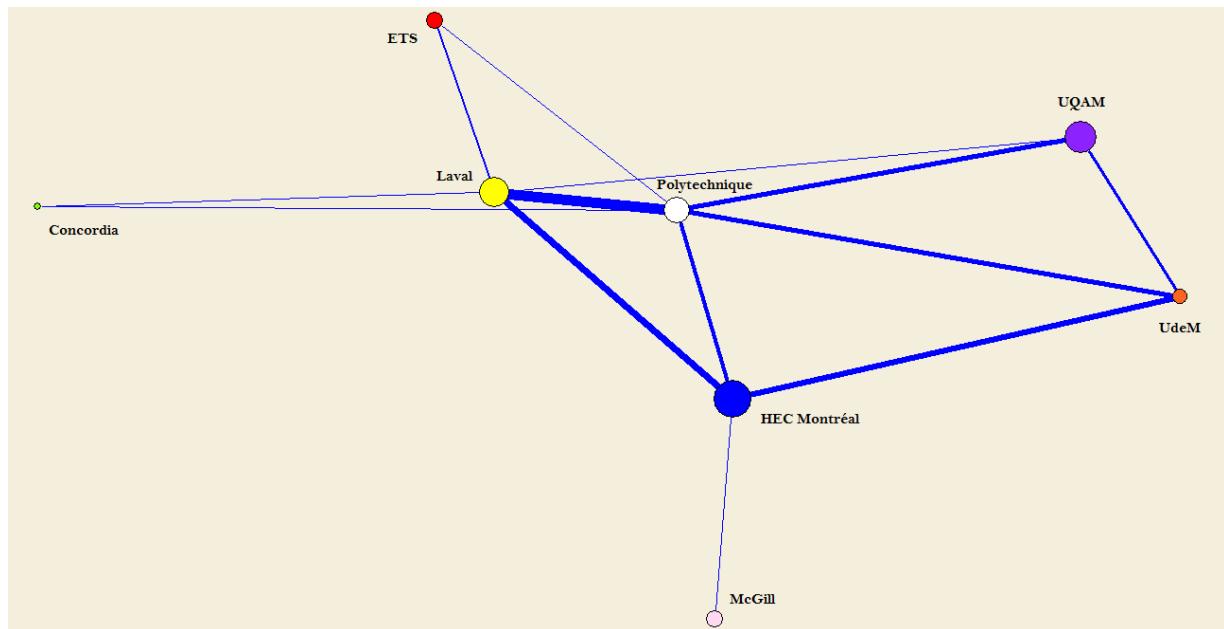


Figure 4-8: Représentation des interactions entre universités dans la période 2

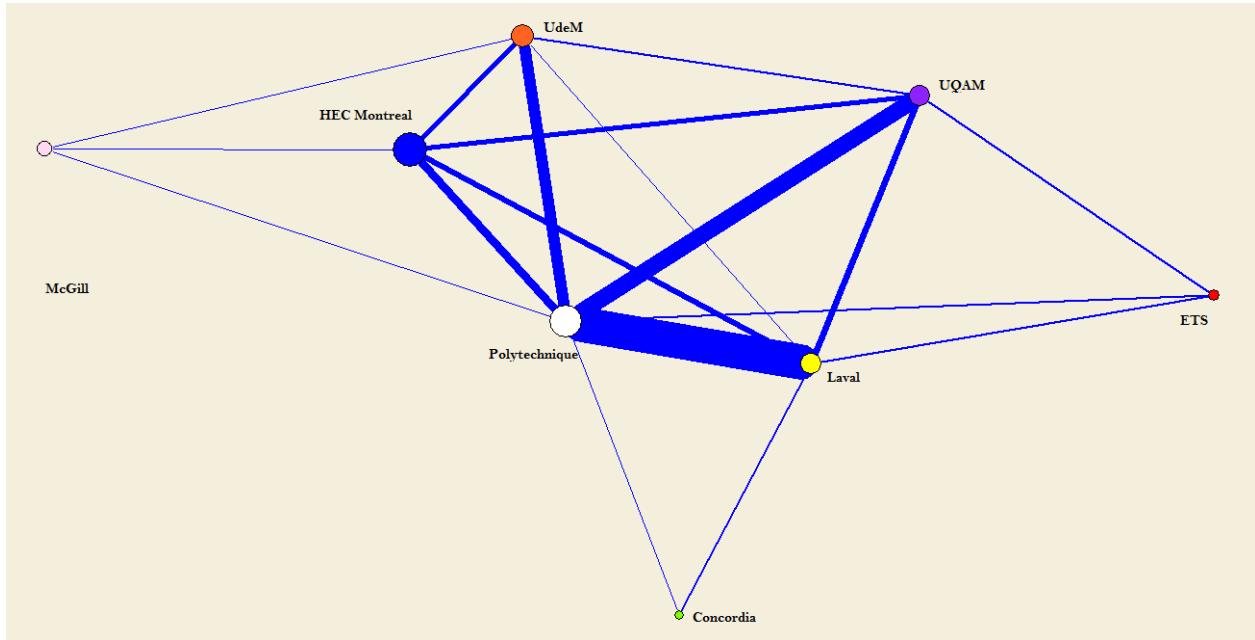


Figure 4-9: Représentation des interactions entre universités dans la période 3

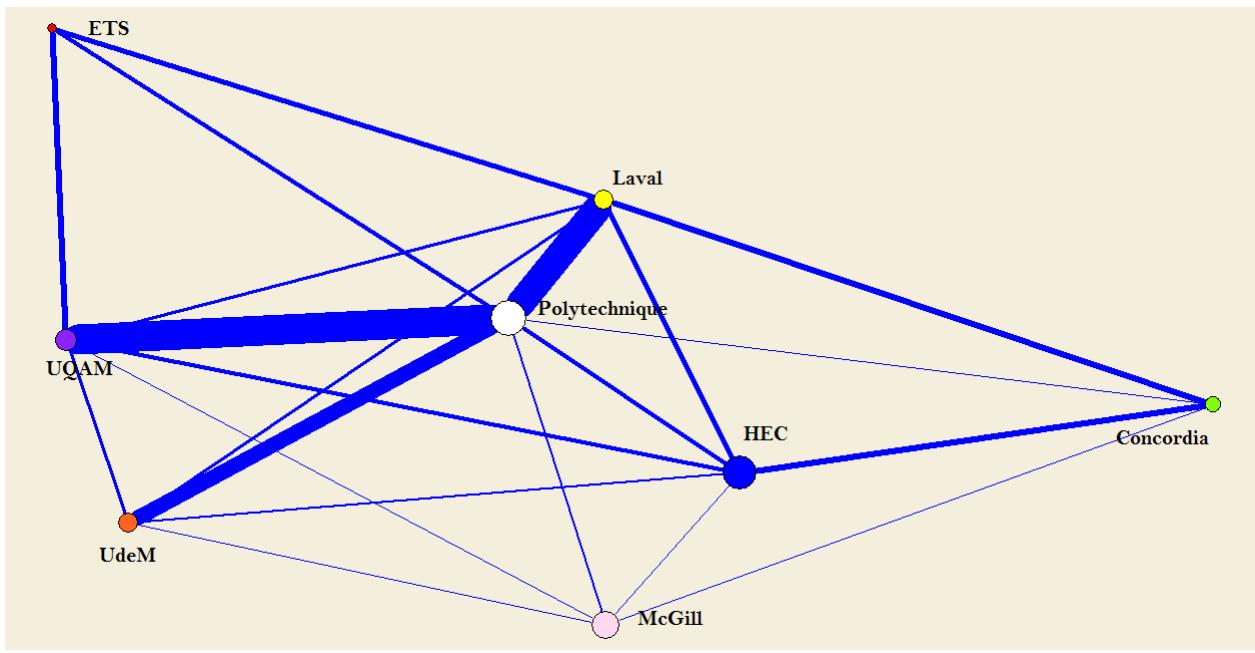


Figure 4-10: Représentation des interactions entre universités dans la période 4

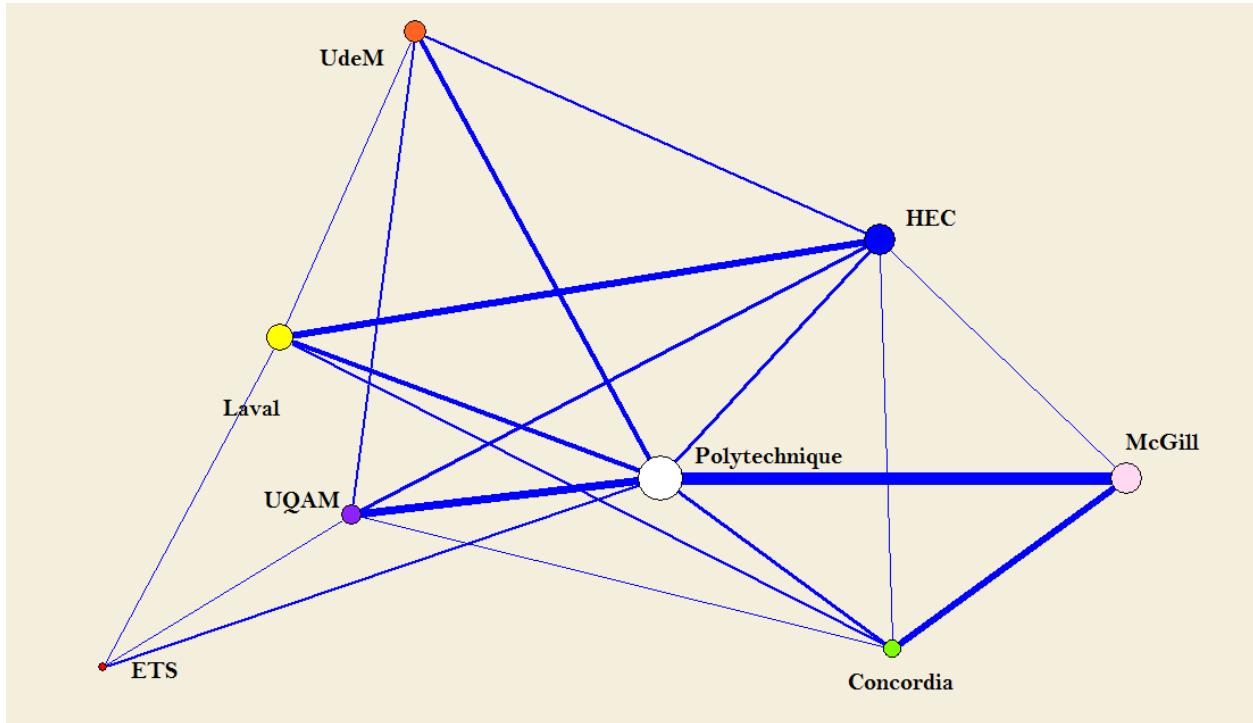


Figure 4-11: Représentation des interactions entre universités dans la période 5

Grâce à la visualisation du réseau de collaboration entre les universités dans la première période d'analyse, on peut voir qu'il existe 3 groupes d'universités par leur niveau d'interaction avec les autres. Le premier groupe est composé par les 3 écoles avec les liens plus forts avec le reste d'institutions, ces universités sont l'université Laval, Polytechnique et HEC. Le deuxième groupe avec une localisation plus excentrée est composé par McGill, l'Université de Montréal et l'Université de Québec à Montréal. Finalement deux institutions se trouvent à la périphérie du système : l'ÉTS et Concordia.

En plus des différences marquées sur la force de la collaboration entre les institutions, nous pouvons remarquer la différence dans leur centralité par proximité, cela est exprimé par la différence de taille entre les circonférences des représentations. Nous pouvons voir un déséquilibre important entre les universités.

Par la représentation graphique de la collaboration pendant la deuxième période d'analyse, nous pouvons identifier encore deux institutions périphériques dans ce cas Concordia et McGill.

Sur le centre de la figure, nous pouvons apprécier que le déséquilibre dans les centralités moyennes a augmenté dans cette période. Nous pouvons aussi voir que les interactions sont moins fortes que

dans la période précédente, car il y a plus d'universités éloignées du reste. Cela se traduit pour une cohésion encore faible dans cette période.

Le centre de recherche a été formé à la fin de la période 2 donc nous pouvons commencer à voir l'influence de cet évènement sur la structure du réseau de collaboration à la période 3.

À partir de la création du CIRRELT, nous pouvons constater deux évolutions positives. D'une part, on peut apercevoir la mise en place d'un équilibre de la taille des nœuds du réseau, représentant la centralité. D'autre part, il existe un rapprochement entre 5 des institutions étudiées, il y a donc une augmentation de la cohésion. Malgré cette évolution positive, on voit encore les membres de Concordia et l'ÉTS qui restent périphériques et avec une faible centralité.

Le réseau de collaboration construit à la période 4 nous montre un rapprochement entre les institutions représentées au CIRRELT. Il existe encore une périphérie composée par les universités de Concordia et l'ÉTS, mais l'excentricité de celle-ci est plus faible qu'avant. Nous pouvons donc voir une évolution positive de la cohésion du centre de recherche. Par contre, il y a encore des différences dans les centralités des institutions.

À la fin de notre analyse, nous pouvons voir un réseau plus compact dans lequel la périphérie est très proche des autres auteurs. L'équilibre des centralités des universités n'est pas atteint mais son évolution semble favorable. Seule l'ÉTS a une centralité très faible comparée aux autres.

Nous pouvons voir aussi que la cohésion du réseau a augmenté et donc cela confirme aussi la première hypothèse. Par contre, dans ces représentations on n'aperçoit pas une collaboration plus étroite entre les institutions localisées dans la même région.

4.3 Diversité des disciplines

Dans cette partie, nous explorons les résultats des indicateurs qui expriment la diversité des disciplines accessibles au sein du CIRRELT. Cela va nous aider à capturer et interpréter une dimension de l'interdisciplinarité.

4.3.1 Proportion

Avec les données disponibles sur les documents produits au CIRRELT et la classification par disciplines de ses membres nous pouvons identifier la proportion que chaque discipline représente dans les publications du centre.

Tableau 4-5: Proportion des disciplines dans les publications CIRRELT

Avec ces résultats, nous pouvons étudier deux aspects de la diversité, d'un côté la variété des disciplines et d'un autre leur équilibre. Pour étudier la variété, nous allons analyser le nombre de disciplines représentées ; pour l'équilibre, nous allons analyser leur proportion.

Le changement du nombre de disciplines représentées au CIRRELT en fonction du temps est montré dans la figure 4-10.

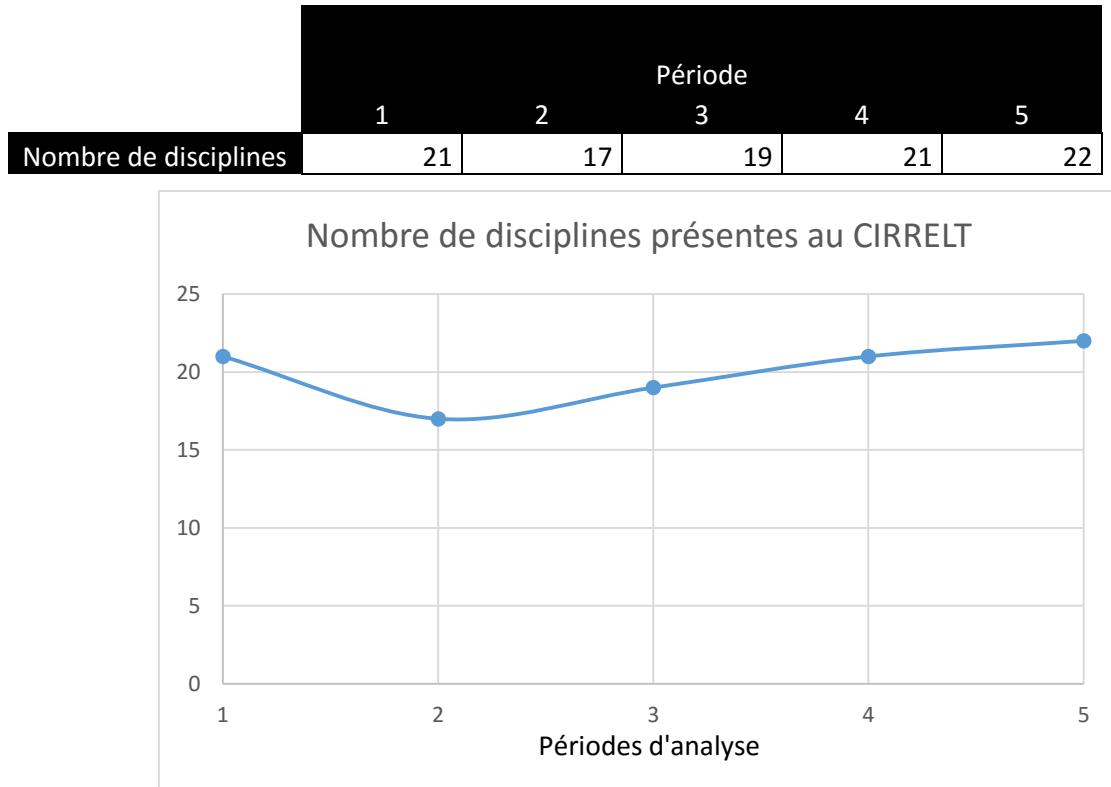


Figure 4-12: Variation du nombre de disciplines

L'évolution de la variété des disciplines montre qu'il y a un déclin dans les deux premières périodes. Mais, à partir de la formation du centre, la participation des différentes disciplines ne fait qu'augmenter. Cette augmentation du nombre de disciplines différentes présentes peut être due aux efforts menés pour l'intégration d'un centre de recherche interdisciplinaire. La présence de plus de disciplines est positive pour l'augmentation de la diversité, mais cette condition n'est pas suffisante, nous devons étudier un indicateur capturant toutes les dimensions de la diversité pour pouvoir en tirer des conclusions.

Nous présentons l'évolution de cette proportion des 22 disciplines représentées au CIRRELT dans les diagrammes de la figure 4-11. Seulement les disciplines avec plus de 2% dans la proportion des publications sont représentées, dans le cas contraire elles sont incluses dans la catégorie « Autres ».

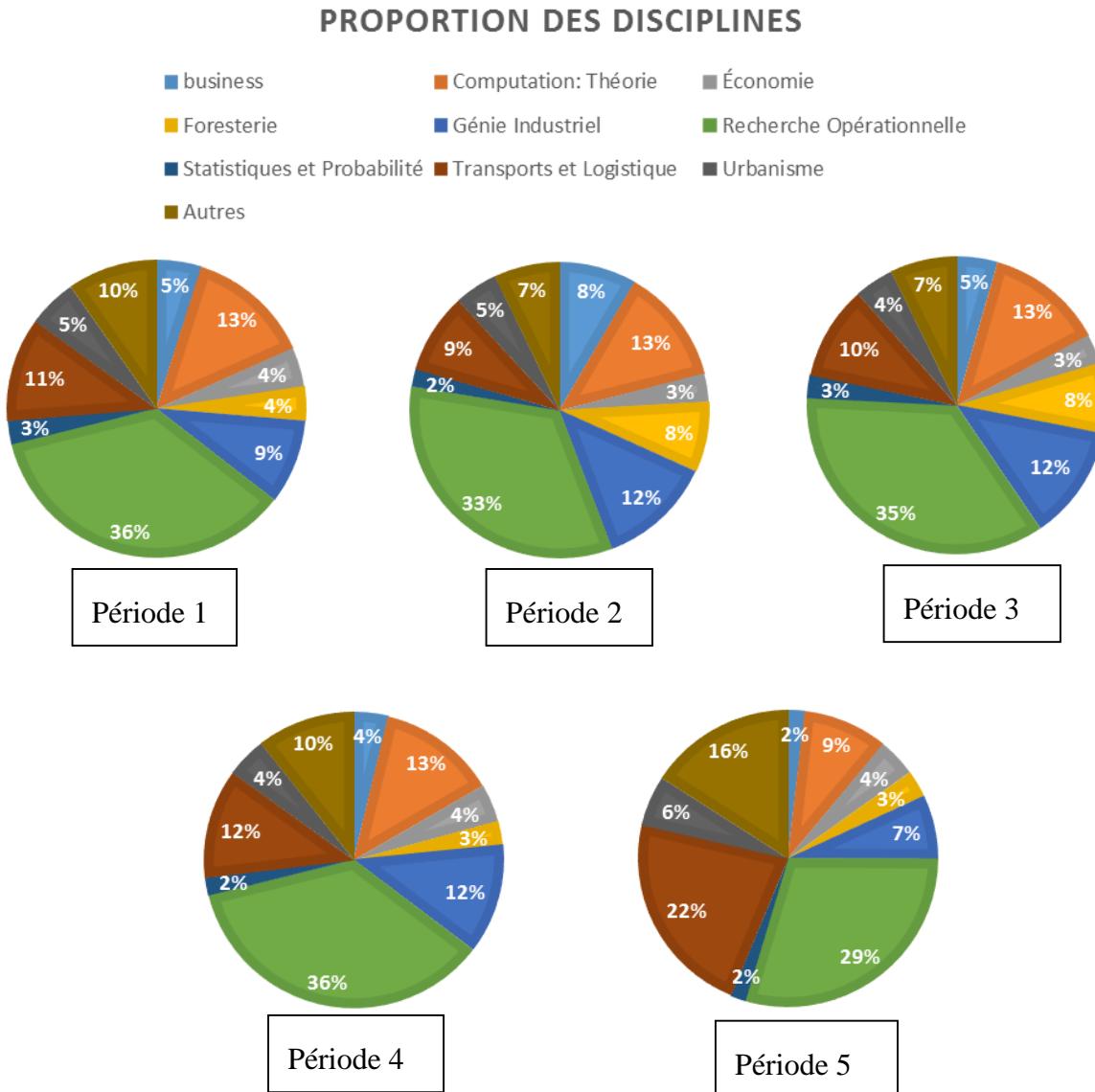


Figure 4-13: Évolution de la proportion des disciplines

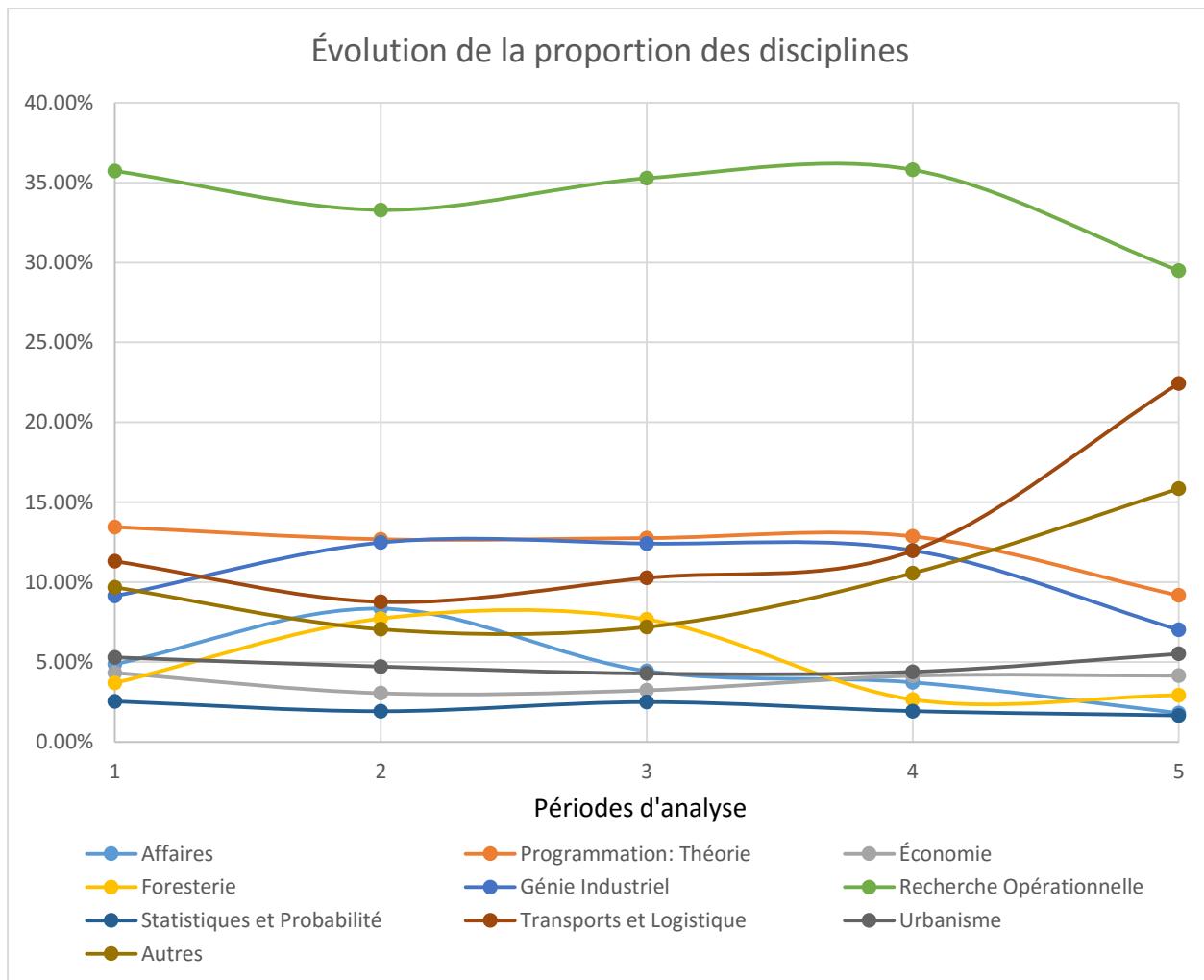


Figure 4-14: Évolution de la proportion des disciplines

Dans la figure 4-13, nous apercevons l'existence de 4 disciplines prédominantes (Recherche opérationnelle, programmation, transports et logistique et génie industriel), la recherche opérationnelle étant la discipline la plus représentée dans le centre de recherche.

Nous allons analyser plus en profondeur l'évolution de ces 4 disciplines en plus de la catégorie « Autres » qui peut avoir une influence importante sur le calcul de la diversité de notre étude.

- En ce qui concerne la discipline de la recherche opérationnelle, on peut voir que son évolution montre deux phases. D'abord une longue phase de stabilité pendant les 4 premières périodes d'analyse pour après subir une baisse dans sa proportion des publications. Cette diminution dans l'influence se montre assez importante représentant un 7% d'écart entre la période 4 et la période 5.

- De même, pour la programmation, on aperçoit la même évolution avec les quatre premières périodes de stabilité à 13% et après une chute de 4% entre la quatrième et cinquième période.
- Pour la discipline transports et logistique, nous trouvons deux phases aussi. La première phase est une phase de diminution dans la part de cette discipline passant de 10% à 9% dans les deux premières étapes analysées. Mais une fois le CIRRELT formé, la tendance de l'évolution de la discipline s'inverse et nous pouvons voir une croissance soutenue de la proportion de cette discipline passant de 10% à 22% de 2006 à 2014 et notamment une croissance accélérée de 10% entre la quatrième et cinquième période. Cela montre le développement de cette discipline comme axe de recherche depuis la formation du centre de recherche.
- Dans le cas de l'évolution du génie industriel, nous pouvons identifier 3 phases clefs, la première phase de croissance de 9% à 12% entre la première et deuxième période, ensuite une stabilité dans les trois prochaines périodes pour finalement décroître à 9% entre la quatrième et cinquième période. Cela montre le début de la spécialisation du centre de recherche dans les trois volets principaux. Le reste des disciplines se présentent donc comme disciplines secondaires ou disciplines représentant des outils pour les autres.
- La catégorie « autres » suit une évolution en deux phases : en premier, un stade de décroissance pendant les deux premières périodes durant laquelle la proportion de ces disciplines passe de 10% à 7%. Dans un deuxième temps, une phase de croissance pendant les trois dernières périodes d'analyse qui donne comme résultat un passage de la proportion de 7% à 16%.

L'évolution dans la proportion des disciplines a une forte influence dans la mesure de la diversité même si celle-ci doit être encore pondérée par la similitude entre les différentes disciplines, mais son analyse peut nous donner de l'information intéressante sur les chercheurs affiliés au centre et son développement.

La première remarque que nous pouvons faire sur la proportion des disciplines du CIRRELT est l'existence des disciplines principales. Ces disciplines sont, par leur ordre d'importance dans la proportion : la recherche opérationnelle, la programmation, les transports et logistique et le génie industriel. Au fur et à mesure de la construction du centre de recherche, nous pouvons apercevoir

un équilibrage de la proportion des disciplines pour en arriver à la fin de l'analyse à deux disciplines principales qui sont la recherche opérationnelle ainsi que les transports et la logistique.

Cela est d'accord avec le profil du CIRRELT, car celui-ci est un centre de recherche focalisé sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport. La croissance de la proportion de documents sur les transports et la logistique nous montre que l'évolution des travaux de recherche vise à une revalorisation de ces disciplines principales qui, au début, ne ressortaient pas spécialement.

En outre, d'après l'évolution des proportions de la recherche opérationnelle et la programmation nous pouvons en déduire un lien fort entre les chercheurs représentant les disciplines au CIRRELT. Ce lien n'apparaît pas dans la matrice de similitude, car leur coefficient de similitude calculé sur les patrons des co-citations calculés par Porter (2007) est faible (0,073). La baisse dans la proportion des deux disciplines peut être expliquée aussi par le rôle plus important et la croissance des autres disciplines présentes.

Une de ces disciplines qui ont un rôle plus important comme vu précédemment est les transports et la logistique. Cette discipline est passée d'être la quatrième discipline par sa part dans les publications à être la deuxième avec une croissance très importante. Cela exprime une activation dans la production des chercheurs de cette discipline.

Finalement nous procédons à l'analyse de la proportion de la catégorie « autres », cet ensemble des disciplines est le plus important pour le calcul de la diversité et donc pour l'interdisciplinarité du centre. La catégorie est composée par 13 disciplines qui avaient moins de 2% de participation dans les documents issus du CIRRELT. L'évolution de cette catégorie nous montre que les efforts pour intégrer des disciplines autres que les disciplines principales au centre de recherche commencent à donner des résultats.

La croissance de la part des disciplines « secondaires » va avoir une influence importante dans la diversité du CIRRELT. Nous devons donc calculer le coefficient de Stirling adapté pour montrer que cette évolution dans la proportion disciplinaire implique aussi une diversité plus importante.

4.3.2 Diversité disciplinaire

Une partie importante de la recherche interdisciplinaire est la diversité des disciplines présentes dans la collaboration. La diversité représente l'hétérogénéité cognitive présente au sein d'un corps de recherche (Rafols et Meyer 2010).

L'analyse de l'indicateur de Stirling a été choisie comme l'outil pour étudier les trois composantes de la diversité. Pour le calcul de cet indicateur, nous disposons de la proportion des disciplines que nous venons d'analyser et aussi de la matrice de distance qui a été présentée dans la méthodologie. Le calcul de l'indicateur de la diversité sur Matlab nous donne les résultats suivants.

Tableau 4-6: Évolution de la diversité

	Période d'analyse				
	1	2	3	4	5
Δ (diversité stirling)	0.749	0.744	0.739	0.737	0.770
Croissance relative	0	-0.67%	-0.74%	-0.24%	4.57%

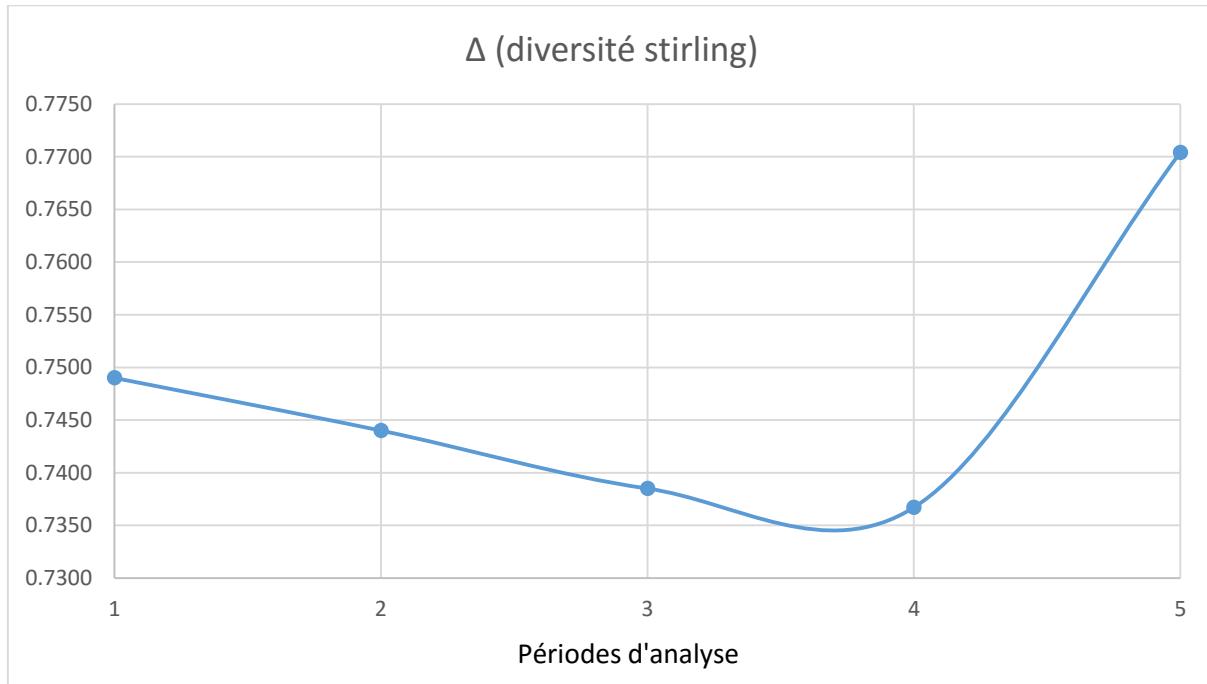


Figure 4-15: Graphe de la diversité de Stirling en fonction du temps

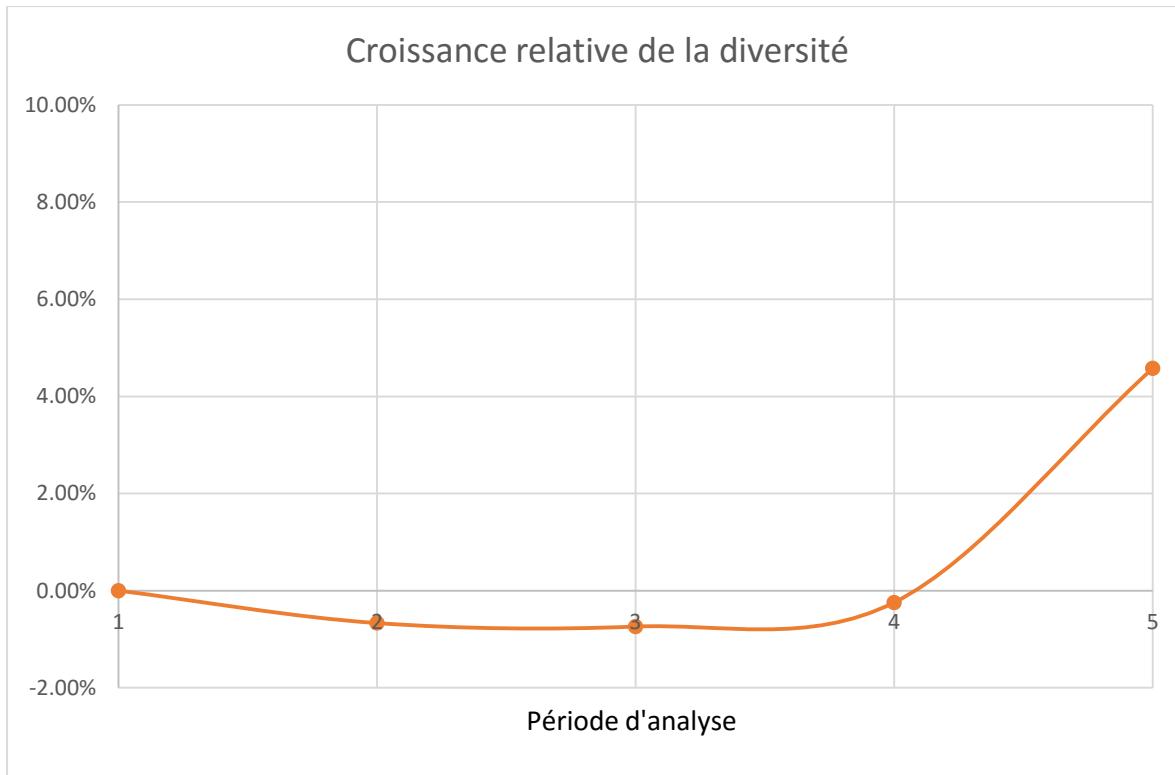


Figure 4-16: Évolution de la croissance relative de la diversité

Dans notre analyse, nous nous intéressons à l'évolution temporelle de la diversité. En effet, comme mentionné avant, l'intégration de connaissances se présente comme un processus et pas comme un état. Pour bien cerner ce processus, nous devons étudier l'évolution temporelle des indicateurs. Dans le cas de la diversité, elle représente la variété des disciplines, l'équilibre entre elles et finalement le degré dans lequel les disciplines sont similaires.

L'évolution de la variété et l'équilibre a été discutée précédemment dans l'analyse du nombre et de la proportion des disciplines présentes au CIRRELT.

Pour analyser la diversité en tant qu'un concept composé des trois dimensions, nous utilisons l'indicateur de Stirling (Stirling 2007). Nous pouvons identifier deux phases dans l'évolution de cet indicateur.

La première phase est une phase de décroissance de la diversité. Cette phase dure les 4 premières périodes d'analyse, donc de 2000 à 2011. Pendant ces années, nous pouvons observer une faible chute de l'indicateur de diversité. La diminution relative de l'indicateur a une allure différente : nous pouvons voir une chute soutenue entre les trois premières périodes d'analyse, mais à partir de

ce point nous enregistrons un ralentissement de la chute entre les périodes 3 et 4. C'est à l'intervalle entre 4 et 5 que la diversité atteint son niveau maximal.

Ces résultats nous permettent de confirmer la première partie de notre troisième hypothèse : même si la diversité a une évolution négative dans les deux premières périodes après la formation du centre, l'évolution globale est positive.

Nous pouvons voir que les efforts pour l'inclusion de plus de disciplines ont été bénéfiques pour la diversité au sein du centre de recherche. La décroissance de la diversité au début du centre pourrait être associée à une étape d'adaptation. Nous pouvons confirmer cela par l'évolution de la part de chaque discipline au sein des publications du CIRRELT. En effet, cette évolution montre que la répartition de la proportion des disciplines est stable et donc les efforts fournis avec la construction du CIRRELT ont transformé peu à peu cette répartition. La transformation de la proportion des disciplines a pris presque 6 ans, de 2006 à 2011. Pendant ce temps, nous pouvons observer que les disciplines représentées par moins de chercheurs ont gagné en proportion, cela est dû aux efforts pour intégrer ces chercheurs et favoriser la collaboration.

Avec les résultats du calcul de l'indicateur de Stirling, nous pouvons voir que même si la présence de chercheurs de plusieurs disciplines différentes est importante, on ne doit pas laisser de côté leur intégration. La proportion de ces disciplines dans les publications d'un centre de recherche est essentielle pour atteindre la diversité.

Pour faire une étude plus complète de la diversité au sein du CIRRELT l'analyse de l'indicateur de Stirling doit continuer dans le temps pour savoir si la diversité continue à évoluer favorablement ou si l'indicateur atteint la stabilité.

4.4 Cohérence des disciplines

L'autre composante de l'interdisciplinarité que nous devons mesurer est la cohérence entre les disciplines (Rafols et Meyer 2010). Pour capter cette notion, nous allons utiliser un indicateur structurel du réseau de collaboration, la centralité par intermédiaire (*betweeness*) (Leydesdorff 2007). Nous allons analyser dans un premier temps les résultats de l'évolution de la moyenne de l'indice de centralité par intermédiaire. Ensuite, nous allons présenter l'évolution de la cohérence grâce à la visualisation des réseaux de collaboration construits dans chaque période d'analyse.

4.4.1 Évolution globale de la centralité par intermédiaire

À l'aide de la classification disciplinaire expliquée dans la partie méthodologie et le calcul de la centralité par intermédiaire sur le réseau de coauteurs, nous pouvons exprimer l'évolution de cet indice de mesure de la cohérence. Une centralité par intermédiaire importante (proche de 1) indique que le chercheur est placé souvent dans le chemin le plus court entre deux collaborateurs il est donc important dans la transmission des connaissances. Les tableaux exprimant les résultats de la centralité par auteur et par discipline sont disponibles dans les **annexes O et P**. À partir de ces résultats, nous pouvons construire le tableau suivant qui exprime l'évolution globale de la centralité par intermédiaire.

Tableau 4-7: Évolution de la centralité par intermédiaire moyenne

	Période				
	1	2	3	4	5
Moyenne de la centralité	0.028	0.0253	0.0265	0.0313	0.0344

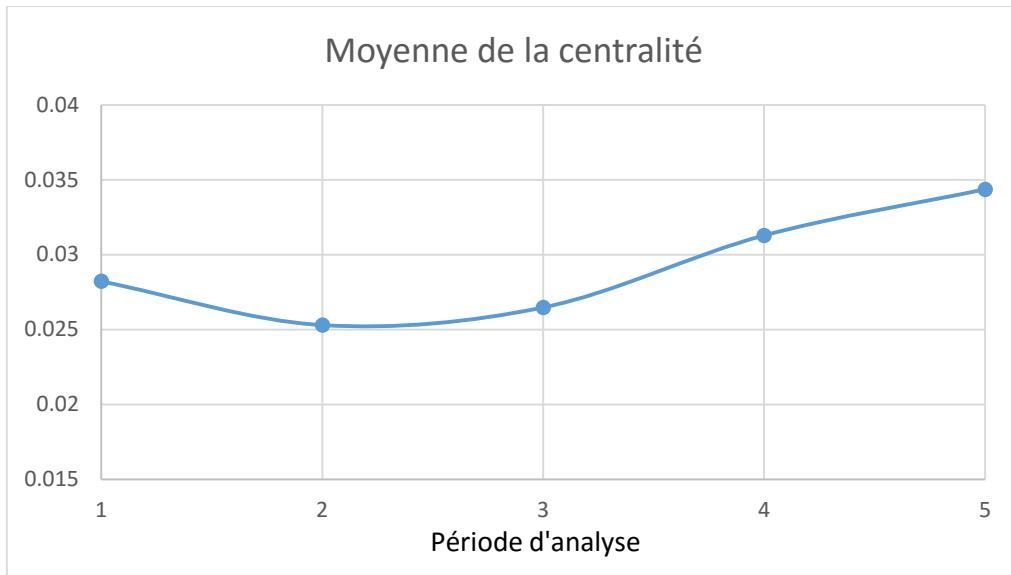


Figure 4-17: Évolution de la centralité par intermédiairité moyenne

Nous pouvons apprécier deux étapes dans l'évolution de la centralité. La première est une diminution de la centralité moyenne jusqu'au moment de la formation du centre de recherche, c'est-à-dire à la fin de la deuxième période. À partir de cet événement, il existe une croissance soutenue de la centralité moyenne.

La centralité par intermédiairité étant un indicateur de la cohérence des disciplines, nous pouvons dire qu'à partir de la création du CIRRELT, il y a une évolution positive de la cohérence entre les collaborateurs, favorisant l'intégration des connaissances. D'un point de vue de la collaboration, cela exprime que les chercheurs et donc les connaissances de chaque discipline qu'ils apportent aux autres membres du centre ont des relations plus étroites avec les acteurs restants du système social. Le développement des relations entre les membres facilite le partage des connaissances.

Pour étudier les relations entre les chercheurs et les disciplines plus profondément, nous allons utiliser la visualisation des réseaux de collaboration entre les membres du CIRRELT. La représentation graphique est dans ce cas un outil intéressant pour l'analyse des relations et donc de la cohérence du réseau.

4.4.2 Évolution de la centralité par intermédialité

La figure 4-17 et le tableau 4-6 montrent l'évolution de la centralité par intermédialité (*Betweeness*) des chercheurs associés à chaque discipline présente dans le CIRRELT. Cela décrit la cohérence entre les disciplines.

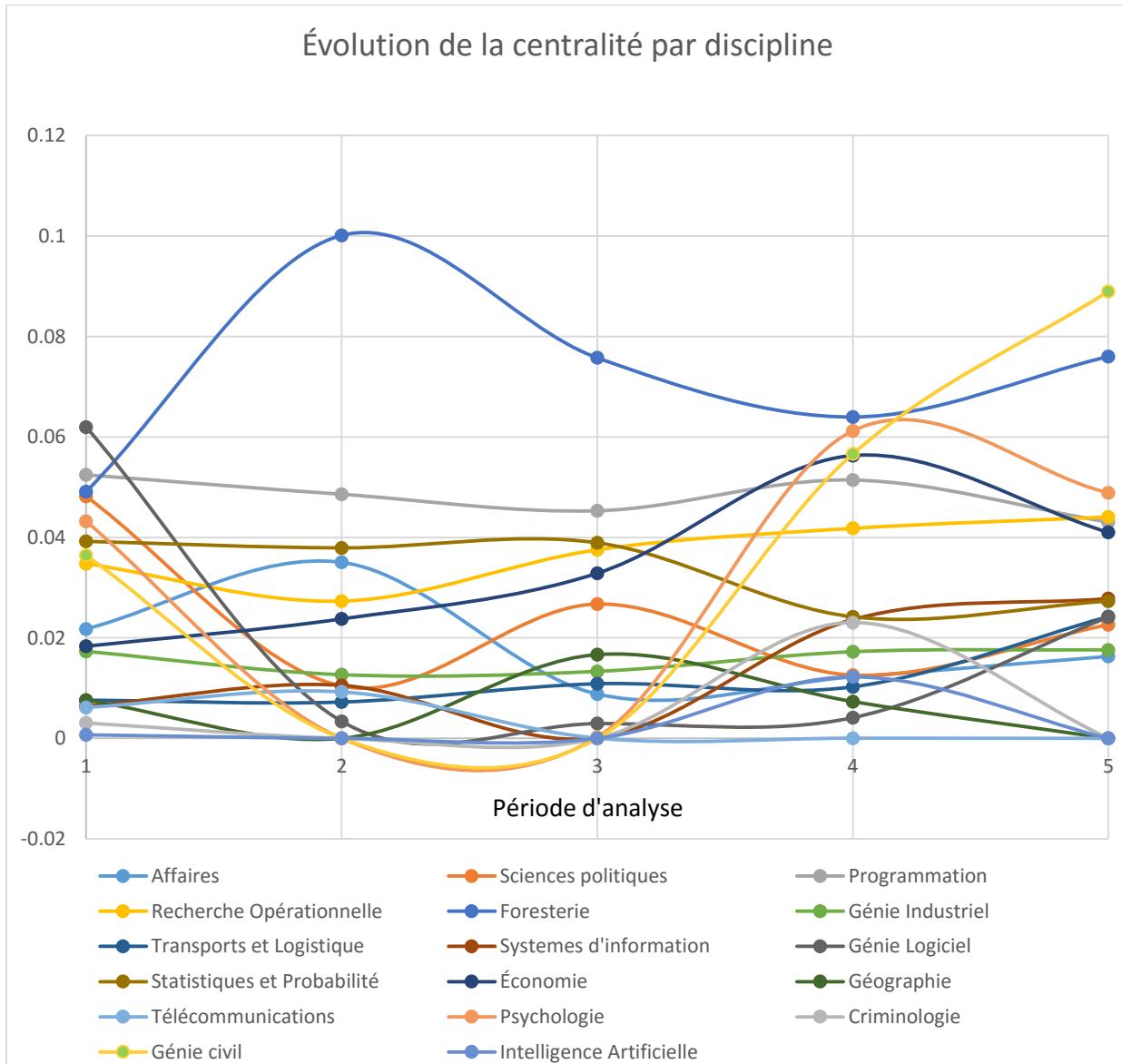


Figure 4-18: Graphe d'évolution de la centralité par intermédialité

Tableau 4-8: Centralité d'intermédiairité par disciplines

Disciplines	Périodes d'analyse				
	2	3	4	5	
Affaires	0.022	0.035	0.009	0.012	0.016
Sciences politiques	0.048	0.010	0.027	0.013	0.022
Programmation	0.052	0.049	0.045	0.051	0.043
Recherche Opérationnelle	0.035	0.027	0.038	0.042	0.044
Foresterie	0.049	0.100	0.076	0.064	0.076
Génie Industriel	0.017	0.017	0.013	0.017	0.018
Transports et Logistique	0.008	0.007	0.011	0.010	0.024
Systèmes d'information	0.006	0.011	0.0001	0.027	0.028
Génie Logiciel	0.062	0.003	0.003	0.004	0.024
Statistiques et Probabilité	0.039	0.038	0.039	0.024	0.027
Économie	0.018	0.024	0.033	0.056	0.041
géographie	0.008	0	0.017	0.007	0
Télécommunications	0.006	0.009	0.001	0.001	0
Psychologie	0.043	0	0.001	0.061	0.049
Criminologie	0.003	0	0.001	0.023	0.001
Génie civil	0.036	0	0	0.057	0.089
Intelligence Artificielle	0.001	0	0	0.012	0.001

Grâce à ces représentations de la centralité par intermédiairité nous pouvons remarquer les disciplines dont les chercheurs occupent des places stratégiques pour la transmission des connaissances.

D'une manière générale, la centralité par intermédiairité des disciplines subit une altération faible sauf pour 5 disciplines : Génie logiciel, Sciences Politiques, Statistiques, Génie Civil et Foresterie. Pour les 4 premières de ces disciplines, la création du CIRRELT a permis un développement de leur centralité. Cela a comme conséquence une augmentation de la cohérence au sein du réseau de collaboration. Au contraire, pour la discipline de Foresterie nous pouvons voir une décroissance de sa centralité mais celle-ci reste importante et elle ne diminue pas la cohérence globale du centre.

Par le graphe d'évolution de la centralité, nous pouvons identifier 4 groupes des disciplines différentes par leur influence dans la transmission d'information. Le premier groupe est composé par les disciplines de génie civil et foresterie, ces disciplines sont les plus centrales et donc ses chercheurs sont des « ponts » pour la transmission de la connaissance. Le deuxième groupe est composé par les chercheurs de psychologie, recherche opérationnelle, économie et programmation.

Ces chercheurs apportent une cohérence disciplinaire importante par leur rôle d'intermédiaires dans la collaboration. Le troisième groupe est le plus nombreux, celui-ci est composé par 6 disciplines représentant la première périphérie du réseau par leur centralité. Nous trouvons dans ce groupe la discipline transports et logistique, nous observons une évolution positive de sa cohérence avec les autres disciplines à partir de la formation du CIRRELT. Les chercheurs de cette discipline ont pris plus d'importance dans la collaboration au sein du centre, car c'est un des axes de spécialisation de la recherche du centre. Ce développement doit continuer sur la même voie pour augmenter la cohérence disciplinaire générale du centre. Finalement on identifie un dernier groupe composé de 4 disciplines : criminologie, géographie, intelligence artificielle et télécommunications. Les chercheurs associés à ces disciplines ont une faible influence dans la collaboration comme intermédiaires. Il y a donc une faible intégration des connaissances de ces disciplines dans le CIRRELT.

4.4.3 Représentation graphique des réseaux de collaboration

Pour effectuer notre analyse, nous allons utiliser deux visualisations du réseau de collaboration par période étudiée. Pour visualiser les réseaux, nous avons utilisé la représentation automatique de Fruchterman-Reingold (Fruchterman et Reingold 1991) dans laquelle la force des liens entre les acteurs est prise en compte dans le positionnement de ceux-ci. La distance entre chaque nœud est en conséquence proportionnelle à la force de leur relation.

Dans la première visualisation, nous allons nous intéresser aux interactions individuelles entre les chercheurs, chaque acteur étant représenté par un cercle de la couleur de la discipline principale associée, les chercheurs qui n'appartiennent pas au CIRRELT sont représentés par un cercle blanc. Le deuxième type de visualisation que nous allons utiliser est une vue globale de la collaboration entre les différentes disciplines. Dans cette représentation, la taille des disciplines est liée avec le degré moyen de centralité par intermédiarité et la distance entre les acteurs est en fonction de la force des liaisons. Le code de couleurs utilisé dans la visualisation est présenté ci-après.

Discipline	
Recherche Opérationnelle	Blue
Transports et Logistique	Green
Génie Industriel	Red
Programmation	Dark Blue
Affaires	Pink
Génie Civil	Yellow
Criminologie	Orange
Intelligence Artificielle	Purple
Économie	Dark Purple
Foresterie	Cyan
Géographie	Dark Green
Systèmes d'information	Grey
Télécommunications	Black
Science Politique	Dark Red
Psychologie	Light Green
Génie Logiciel	Light Yellow
Statistiques et Probabilité	Magenta

Figure 4-19: Légende de la représentation graphique des disciplines

4.4.3.1 Visualisation du réseau de collaboration à la période 1

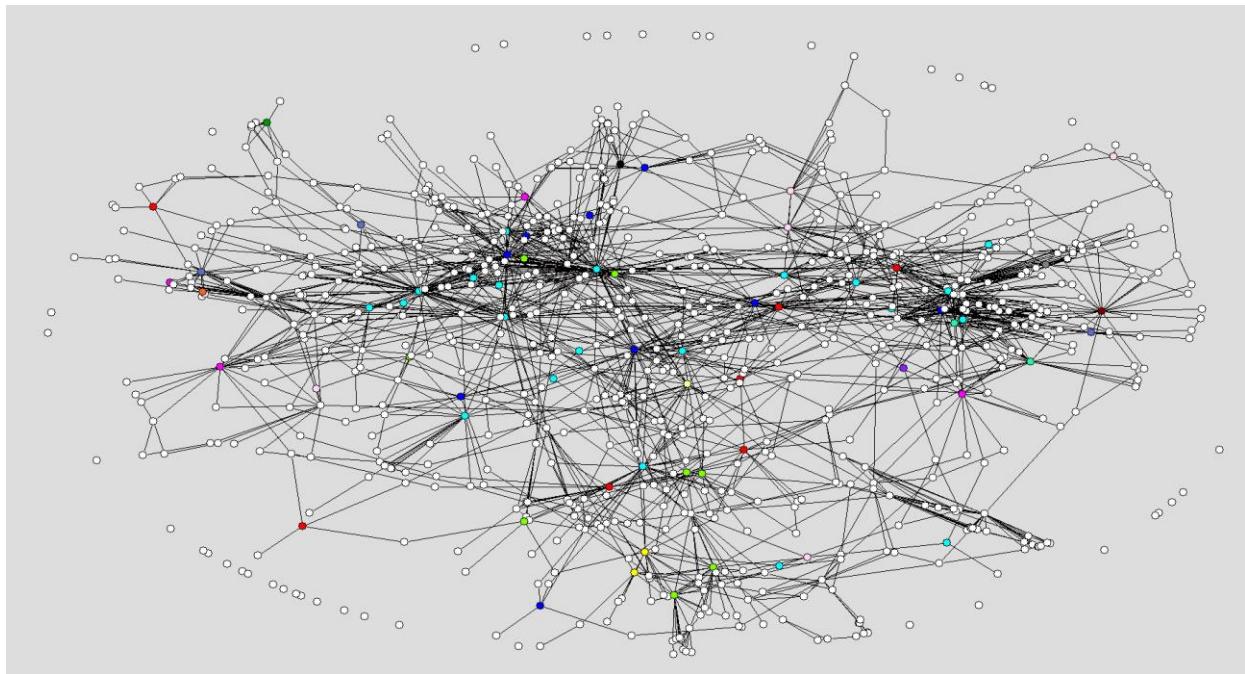


Figure 4-20: Réseau de collaboration à la période 1

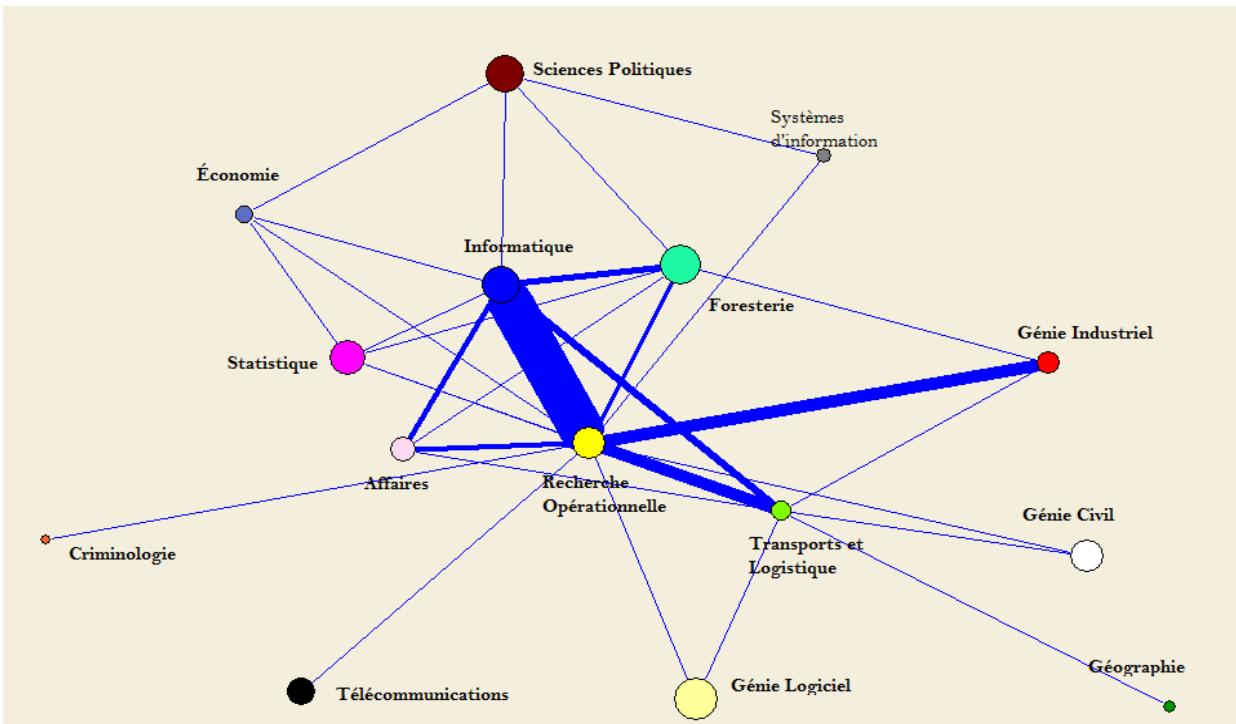


Figure 4-21: Réseau de collaboration par disciplines à la période 1

À cette première période, nous pouvons voir un réseau bien connecté dans lequel les chercheurs associés à la recherche opérationnelle et à la programmation occupent une place centrale. Les chercheurs sur les transports et logistique sont moins bien liés aux autres et se trouvent à collaborer plus dans la périphérie du réseau, cette collaboration se fait principalement avec les chercheurs du génie civil et géographie.

Le reste de disciplines présentes ont des relations plus étroites avec la recherche opérationnelle et la programmation. Sauf pour le cas du génie industriel, dont les chercheurs se trouvent souvent à la périphérie.

Nous allons compléter cette analyse par la visualisation des collaborations par discipline.

Dans cette période, nous pouvons voir qu'au moins 11 disciplines sont bien liées entre elles. Les autres disciplines comme l'intelligence artificielle, la criminologie, les télécommunications et les systèmes d'information ne sont pas des disciplines centrales en termes d'intermédialité.

Parmi les disciplines qui collaborent plus étroitement, nous voyons qu'il existe encore un déséquilibre de leur centralité. La recherche opérationnelle étant la discipline qui a plus de liens de collaboration avec le reste des disciplines, les chercheurs de cette discipline ont plus de pouvoir dans la transmission de l'information. Les chercheurs affiliés aux transports et logistique collaborent intensément avec les autres disciplines au CIRRELT mais leur centralité est faible, ils sont donc moins importants pour la transmission des connaissances pour le reste du réseau social.

La programmation et les statistiques ont une centralité importante, peut-être parce qu'elles représentent des outils pour l'analyse pour les autres disciplines. Les autres disciplines se trouvent à la périphérie de ce réseau, même si elles ont des indices de centralité importants comme la science politique ou les télécommunications.

4.4.3.2 Visualisation du réseau de collaboration à la période 2

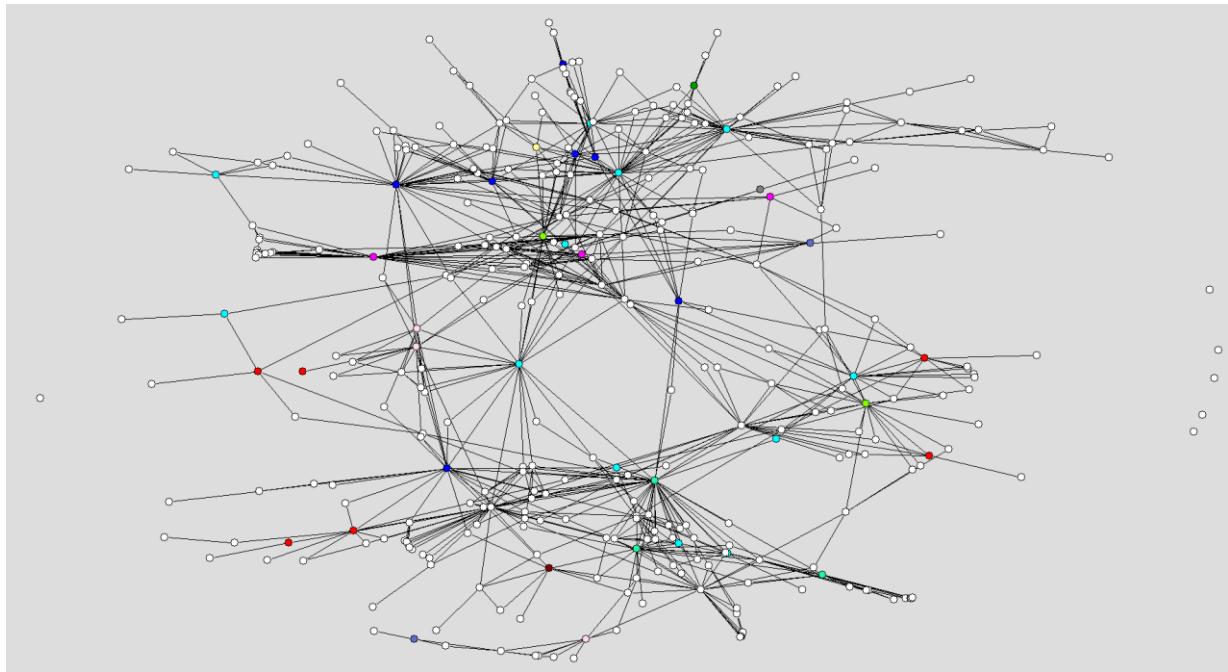


Figure 4-22: Réseau de collaboration à la période 2

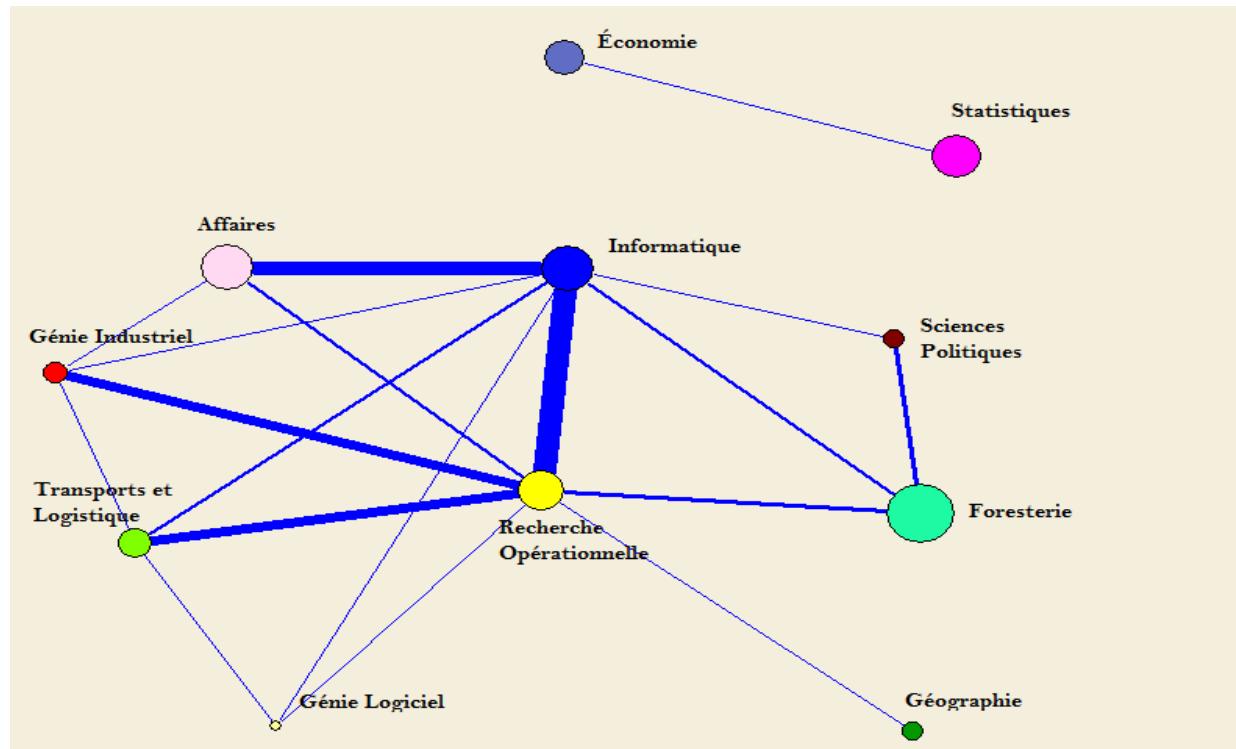


Figure 4-23: Réseau de collaboration par discipline à la période 2

Dans cette période, nous pouvons voir un réseau plus étendu, car on aperçoit un système séparé en deux pôles liés. Dans le premier pôle, de taille plus importante, il existe une collaboration entre plusieurs disciplines. Dans l'autre pôle, nous pouvons voir que la plupart des relations se font entre des chercheurs de recherche opérationnelle.

Dans la visualisation de ce réseau, nous pouvons apprécier une cohésion moins importante que dans la période précédente. Les relations entre les chercheurs de disciplines différentes semblent aussi moins fortes. Pour analyser celles-ci, nous allons utiliser la visualisation des interactions entre les disciplines.

Grâce à cette représentation du réseau de collaboration, nous pouvons voir que le nombre de disciplines qui sont liées fortement entre elles a diminué. Nous avons dans cette période 8 disciplines collaborant étroitement, au lieu de 13 à la période précédente. Cela témoigne d'une baisse dans la cohérence entre les disciplines.

Le déséquilibre entre la centralité des disciplines est encore très présent dans cette deuxième période. Il y a donc une différence très marquée de l'influence des certaines disciplines sur la transmission de connaissances. En plus, la périphérie de ce réseau est bien définie et elle inclut la plupart de disciplines disponibles à cette période ; cela montre aussi une diminution de la cohérence.

La recherche opérationnelle et la programmation jouent encore un rôle important dans la collaboration dans cette période. Les chercheurs associés à ces disciplines sont les canaux de communication entre les autres disciplines. À la fin de cette période, le CIRRELT a été créé. Par l'analyse des périodes suivantes, nous pouvons mesurer l'influence que cet évènement a sur la cohérence entre les disciplines.

4.4.3.3 Visualisation du réseau de collaboration à la période 3

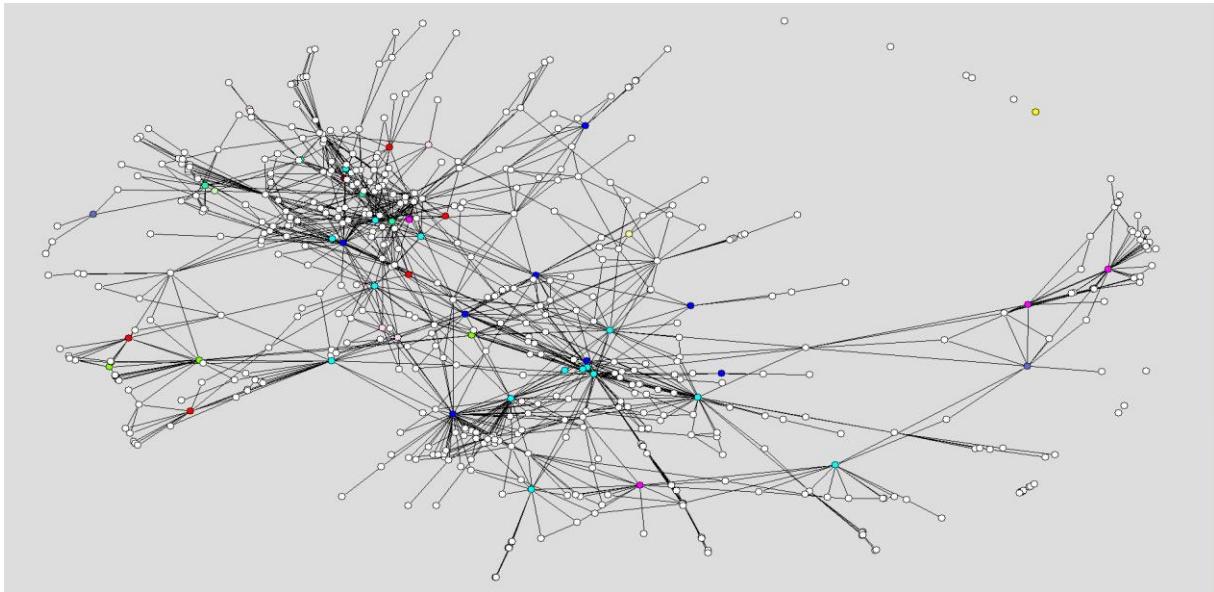


Figure 4-24: Réseau de collaboration à la période 3

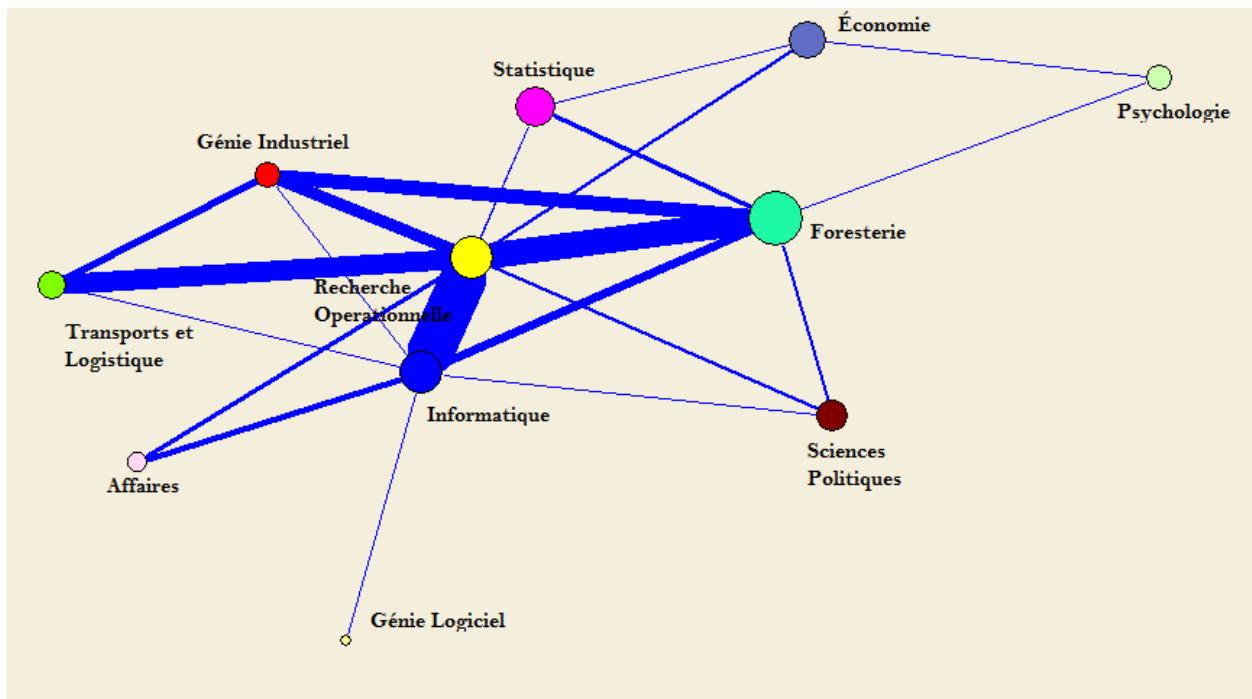


Figure 4-25: Réseau de collaboration par discipline à la période 3

Avec la mise en place du CIRRELT, nous pouvons voir une transformation du réseau. Il y a une interaction plus forte entre les membres du centre de recherche. Cela est exprimé par une diminution de la distance entre les acteurs. Nous pouvons voir aussi que globalement la collaboration interdisciplinaire s'est développée, même si les chercheurs associés à la recherche opérationnelle et la programmation collaborent plus entre eux, nous pouvons voir une participation active des acteurs d'autres disciplines dans le réseau de collaboration. Pour analyser plus en profondeur cette participation, nous allons utiliser le réseau de collaboration par disciplines.

Dans ce réseau participent 14 disciplines, dont 10 présentent une centralité importante dans le réseau. Les 4 autres disciplines ont une centralité par intermédiaire négligeable et donc une importance pour la communication très faible. Pour les 10 autres disciplines, nous pouvons observer une collaboration importante dans laquelle la recherche opérationnelle continue à être une pièce fondamentale pour la mise en place de liens entre les disciplines.

En outre, les chercheurs associés à la discipline de Foresterie ont une centralité importante en moyenne même si la proportion de cette discipline dans les publications n'est pas la plus grande. Ce qui représente que les chercheurs de cette discipline jouent un rôle important comme intermédiaires dans la collaboration au sein du CIRRELT.

Une autre évolution par rapport à la période d'analyse précédente est l'équilibre qui commence à s'établir dans la centralité des acteurs des disciplines participant à la collaboration. Dans ce cas, la centralité des 10 disciplines collaborant commence à s'uniformiser. Cela a comme conséquence que les chercheurs affiliés sont de même importance pour la collaboration et donc la cohérence entre les disciplines augmente.

Dans le but de voir si l'évolution continue de la même façon, nous devons étudier les réseaux de collaboration qui se sont formés dans les périodes 4 et 5 de notre étude.

4.4.3.4 Visualisation du réseau de collaboration à la période 4

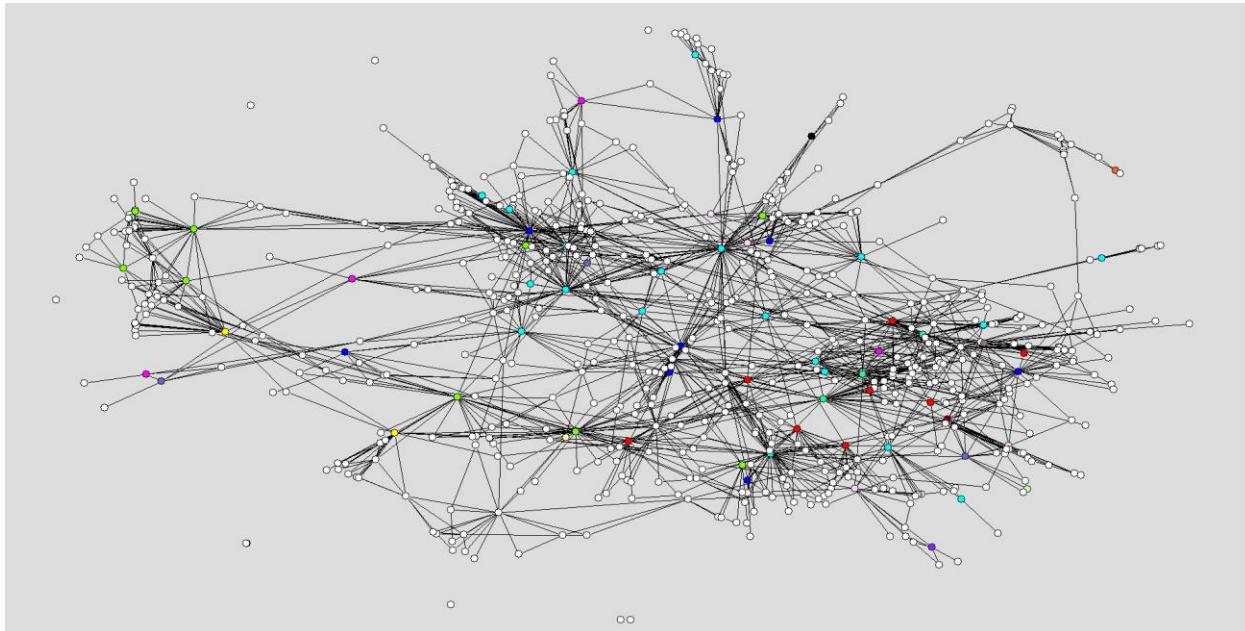


Figure 4-26: Réseau de collaboration à la période 4

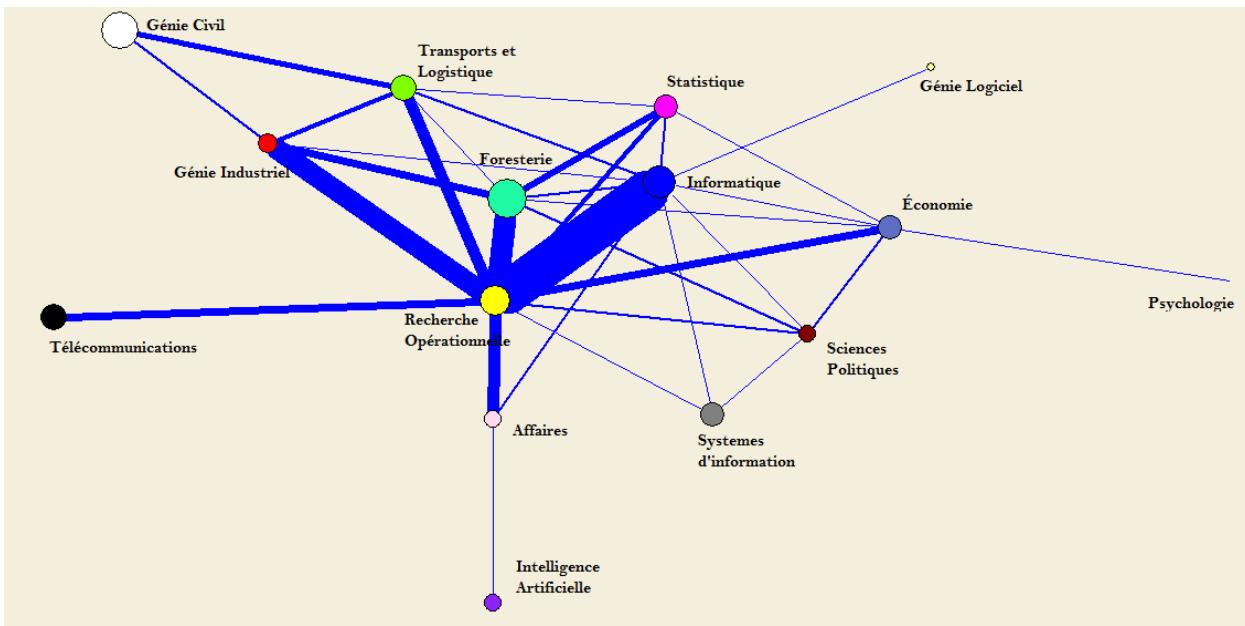


Figure 4-27: Réseau de collaboration par discipline à la période 4

La visualisation du réseau de collaboration construit à la période 4 nous permet d'observer que l'évolution de l'interaction entre les membres de la période précédente continue. On y voit des interactions plus fortes entre les acteurs. Malgré cette augmentation de la cohésion entre les membres du centre, nous pouvons apercevoir un regroupement des chercheurs des transports, logistique et génie civil. Ce regroupement se trouve à la périphérie du réseau.

Dans le centre du réseau, nous pouvons observer aussi une collaboration entre le reste des disciplines : la programmation et la recherche opérationnelle occupant encore une place centrale dans le réseau.

Pour voir plus clairement les interactions, nous allons analyser le réseau des chercheurs groupés par disciplines. Comparé à la période précédente, nous pouvons voir la participation de plus de disciplines : nous pouvons compter 17 disciplines représentées à cette période, dont 14 qui participent activement à la collaboration directe avec les autres. De plus, on peut observer aussi une augmentation des liaisons entre elles et un équilibre de leur centralité par intermédialité. Ces deux aspects se traduisent par une augmentation de la cohésion et de la cohérence disciplinaires.

En effet, les 14 disciplines représentées dans le réseau à cette période sont liées solidement. Cela exprime des relations consistantes entre les chercheurs affiliés à celles-ci. L'évolution du réseau nous montre une constitution de processus d'intégration de connaissances. Nous allons analyser le réseau construit à la dernière période d'analyse pour voir s'il y a une continuité dans l'évolution.

4.4.3.5 Visualisation du réseau de collaboration à la période 5

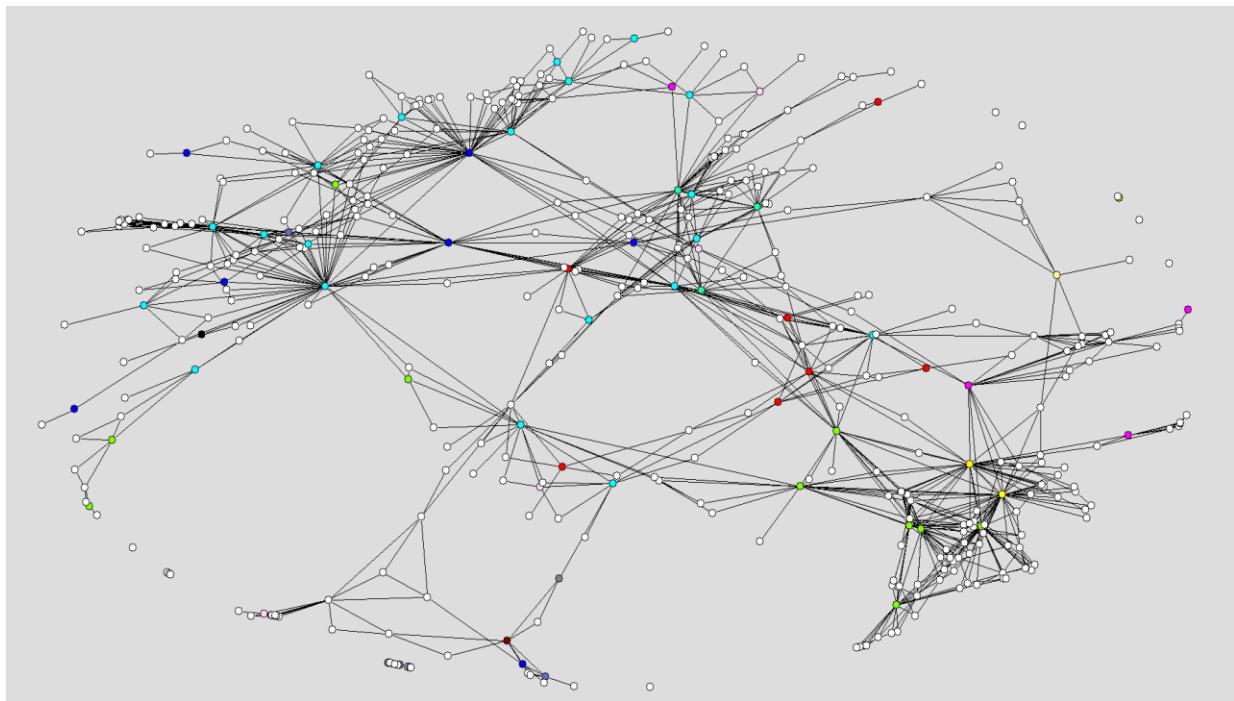


Figure 4-28: Réseau de collaboration à la période 5

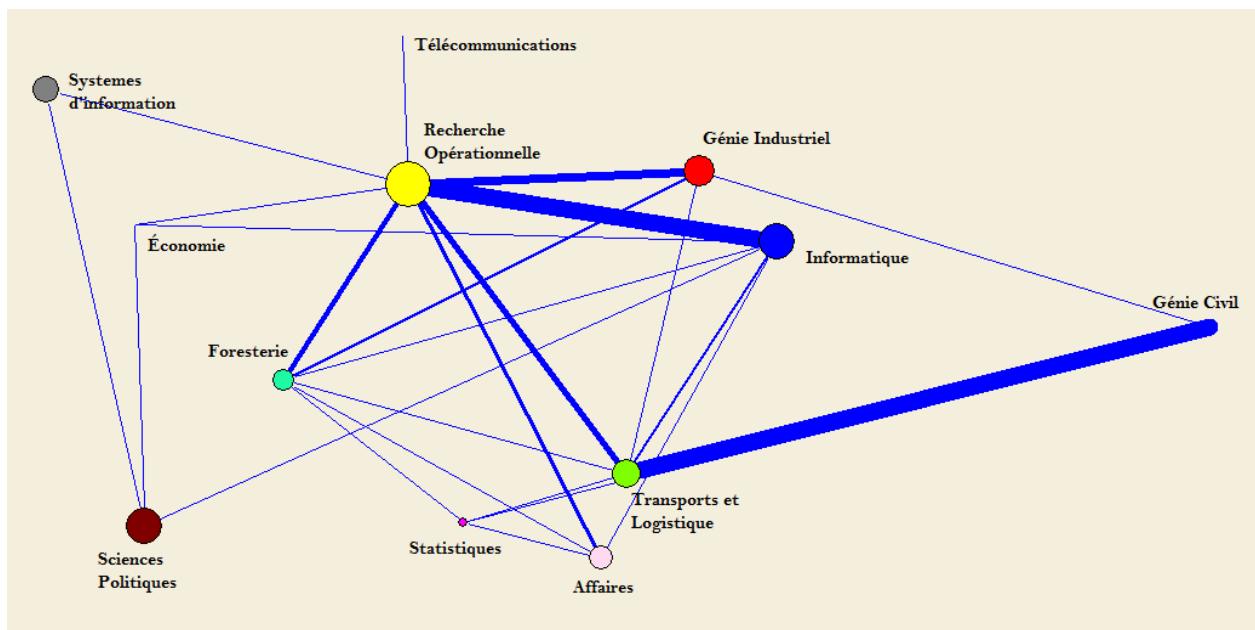


Figure 4-29: Réseau de collaboration par discipline à la période 5

Dans la dernière période d'analyse, nous pouvons observer un réseau de collaboration plus uniforme, l'intensité des liens y est plus équilibrée. Mais la collaboration entre les chercheurs montre une structure moins compacte que dans la période 4. Cela nous indique que la cohérence entre les disciplines diminue en cette dernière période.

De point de vue des disciplines, il y en a 16 disciplines représentées, dont 12 qui collaborent entre elles. Parmi celles-ci, seules les disciplines de télécommunications et économie ont des centralités faibles comparées au reste.

Nous pouvons donc dire qu'il existe une cohérence plus importante entre les 10 autres disciplines, par la structure du réseau de collaboration. Les disciplines dont les connaissances sont plus intégrées par la collaboration entre elles sont :

- Recherche Opérationnelle
- Programmation
- Transports et Logistique
- Foresterie
- Génie civil
- Statistiques
- Systèmes d'information
- Science politique
- Génie industriel
- Affaires

Nous pouvons observer que même s'il y a 16 disciplines participant au sein du CIRRELT dans cette dernière période, seules les 10 énoncées précédemment participent dans le processus d'intégration. Ces disciplines se montrent comme primordiales pour la collaboration dans le centre de recherche, car les chercheurs qui y sont associés jouent un rôle important comme intermédiaires dans la transmission et partage des connaissances.

En comparaison avec la période précédente, il y a moins de disciplines qui ont une influence importante sur la transmission des connaissances, mais les dix disciplines citées représentent une centralité plus grande et plus équilibrée. Cela est confirmé par l'augmentation de la centralité moyenne des membres du centre de recherche.

Les résultats de cette étude nous permettent de combiner les perspectives de diversité des connaissances et de la cohérence de notre réseau de collaboration pour représenter l'intégration des connaissances interdisciplinaires dans le centre de recherche étudié. Nous pouvons conclure alors que le CIRRELT a atteint une grande diversité et une cohérence importante à la 4e période d'analyse.

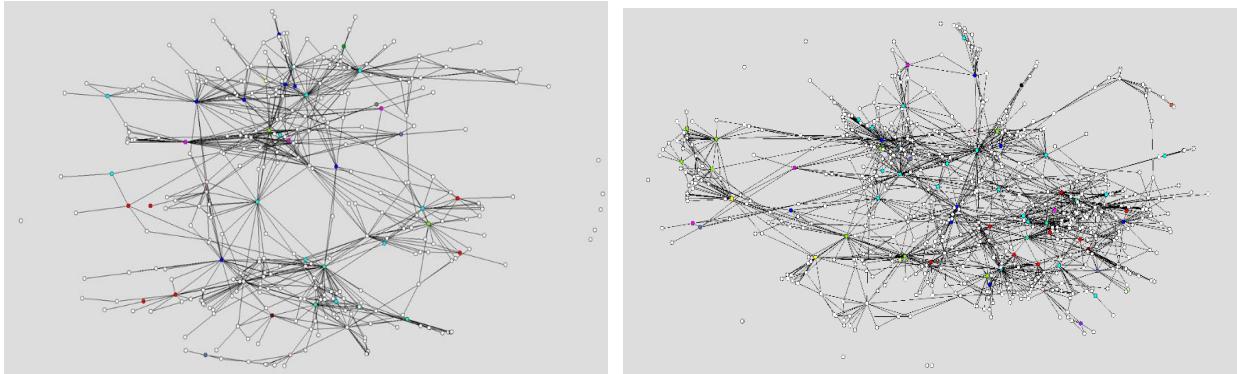


Figure 4-30: Représentation de l'évolution de la cohérence du réseau périodes 2 et 4.

Ce type de collaboration se met en place quand les différentes disciplines sont similaires. Cela suggère que les connaissances appartiennent à un domaine de recherche commun. Même si la recherche est interdisciplinaire, elle n'implique pas forcément une intégration des nouvelles connaissances (Rafols et Meyer 2010). Le CIRRELT est un centre de recherche spécialisé dans le domaine des réseaux d'entreprise, la logistique et les transports. Donc, ce résultat est en accord avec ses caractéristiques.

CHAPITRE 5 CONCLUSION

Des nombreuses initiatives pour développer la collaboration entre les chercheurs, par exemple la formation et l’élargissement des centres de recherche et des groupes de recherche interdisciplinaire, sont le résultat de l’hypothèse selon laquelle la recherche collaborative est favorable pour l’innovation.

Dans notre société où les problématiques deviennent de plus en plus complexes, la collaboration entre des chercheurs avec différentes expertises et connaissances des disciplines diverses se montre comme une voie à suivre pour pouvoir trouver des solutions aux problèmes dont la portée est au-delà d’un seul champ pratique. Un des buts de la formation des centres de recherche est donc de favoriser ce type de collaboration entre ses membres.

Les résultats des initiatives pour favoriser la collaboration ont été étudiés, mais très peu d’études se centrent sur l’influence de la formation des centres de recherche sur la collaboration régionale et l’interdisciplinarité. L’objectif de ce mémoire était d’étudier l’impact de la création d’un centre de recherche sur la l’interdisciplinarité et collaboration régionale à travers les liens entre ses membres établis grâce aux documents de recherche produits entre les années 2000 et 2014.

Pour atteindre cet objectif, une recherche descriptive a été menée avec les données secondaires obtenues dans les archives des publications du CIRRELT. Nous avons eu accès à 8 747 publications, entre articles de revues, présentations, actes des conférences et chapitres des livres, qui relient 3 006 chercheurs. Nous nous sommes concentrés sur l’étude des interactions des 78 membres réguliers de ce centre de recherche à travers la collaboration dans la production de ces divers travaux de recherche.

Les résultats de cette analyse bibliométrique ont permis d’abord de montrer l’évolution globale de la cohésion du réseau de collaboration entre les chercheurs liés au centre par la participation dans les publications. Dans cette évolution, la formation du CIRRELT entraîne un développement de la cohésion autour des chercheurs centraux après une période d’adaptation. En effet, sa création a provoqué une croissance de la centralisation rapprochant ainsi les chercheurs périphériques à travers de la collaboration. Ensuite nous avons étudié la cohésion par portée, dans cette notion la cohésion permet de joindre les autres collaborateurs plus facilement à travers le réseau. La formation du CIRRELT ne semble pas avoir une influence importante dans l’évolution de ce type de cohésion, cette évolution continue sa même tendance négative avant et après la formation du

CIRRELT. Dans un deuxième temps, nous avons étudié la cohésion dans la région de Montréal. Le centre étudié est basé en deux pôles géographiques : Québec et Montréal, et met en relation 8 universités réparties dans ces deux régions. Par l'étude des interactions entre les chercheurs, nous pouvons voir qu'il existe un développement plus fort de la cohésion dans la région de Montréal, ce qui provoque l'établissement d'un équilibre entre les deux pôles. Par cette étude nous avons constaté qu'il existe des différences entre les institutions affiliées. À l'échelle universitaire, la création de ce centre de recherche a aidé à rapprocher les institutions du point de vue de la coopération et des liens entre les différentes universités.

Ce mémoire a permis de tracer un portrait des différentes disciplines représentées par les membres du CIRRELT. Dans un premier temps, nous avons pu montrer l'évolution du nombre de disciplines participant à la collaboration. Cela nous montre qu'à partir de la création du CIRRELT il y a eu une augmentation du nombre de disciplines participant activement au centre de recherche. Cela met en valeur les efforts du centre de recherche pour incorporer plus de disciplines. Nous avons pu étudier la proportion des disciplines présentes. Nous pouvons remarquer l'existence des disciplines principales. Ces disciplines sont, par leur ordre d'importance dans la proportion : la recherche opérationnelle, la programmation, les transports et logistique ainsi que le génie industriel. Avec la mise en place du CIRRELT, nous avons vu un équilibrage dans les proportions de ces disciplines et le développement de la proportion des disciplines secondaires, ce qui a eu un impact positif dans la diversité disciplinaire et donc sur l'interdisciplinarité. Grâce à l'étude de la proportion dans les publications, nous avons pu mesurer la diversité des disciplines au CIRRELT. Par cette analyse nous avons vu qu'il y a une augmentation importante dans la diversité mais cela a mis du temps à arriver. L'augmentation de la diversité s'est montrée comme un processus long dans lequel il faut vaincre l'inertie des membres à collaborer avec les mêmes chercheurs et favoriser l'intégration des nouvelles disciplines.

Par l'analyse des réseaux de collaboration, nous avons étudié la cohérence entre les disciplines chez les membres du CIRRELT. Nous avons analysé d'une part la centralité par intermédiarité des chercheurs. Cela a donné comme résultat une croissance soutenue de la cohérence à partir de la formation du centre de recherche. D'autre part, nous avons présenté la visualisation des réseaux de collaboration dans laquelle nous pouvons observer que la collaboration est plus étroite après la création du CIRRELT. En effet, les réseaux de collaboration se montrent plus compacts ce qui montre l'augmentation de la fonctionnalité de ce système social.

Nous avons vu alors que d'une manière générale la mise en place de ce centre de recherche dans lequel sont organisées des activités qui facilitent l'échange et la mise en commun des expertises disponibles a un effet positif dans la collaboration par l'augmentation de l'interdisciplinarité et la coopération entre différentes institutions. Malgré cela nous avons pu constater aussi une baisse dans la cohérence de portée et la collaboration à la dernière période d'analyse.

En résumé, nous avons pu confirmer 3 sous-hypothèses. Nous avons constaté une augmentation de la cohésion du réseau de collaboration autour des chercheurs centraux, après une période d'adaptation. Ce qui confirme la première partie de notre première hypothèse. Nous avons remarqué aussi un développement important de la diversité, ainsi comme une croissance soutenue de la cohérence entre les disciplines à partir de la création du centre de recherche. Cela confirme entièrement la deuxième hypothèse proposée. Mais, nous ne sommes pas en mesure de confirmer la deuxième partie de la première hypothèse car nous avons trouvé une faible influence de la mise en place du centre de recherche dans la cohésion par portée. En conséquence les collaborateurs ne sont pas plus facilement atteignables à travers le réseau à partir de la formation du CIRRELT.

La recherche présentée précédemment comporte quelques limites. Une première limite est la détermination de l'affiliation des auteurs dont nous n'avons pas accès direct aux publications. En conséquence, on a dû leur assigner une affiliation basée sur l'information que nous avons d'eux. Pour identifier les disciplines grâce à ces moyens, il faut donc un niveau d'expertise assez élevé pour faire les choix les plus judicieux (Wagner et coll. 2011).

La classification choisie comporte aussi des limites. La plupart des mesures de bibliométriques de la recherche interdisciplinaire se basent dans les catégories établies par ISI. Cela pose un problème, car cette catégorisation symbolise un biais à cause d'un manque de consensus par rapport à l'exactitude du système de classification d'un journal en particulier (Wagner et coll. 2011). La catégorisation ISI est peu objective ; son personnel assigne la discipline par rapport à certains critères comme le titre des publications et la tendance des citations (Leydesdorff 2007).

Le choix des indicateurs se présente aussi comme une limite à cette recherche, car les indicateurs bibliométriques développés pour mesurer l'intégration des connaissances peuvent laisser de côté d'autres aspects de l'interdisciplinarité, par exemple une compréhension plus profonde du processus de collaboration (Wagner et coll. 2011). La construction des liens par la co-rédaction des documents peut aussi laisser de côté plusieurs types de collaboration qui pourraient être intéressants

pour l'étude de l'influence des centres de recherche. Par exemple, par l'utilisation de cette méthode on négligerait plus de la moitié de la recherche collaborative qui n'aboutit pas à des reconnaissances bibliographies et est donc cachée des indicateurs classiques (Laudel 2002).

Un autre problème de cette méthode d'analyse de la collaboration est le niveau d'implication de chaque auteur qui a participé dans la rédaction d'un document. Pour pallier ce problème, nous aurions pu utiliser l'approche de Narin dans laquelle il suggère qu'il faut donner un crédit fractionnel pour la co-rédaction d'un article. Ce crédit pourrait suivre une suite $1/n$ pour l'auteur numéro n de chaque article (Narin et coll. 1976). Mais dans ce cas-ci, nous avons supposé un équilibre quant à la participation des chercheurs aux articles et du nombre d'auteurs associés.

L'utilisation de l'analyse de réseaux sociaux comme méthode d'analyse de la collaboration présente une autre limite. Elle ne nous permet pas de mesurer la qualité de la collaboration entre les chercheurs.

En outre, la méthode de ce mémoire présente une limite importante de la part du traitement de données. Parmi les étapes pour la construction et analyse des réseaux, il y a 3 étapes manuelles qui représentent un effort considérable. Le premier est le nettoyage de la base de données secondaires, la deuxième est la construction des matrices et le dernier est la classification disciplinaire par l'étude des publications. Ces étapes limitent notre étude à des centres de recherche composés d'un faible nombre de membres.

Dans le but d'approfondir cette étude, nous pouvons proposer plusieurs perspectives.

D'abord, pour pallier la dernière limite énoncée, des méthodes automatiques de classification des disciplines peuvent être utilisées. Le développement de ce type de méthodes permettrait l'étude des réseaux plus compliqués en plus de faciliter les calculs et donc accélérer le traitement des données.

D'un autre côté, dans les analyses comme celle présentée précédemment dans lesquelles on s'intéresse à l'évolution temporelle d'un réseau, il y a deux questions qui peuvent être étudiées. D'une part, nous pouvons examiner de quelle façon le réseau a changé pendant la période d'étude et d'une autre part si les liens au sein du réseau social ont atteint un équilibre (Wasserman et Fraust 1994). Dans le cas de notre étude, nous n'avons pas pu observer que les liens atteignent l'équilibre. Cette analyse pourrait être complétée par l'inclusion de données sur une période plus longue pour chercher l'établissement d'un équilibre dans la collaboration des chercheurs. De cette manière, une

partie de ressources destinées à la promotion de la collaboration pourraient être redistribuées pour combler d'autres besoins du centre de recherche.

Cette étude pourrait être complétée par une approche multi méthodique dans laquelle on combinerait nos mesures bibliométriques avec l'utilisation des entretiens, observations et sondages pour avoir une meilleure compréhension des dynamiques et initiatives au sein du centre de recherche. D'un point de vue pratique, cette approche multi méthodique ne nous permet pas une comparaison d'année en année, car c'est difficile d'en tirer des indicateurs (Wagner et coll. 2011), mais cela peut nous donner de l'information sur la qualité de leur collaboration ainsi que sur l'expérience et impression des chercheurs par rapport aux initiatives pour favoriser l'interdisciplinarité et la collaboration.

En conclusion, notre mémoire de recherche présente les possibilités et les limitations d'une étude basée sur les interactions représentant la collaboration dans un centre de recherche. Notre analyse permet de mesurer l'influence de la mise en place d'un centre de recherche et l'effet des actions pour stimuler la collaboration sur l'interdisciplinarité et la collaboration régionale. Beaucoup de possibilités et d'améliorations restent encore possibles pour cette recherche mais elle représente un pas pour mesurer l'efficacité des efforts pour favoriser l'innovation.

BIBLIOGRAPHIE

- Aboelela, Sally W., Elaine Larson, Suzanne Bakken, Olveen Carrasquillo, Allan Formicola, Sherry A. Glied, Janet Haas, et Kristine M. Gebbie. 2007. « Defining interdisciplinary research: Conclusions from a critical review of the literature ». *Health services research* 42 (1p1): 329-46.
- Agrawal, Ajay, Devesh Kapur, et John McHale. 2008. « How do spatial and social proximity influence knowledge flows? Evidence from patent data ». *Journal of Urban Economics* 64 (2): 258-69. doi:10.1016/j.jue.2008.01.003.
- Bala, Venkatesh, et Sanjeev Goyal. 2000. « A noncooperative model of network formation ». *Econometrica* 68 (5): 1181-1229.
- Bensman, Stephen J. 2001. « Bradford's Law and fuzzy sets: Statistical implications for library analyses ». *IFLA journal* 27 (4): 238-46.
- Bernard, H. Russell, Peter D. Killworth, et Lee Sailer. 1980. « Informant accuracy in social network data IV: A comparison of clique-level structure in behavioral and cognitive network data ». *Social Networks* 2 (3): 191-218.
- Bordons, María, Fernanda Morillo, et Isabel Gómez. 2005. « Analysis of cross-disciplinary research through bibliometric tools ». In *Handbook of quantitative science and technology research*, 437-56. Springer. http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2755-9_20.
- Borgatti, Steve, Martin Everett, et Lin Freeman. 2002. *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard: Analytic Technologies.
- Boschma, Ron. 2005. « Proximity and Innovation: A Critical Assessment ». *Regional Studies* 39 (1): 61-74. doi:10.1080/0034340052000320887.
- Braun, Tibor, et András Schubert. 2003. « A Quantitative View on the Coming of Age of Interdisciplinarity in the Sciences 1980-1999 ». *Scientometrics* 58 (1): 183-89. doi:10.1023/A:1025439910278.
- Bunnell, Timothy G., et Neil M. Coe. 2001. « Spaces and scales of innovation ». *Progress in Human geography* 25 (4): 569-89.
- Burt, Ronald S. 2009. *Structural holes: The social structure of competition*. Harvard university press.
<https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=FAhiz9FWDzMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=structural+holes&ots=vIN2dy5PFP&sig=237aDyc-v5uy1qfr5HsIGG41IYE>.
- Cantner, Uwe, et Holger Graf. 2006. « The network of innovators in Jena: An application of social network analysis ». *Research Policy* 35 (4): 463-80.
- Carley, K., et N. Hummon. 1993. « Scientific influence among social networkers ». *Social Networks* 15: 71-108.
- Cirrelt. 2015. « Site du CIRRELT ». Consulté le avril 9. www.cirrelt.ca.
- « Classification Science Metrix ». 2015. Consulté le juin 10. <http://www.science-metrix.com/fr/classification>.

- Cooke, Philip, et Kevin Morgan. 1999. « The associational economy: firms, regions, and innovation ». *OUP Catalogue*. <http://ideas.repec.org/b/oxp/obooks/9780198296591.html>.
- Darden, Lindley, et Nancy Maull. 1977. « Interfield theories ». *Philosophy of Science*, 43-64.
- De Nooy, Wouter, Andrej Mrvar, et Vladimir Batagelj. 2005. *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. New York: Cambridge University Press.
- Everton, Sean. 2004. *A GUIDE FOR THE VISUALLY PERPLEXED: VISUALLY REPRESENTING SOCIAL NETWORKS*. Stanford University.
- Farrall, Kenneth. 2007. « Web Graph Analysis in Perspective: Description and Evaluation in terms of Krippendorff's Conceptual Framework for Content Analysis ». http://farrall.org/papers/webgraph_as_content.html. <http://www.citeulike.org/group/1984/article/1203599>.
- Fleming, Lee, Santiago Mingo, et David Chen. 2007. « Collaborative brokerage, generative creativity, and creative success ». *Administrative Science Quarterly* 52 (3): 443-75.
- Freeman, Linton C. 1977. « A set of measures of centrality based on betweenness ». *Sociometry*, 35-41.
- Freeman. 1979. « Centrality in social networks conceptual clarification ». *Social networks* 1 (3): 215-39.
- Friedkin, Noah E. 1991. « Theoretical foundations for centrality measures ». *American journal of Sociology*, 1478-1504.
- Fruchterman, T, et E Reingold. 1991. « Graph Drawing by Force Directed Placement ». *Software Practise and Experience* 21.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., et Trow, M. 1994. « The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies ». *Sage, London*.
- Gordon, Michael. 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.
- Grabher, Gernot, et David Stark. 1997. « Organizing Diversity: Evolutionary Theory, Network Analysis and Postsocialism ». *Regional Studies* 31 (5): 533-44. doi:10.1080/00343409750132315.
- Hagstrom, Warren O. 1965. *The scientific community*. Vol. 304. Basic books New York. <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/470077>.
- Harhoff, Dietmar, Maria Catharina Heibel, et Karin Hoisl. 2014. « The Impact of Network Structure and Network Behavior on Inventor Productivity ». http://druid8.sit.aau.dk/acc_papers/qv1fhu4vm3i9gdneid1bdt1ukose.pdf.
- Kamada, Tomihisa, et Satoru Kawai. 1988. « An Algorithm for Drawing General Undirected Graphs ». *Information Processing Letters* 31: 7-15.
- Katz, Jacob Sylvan. 1992. « Bibliometric assessment of intranational university-university collaboration ». University of Sussex. <http://users.sussex.ac.uk/~sylvank/pubs/JSKatz-Thesis-1992.pdf>.

- Katz, Jacob Sylvan, et Martin. 1997. « What is research collaboration? » *Research policy* 26 (1): 1-18.
- Kodama, Fumio. 1992. « Technology fusion and the new Research-and-Development ». *Harvard Business Review* 70 (4): 70-78.
- Krebs, Valdis. 2013. « Social Network Analysis, A brief introduction ». <http://www.orgnet.com/sna.html>.
- Krohn, Wolfgang, et Giinter Kiippers. 1990. « Science as a self-organizing system ». *Self-steering and Cognition in Complex Systems: Toward a New Cybernetics* 22: 414.
- Laudel, Grit. 2001. « Collaboration, creativity and rewards: why and how scientists collaborate ». *International Journal of Technology Management* 22 (7): 762-81.
- Laudel. 2002. « What do we measure by co-authorships? » *iResearch Evaluation* 11 (1): 3-15.
- Lawani, Stephen M. 1986. « Some bibliometric correlates of quality in scientific research ». *Scientometrics* 9 (1-2): 13-25.
- Leydesdorff, Loet. 2007. « Betweenness centrality as an indicator of the interdisciplinarity of scientific journals ». *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 58 (9): 1303-19.
- Malecki, Edward J., et Paivi Oinas. 1999. *Making connections: technological learning and regional economic change*. Ashgate Publishing Company. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=553153>.
- Malmberg, Anders, et Peter Maskell. 2002. « The elusive concept of localization economies: towards a knowledge-based theory of spatial clustering ». *Environment and planning A* 34 (3): 429-50.
- Melin, G., et O. Persson. 1996. « Studying Research Collaboration Using Co-Authorships ». *Scientometrics* 36 (3): 363-77. doi:10.1007/BF02129600.
- Morillo, Fernanda, María Bordons, et Isabel Gómez. 2001. « An Approach to Interdisciplinarity through Bibliometric Indicators ». *Scientometrics* 51 (1): 203-22. doi:10.1023/A:1010529114941.
- Mrvar, Andrej, et Vladimir Batagelj. 1996. *Pajek: logiciel d'analyse de réseaux*.
- Mullins, Nicholas C. 1973. « Theories and theory groups in contemporary American sociology ». <http://www.citeulike.org/group/328/article/430998>.
- Narin, Francis, et others. 1976. *Evaluative bibliometrics: The use of publication and citation analysis in the evaluation of scientific activity*. Computer Horizons Washington, D. C. http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tonta/courses/spring2011/bby704/narin_1975_eval-bibliometrics_images.pdf.
- Narin, Francis, Kimberly Stevens, et Edith Whitlow. 1991. « Scientific co-operation in Europe and the citation of multinationally authored papers ». *Scientometrics* 21 (3): 313-23.
- National Academies. 2005. « Facilitating Interdisciplinary Research. » *National Academies Press*.

- Nesta, Lionel, et Pier Paolo Saviotti. 2005. « COHERENCE OF THE KNOWLEDGE BASE AND THE FIRM'S INNOVATIVE PERFORMANCE: EVIDENCE FROM THE US PHARMACEUTICAL INDUSTRY* ». *The Journal of Industrial Economics* 53 (1): 123-42.
- Newman. 2001a. « Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality ». *Physical review E* 64 (1): 016132.
- Newman. 2001b. « Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results ». *Physical review E* 64 (1): 016131.
- Newman. 2004. « Analysis of weighted networks ». *Physical Review E* 70 (5): 056131. doi:10.1103/PhysRevE.70.056131.
- Nooteboom, Bart. 2000. *Learning and innovation in organizations and economies*. OUP Oxford. <https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=NW0B9SCsV-AC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Learning+and+Innovation+in+Organizations+and+Economies.&ots=BZKP9AB-2j&sig=byZj1ODmgzoZZxiQaeNVI2XxqbQ>.
- Pao, Miranda Lee. 1980. « Co-authorship and productivity ». *Proceedings of the American Society for Information Science* 17: 279-89.
- Porter, Alan L., Alex S. Cohen, J. David Roessner, et Marty Perreault. 2007. « Measuring researcher interdisciplinarity ». *Scientometrics* 72 (1): 117-47.
- Porter, Alan L., et Ismael Rafols. 2009. « Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time ». *Scientometrics* 81 (3): 719-45.
- Qin, Jian, Fredrick W. Lancaster, et Bryce Allen. 1997. « Types and levels of collaboration in interdisciplinary research in the sciences ». *JASIS* 48 (10): 893-916.
- Qiu, Liwen. 1992. « A Study of Interdisciplinary Research Collaboration ». *Research Evaluation* 2 (3): 169-75. doi:10.1093/rev/2.3.169.
- Rafols, Ismael. 2007. « Strategies for Knowledge Acquisition in Bionanotechnology ». *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 20 (4): 395-412. doi:10.1080/13511610701760770.
- Rafols, Ismael, et Loet Leydesdorff. 2009. « Content-based and algorithmic classifications of journals: Perspectives on the dynamics of scientific communication and indexer effects ». *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60 (9): 1823-35.
- Rafols, Ismael, et Martin Meyer. 2007. « How cross-disciplinary is bionanotechnology? Explorations in the specialty of molecular motors ». *Scientometrics* 70 (3): 633-50.
- Rafols, Ismael, et Meyer, Martin. 2010. « Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanosciences ». *Scientometrics* 82 (2): 263-87.
- Rallet, Alain, et André Torre. 1999. « Is geographical proximity necessary in the innovation networks in the era of global economy? » *GeoJournal* 49 (4): 373-80.
- Reagans, Ray, et Bill McEvily. 2003. « Network structure and knowledge transfer: The effects of cohesion and range ». *Administrative science quarterly* 48 (2): 240-67.

- Rhoten, Diana, et Stephanie Pfirman. 2007. « Women in interdisciplinary science: Exploring preferences and consequences ». *Research policy* 36 (1): 56-75.
- Rost, Katja. 2011. « The strength of strong ties in the creation of innovation ». *Research Policy* 40 (4): 588-604. doi:10.1016/j.respol.2010.12.001.
- Schiffauerova, Andrea. 2009. « Knowledge flows in clusters and innovation networks: The case of Canadian biotechnology and nanotechnology ». Ph.D., Ann Arbor, United States. <http://search.proquest.com/docview/305138357/abstract?>
- Schummer, Joachim. 2004. « Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Patterns of Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology ». *Scientometrics* 59 (3): 425-65. doi:10.1023/B:SCIE.0000018542.71314.38.
- Stirling, Andy. 2007. « A General Framework for Analysing Diversity in Science, Technology and Society ». *Journal of The Royal Society Interface* 4 (15): 707-19. doi:10.1098/rsif.2007.0213.
- Tsai, Wenpin. 2001. « Knowledge transfer in intraorganizational networks: Effects of network position and absorptive capacity on business unit innovation and performance ». *Academy of management journal* 44 (5): 996-1004.
- Wagner, Caroline S., J. David Roessner, Kamau Bobb, Julie Thompson Klein, Kevin W. Boyack, Joann Keyton, Ismael Rafols, et Katy Börner. 2011. « Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature ». *Journal of Informetrics* 5 (1): 14-26.
- Wasserman, F., et K Fraust. 1994. *Social Network Analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press.

ANNEXE A : IDENTIFICATION DES MEMBRES DU CIRRELT

Membre CIRRELT	Identifiant		
Su Zhan	25	Verter Vedat	1417
Boctor Fayez Fouad	45	Agard Bruno	1420
Poulin Diane	64	Bellavance François	1421
Montreuil Benoit	65	Cordeau Jean-François	1422
Ruiz Angel	77	Crainic Teodor Gabriel	1452
Renaud Jacques	87	Marcotte Patrice	1490
LaPorte Gilbert	272	Cimon Yan	1735
D'Amours Sophie	285	Angers Jean-François	1868
Frayret Jean-Marc	317	Cassivi Luc	1871
Riopel Diane	328	Comtois Claude	1873
Langevin André	337	Hafid Abdelhakim	1876
Paquet Marc	347	L'Écuyer Pierre	1879
Gendreau Michel	444	Rekik Monia	1886
Potvin Jean-Yves	445	Rei Walter	1899
Ferland, jacques A.	446	Coté, Jean-Francois	1907
Soriano Patrick	525	Paquette Julie	2046
Mellouli Sehl	539	Morency Catherine	2177
Nour El Fath Mustapha	579	Errico, Fausto	2448
Ouali Mohamed-Salah	589	Kazemi Zanjani Masoumeh	2471
Lehoux Nadia	627	Bastin Fabian	2694
LeBel Luc	660	Guy Emmanuel	2695
Rousseau Louis-Martin	662	El-Geneidy Ahmed M.	2696
Gaudreault Jonathan	665	Lehoux Nadia	2728
Gharbi Ali	752	Bergeron Jacques	3025
Hajji Adnène	755	Contardo, Claudio	3047
Chauhan Satyaveer	1130	Blais Étienne	3048
Pellerin Robert	1149	Miranda-Moreno Luis F.	3117
Forget Pascal	1174	Awasthi Anjali	3226
Galinier Philippe	1175	Rancourt Marie-Eve	3244
Rönnqvist Mikael	1343	Lahrichi Nadia	3344
Dionne Georges	1412	Contreras Ivan	3384
Gendron Bernard	1413	Badami Madhav G.	3523
Pesant Gilles	1414	Gardoni Mickaël	3616
Trépanier Martin	1416	Patterson Zachary	3617
Jabali Ola	4012	Saunier Nicolas	3618
Lachapelle Ugo	4081	Vidyarthi Navneet	3619
Jans Raf	4179	Wang Chun	3684
		Coelho Leandro C.	3913
		Eluru Naveen	3914
		Hatzopoulou Marianne	4313
		Frejinger Emma	4630
		Farooq Bilal	

ANNEXE B : MACRO POUR CONSTRUCTION D'UNE SOCIMATRICE SUR EXCEL

```

Function Collaboration(Col1 As String, Lin1 As String)
Dim i As Integer
Dim C As Integer
Application.ScreenUpdating = False
actor1 = Col1
actor2 = Lin1
i = 1
C = 0

For i = 1 To 8742
    If WorksheetFunction.CountIf(Worksheets("social network col").Columns(i), actor1) > 0 And WorksheetFunction.CountIf(Worksheets("social network col").Columns(i), actor2) > 0 Then
        C = C + 1
    End If
    Next i

Collaboration = C

Application.ScreenUpdating = True
End Function

```

ANNEXE C : MACRO MATRICE CARRÉE

```

Function ACol(i As Integer)
Columns(i).Select
Selection.Insert Shift:=xlToRight

End Function

Function Align(i As Integer)
Rows(i).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown

End Function

Sub MatriceCarré()
' MatriceCarré Macro
'Application.ScreenUpdating = False

Dim i As Integer
Dim col As Integer
Dim ligne As Integer
For i = 2 To 4700 Step 1
    col = Cells(1, i).Value
    ligne = Cells(i, 1).Value
    If col <> ligne Then
        If col > ligne Then
            ACol (i)
        ElseIf col < ligne Then
            Align (i)
        End If
    End If
Next i
Application.ScreenUpdating = True

End Sub

```

ANNEXE D : MACRO COMPARAISON DE COLONNES

```

Sub Memecol() Memecol Macro
Application.ScreenUpdating = False
Dim i As Integer
Dim col1 As Integer
Dim col2 As Integer
Dim sht1 As Worksheet
Dim sht2 As Worksheet
Set sht1 = ThisWorkbook.Sheets("(1,6-11)-(2,6,7,8,9,10,11,12)")
Set sht2 = ThisWorkbook.Sheets("4-(5,6,7,8,9,10,11,12)")
For i = 2 To 3500 Step 1
    col1 = sht1.Cells(1, i).Value
    col2 = sht2.Cells(1, i).Value
    If col1 <> col2 Then
        If col1 > col2 Then
            sht1.Select
            Columns(i).Select
            Selection.Insert Shift:=xlToRight
            sht2.Select
            Cells(1, i).Select
            Selection.Copy
            sht1.Select
            Cells(1, i).Select
            ActiveSheet.Paste
        ElseIf col1 < col2 Then
            sht2.Select
            Columns(i).Select
            Selection.Insert Shift:=xlToRight
            sht1.Select
            Cells(1, i).Select
            Selection.Copy
            sht2.Select
            Cells(1, i).Select
        End If
    End If
Next i
End Sub

```

```
ActiveSheet.Paste

End If
End If
Next i
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

ANNEXE E : MACRO REMPLISSAGE DES IDENTIFIANTS

```
Sub remplir()
'
' Remplir Macro
'

Application.ScreenUpdating = False

Dim i As Integer
Dim col As String
Dim ligne As String

For i = 2 To 4700
    col = Cells(1, i)
    ligne = Cells(i, 1)

    If col = "" Then
        Cells(i, 1).Select
        Selection.Copy
        Cells(1, i).Select
        ActiveSheet.Paste

    ElseIf ligne = "" Then
        Cells(1, i).Select
        Selection.Copy
        Cells(i, 1).Select
        ActiveSheet.Paste
    End If
Next i
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

ANNEXE F : MATRICE DE SIMILARITÉ

	Business & management	Finance	Artificial Intelligence & Image Processing	Information Systems	Software engineering	Computation Theory & Mathematics	Criminology	Economics	Civil engineering	Industrial Engineering & Automation	Mechanical Engineering & Transports	Environmental Sciences	Forestry	Geography	Management	Numerical & Computational Mathematics	Operations Research	Political Science	Psychology	Public Health	Statistics & Probability	Networking & Telecommunications	Logistics & Transportation	Urban & Regional Planning	
Business & management	1	0.054	0.008	0.135	0.074	0.032	0.003	0.112	0.01	0.137	0.004	0.003	0.005	0.013	0.738	0.227	0.148	0.022	0.047	0.007	0.025	0.004	0.012	0.008	
Finance	0.054	1	0.002	0.012	0.006	0.004	0	0.337	0.001	0.006	0	0.001	0	0.003	0.053	0.008	0.039	0.008	0.004	0.001	0.046	0	0.002	0.029	
Artificial Intelligence & Image Processing	0.008	0.002	1	0.132	0.144	0.205	0	0.005	0.008	0.011	0.008	0.005	0.002	0.006	0.019	0.258	0.058	0.105	0.004	0.018	0.009	0.032	0.242	0.005	0.005
Information Systems	0.135	0.012	0.132	1	0.313	0.264	0.001	0.018	0.006	0.055	0.002	0.006	0.001	0.019	0.019	0.258	0.058	0.105	0.004	0.018	0.009	0.032	0.242	0.005	0.005
Software engineering	0.074	0.006	0.144	0.313	1	0.364	0.001	0.009	0.015	0.05	0.011	0.003	0.001	0.005	0.132	0.054	0.112	0.004	0.008	0.002	0.026	0.046	0.007	0.001	
Computation Theory & Mathematics	0.032	0.004	0.205	0.264	0.364	1	0.001	0.005	0.008	0.032	0.004	0.003	0.001	0.005	0.067	0.056	0.074	0.001	0.011	0.002	0.086	0.119	0.004	0.001	
Criminology	0.003	0	0	0.001	0.001	0.001	1	0.004	0	0.003	0	0	0	0.004	0.002	0.006	0	0.037	0.026	0.017	0.003	0	0.001	0.007	
Economics	0.112	0.337	0.005	0.018	0.009	0.005	0.004	1	0.012	0.01	0.001	0.02	0.009	0.076	0.099	0.023	0.06	0.118	0.009	0.018	0.142	0.002	0.018	0.106	
Civil engineering	0.01	0.001	0.008	0.006	0.015	0.008	0	0.012	1	0.105	0.1	0.174	0.017	0.013	0.011	0.014	0.045	0.004	0.005	0.015	0.014	0.003	0.418	0.024	
Industrial Engineering & Automation	0.137	0.006	0.011	0.055	0.05	0.032	0.003	0.01	0.105	1	0.05	0.012	0.004	0.003	0.188	0.039	0.522	0.001	0.036	0.037	0.044	0.007	0.033	0.003	
Mechanical Engineering & Transports	0.004	0	0.008	0.002	0.011	0.004	0	0.001	0.1	0.05	1	0.052	0.002	0	0.005	0.03	0.012	0	0.001	0.008	0.009	0.004	0.01	0	
Environmental Sciences	0.003	0.001	0.005	0.006	0.003	0.003	0	0.02	0.174	0.012	0.052	1	0.105	0.035	0.003	0.013	0.004	0.004	0.003	0.137	0.027	0.002	0.01	0.017	
Forestry	0.005	0	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0.009	0.017	0.004	0.002	0.105	1	0.021	0.005	0.006	0.008	0	0	0	0.03	0	0	0.009	
Geography	0.013	0.003	0.002	0.019	0.005	0.005	0.004	0.076	0.013	0.003	0	0.035	0.021	1	0.012	0.003	0.005	0.078	0.001	0.013	0.009	0.003	0.015	0.269	
Management	0.738	0.053	0.017	0.258	0.132	0.067	0.002	0.099	0.011	0.188	0.005	0.003	0.005	0.012	1	0.132	0.324	0.018	0.049	0.009	0.024	0.004	0.012	0.007	
Numerical & Computational Mathematics	0.227	0.008	0.02	0.058	0.054	0.056	0.006	0.023	0.014	0.039	0.03	0.013	0.006	0.003	0.132	1	0.043	0.006	0.023	0.011	0.045	0.006	0.005	0.004	
Operations Research	0.148	0.039	0.038	0.105	0.112	0.074	0	0.06	0.045	0.522	0.012	0.004	0.008	0.005	0.324	0.043	1	0.005	0.007	0.003	0.053	0.017	0.066	0.004	
Political Science	0.022	0.008	0	0.004	0.004	0.001	0.037	0.118	0.004	0.001	0	0.004	0	0.078	0.018	0.006	0.005	1	0.012	0.014	0.023	0.002	0.005	0.033	
Psychology	0.047	0.004	0.048	0.018	0.008	0.011	0.026	0.009	0.005	0.036	0.001	0.003	0	0.001	0.049	0.023	0.007	0.012	1	0.09	0.028	0.002	0.032	0.003	
Public Health	0.007	0.001	0.002	0.009	0.002	0.002	0.017	0.018	0.015	0.037	0.008	0.137	0	0.013	0.009	0.011	0.003	0.014	0.09	1	0.092	0	0.09	0.014	
Statistics & Probability	0.025	0.046	0.091	0.032	0.026	0.086	0.003	0.142	0.014	0.044	0.009	0.027	0.03	0.009	0.024	0.045	0.053	0.023	0.028	0.092	1	0.008	0.009	0.009	
Networking & Telecommunications	0.004	0	0.047	0.242	0.046	0.119	0	0.002	0.003	0.007	0.004	0.002	0	0.003	0.004	0.006	0.017	0.002	0.002	0	0.008	1	0.001	0.001	
Logistics & Transportation	0.012	0.002	0.002	0.005	0.007	0.004	0.001	0.018	0.418	0.033	0.01	0.01	0	0.015	0.012	0.005	0.066	0.005	0.032	0.09	0.009	0.001	1	0.035	
Urban & Regional Planning	0.008	0.029	0	0.005	0.001	0.001	0.007	0.106	0.024	0.003	0	0.017	0.009	0.269	0.007	0.004	0.004	0.033	0.003	0.014	0.009	0.001	0.035	1	

ANNEXE G : MATRICE DE DIFFÉRENCE

	Business & management	Finance	Artificial Intelligence & Image Processing	Information Systems	Software engineering	Computation Theory & Mathematics	Criminology	Economics	Civil engineering	Industrial Engineering & Automation	Mechanical Engineering & Transports	Environmental Sciences	Forestry	Geography	Management	Numerical & Computational Mathematics	Operations Research	Political Science	Psychology	Public Health	Statistics & Probability	Networking & Telecommunications	Logistics & Transportation	Urban & Regional Planning		
Business & management	0	0.946	0.992	0.865	0.926	0.968	0.997	0.888	0.99	0.863	0.996	0.997	0.995	0.987	0.262	0.773	0.852	0.978	0.953	0.993	0.975	0.996	0.988	0.992		
Finance		0.946	0	0.998	0.988	0.994	0.996	1	0.663	0.999	0.994	1	0.999	1	0.997	0.947	0.992	0.961	0.992	0.996	0.999	0.954	1	0.998	0.971	
Artificial Intelligence & Image Processing		0.992	0.998	0	0.868	0.856	0.795	1	0.995	0.992	0.989	0.992	0.995	0.998	0.998	0.983	0.98	0.962	1	0.952	0.998	0.909	0.953	0.998	1	
Information Systems		0.865	0.988	0.868	0	0.687	0.736	0.999	0.982	0.994	0.945	0.998	0.994	0.999	0.981	0.742	0.942	0.895	0.996	0.982	0.991	0.968	0.758	0.995	0.995	
Software engineering		0.926	0.994	0.856	0.687	0	0.636	0.999	0.991	0.985	0.95	0.989	0.997	0.999	0.995	0.868	0.946	0.888	0.996	0.992	0.998	0.974	0.954	0.993	0.999	
Computation Theory & Mathematics		0.968	0.996	0.795	0.736	0.636	0	0.999	0.995	0.992	0.968	0.996	0.997	0.999	0.995	0.933	0.944	0.926	0.999	0.989	0.998	0.914	0.881	0.996	0.999	
Criminology		0.997	1	1	0.999	0.999	0.999	0	0.996	1	0.997	1	1	1	0.996	0.998	0.994	1	0.963	0.974	0.983	0.997	1	0.999	0.993	
Economics		0.888	0.663	0.995	0.982	0.991	0.995	0.996	0	0.988	0.99	0.999	0.98	0.991	0.924	0.901	0.977	0.94	0.882	0.991	0.982	0.858	0.998	0.982	0.894	
Civil engineering		0.99	0.999	0.992	0.994	0.985	0.992	1	0.988	0	0.895	0.9	0.826	0.983	0.987	0.989	0.986	0.955	0.996	0.995	0.985	0.986	0.997	0.582	0.976	
Industrial Engineering & Automation		0.863	0.994	0.989	0.945	0.95	0.968	0.997	0.99	0.895	0	0.95	0.988	0.996	0.997	0.812	0.961	0.478	0.999	0.964	0.963	0.956	0.993	0.967	0.997	
Mechanical Engineering & Transports		0.996	1	0.992	0.998	0.989	0.996	1	0.999	0.9	0.95	0	0.948	0.998	1	0.995	0.97	0.988	1	0.999	0.992	0.991	0.996	0.99	1	
Environmental Sciences		0.997	0.999	0.995	0.994	0.997	0.997	1	0.98	0.826	0.988	0.948	0	0.895	0.965	0.997	0.987	0.996	0.997	0.863	0.973	0.998	0.99	0.983		
Forestry		0.995	1	0.998	0.999	0.999	0.999	1	0.991	0.983	0.996	0.998	0.895	0	0.979	0.995	0.994	0.992	1	1	1	0.97	1	1	0.991	
Geography		0.987	0.997	0.998	0.981	0.995	0.995	0.996	0.924	0.987	0.997	1	0.965	0.979	0	0.988	0.997	0.995	0.922	0.999	0.987	0.991	0.997	0.985	0.731	
Management		0.262	0.947	0.983	0.742	0.868	0.933	0.998	0.901	0.989	0.812	0.995	0.997	0.995	0.988	0	0.868	0.676	0.982	0.951	0.991	0.976	0.996	0.988	0.993	
Numerical & Computational Mathematics		0.773	0.992	0.98	0.942	0.946	0.944	0.994	0.977	0.986	0.961	0.97	0.987	0.994	0.997	0.868	0	0.957	0.994	0.977	0.999	0.955	0.994	0.995	0.996	
Operations Research		0.852	0.961	0.962	0.895	0.888	0.926	1	0.94	0.955	0.478	0.988	0.996	0.992	0.995	0.676	0.976	0.957	0	0.995	0.993	0.997	0.947	0.983	0.934	0.996
Political Science		0.978	0.992	1	0.996	0.996	0.999	0.963	0.882	0.996	0.999	1	0.996	1	0.922	0.982	0.994	0.995	0	0.988	0.986	0.977	0.998	0.995	0.967	
Psychology		0.953	0.996	0.952	0.982	0.992	0.989	0.974	0.991	0.995	0.964	0.999	0.997	1	0.999	0.951	0.977	0.993	0.988	0	0.91	0.972	0.998	0.968	0.997	
Public Health		0.993	0.999	0.998	0.991	0.998	0.998	0.983	0.982	0.985	0.963	0.992	0.863	1	0.987	0.991	0.989	0.997	0.986	0.91	0	0.908	1	0.91	0.986	
Statistics & Probability		0.975	0.954	0.909	0.968	0.974	0.914	0.997	0.858	0.986	0.986	0.956	0.991	0.973	0.97	0.991	0.976	0.955	0.997	0.999	0.955	0.991	0.991	0.991		
Networking & Telecommunications		0.996	1	0.953	0.758	0.954	0.881	1	0.998	0.997	0.993	0.996	0.998	1	0.997	0.996	0.994	0.983	0.998	1	0.992	0	0.999	0.999	0.999	
Logistics & Transportation		0.988	0.998	0.998	0.995	0.993	0.996	0.999	0.982	0.582	0.967	0.99	0.99	1	0.985	0.988	0.995	0.934	0.995	0.968	0.91	0.991	0.999	0	0.965	
Urban & Regional Planning		0.992	0.971	1	0.995	0.999	0.999	0.993	0.894	0.976	0.997	1	0.983	0.991	0.731	0.993	0.996	0.996	0.967	0.997	0.986	0.991	0.999	0.965	0	

ANNEXE H: CLASSIFICATION UNIVERSITAIRE CIRRELT

Membres Réguliers CIRRELT	Identifiant	Affiliation Universitaire	Affiliation régionale
Agard Bruno	1420	Polytechnique Montréal	Montréal
Angers Jean-François	1868	Université de Montréal	Montréal
Awasthi Anjali	3117	Concordia University	Montréal
Badami Madhav G.	3384	McGill University	Montréal
Bastin Fabian	2694	Université de Montréal	Montréal
Bellavance François	1421	HEC Montréal	Montréal
Bergeron Jacques	2728	Université de Montréal	Montréal
Blais Étienne	3047	Université de Montréal	Montréal
Boctor Fayed Fouad	45	Université Laval	Québec
Cassivi Luc	1871	UQAM	Montréal
Chauhan Satyaveer	1130	Concordia University	Montréal
Cimon Yan	1735	Université Laval	Québec
Coelho Leandro C.	3684	Université Laval	Québec
Comtois Claude	1873	Université de Montréal	Montréal
Contardo, Claudio	3025	UQAM	Montréal
Contreras Ivan	3344	Concordia University	Montréal
Cordeau Jean-François	1422	HEC Montréal	Montréal
Coté, Jean-François	1907	Université Laval	Québec
Crainic Teodor Gabriel	1452	UQAM	Montréal
D'Amours Sophie	285	Université Laval	Québec
Dionne Georges	1412	HEC Montréal	Montréal
El-Geneidy Ahmed M.	2696	McGill University	Montréal
Eluru Naveen	3913	McGill University	Montréal
Errico, Fausto	2448	ÉTS	Montréal
Farooq Bilal	4630	Polytechnique Montréal	Montréal
Ferland, jacques A.	446	Université de Montréal	Montréal
Forget Pascal	1174	UQATR	Québec
Frayret Jean-Marc	317	Polytechnique Montréal	Montréal
Frejinger Emma	4313	Université de Montréal	Montréal
Galinier Philippe	1175	Polytechnique Montréal	Montréal
Gardoni Mickaël	3523	ÉTS	Montréal
Gaudreault Jonathan	665	Université Laval	Québec
Gendreau Michel	444	Polytechnique Montréal	Montréal
Gendron Bernard	1413	Université de Montréal	Montréal
Gharbi Ali	752	ÉTS	Montréal
Guy Emmanuel	2695	UQAR	Québec

Hafid Abdelhakim	1876	Université de Montréal	Montréal
Hajji Adnène	755	Université Laval	Québec
Hatzopoulou Marianne	3914	McGill University	Montréal
Jabali Ola	4012	HEC Montréal	Montréal
Jans Raf	4179	HEC Montréal	Montréal
Kazemi Zanjani Masoumeh	2471	Concordia University	Montréal
L'Écuyer Pierre	1879	Université de Montréal	Montréal
Lachapelle Ugo	4081	UQAM	Montréal
Lahrichi Nadia	3244	Polytechnique Montréal	Montréal
Langevin André	337	Polytechnique Montréal	Montréal
Laporte Gilbert	272	HEC Montréal	Montréal
LeBel Luc	660	Université Laval	Québec
Lehoux Nadia	627	Université Laval	Québec
Marcotte Patrice	1490	Université de Montréal	Montréal
Mellouli Sehl	539	Université Laval	Québec
Miranda-Moreno Luis F.	3048	McGill University	Montréal
Montreuil Benoit	65	Université Laval	Québec
Morency Catherine	2177	Polytechnique Montréal	Montréal
Nour El Fath Mustapha	579	Université Laval	Québec
Ouali Mohamed-Salah	589	Polytechnique Montréal	Montréal
Paquet Marc	347	ÉTS	Montréal
Paquette Julie	2046	HEC Montréal	Montréal
Patterson Zachary	3616	Concordia University	Montréal
Pellerin Robert	1149	Polytechnique Montréal	Montréal
Pesant Gilles	1414	Polytechnique Montréal	Montréal
Potvin Jean-Yves	445	Université de Montréal	Montréal
Poulin Diane	64	Université Laval	Québec
Rancourt Marie-Eve	3226	UQAM	Montréal
Rei Walter	1899	UQAM	Montréal
Rekik Monia	1886	Université Laval	Québec
Renaud Jacques	87	Université Laval	Québec
Riopel Diane	328	Polytechnique Montréal	Montréal
Rönnqvist Mikael	1343	Université Laval	Québec
Rousseau Louis-Martin	662	Polytechnique Montréal	Montréal
Ruiz Angel	77	Université Laval	Québec

Saunier Nicolas	3617	Polytechnique Montréal	Montréal
Soriano Patrick	525	HEC Montréal	Montréal
Su Zhan	25	Université Laval	Québec
Trépanier Martin	1416	Polytechnique Montréal	Montréal
Verter Vedat	1417	McGill University	Montréal
Vidyarthi Navneet	3618	Concordia University	Montréal
Wang Chun	3619	Concordia University	Montréal

ANNEXE I: LIENS DES PUBLICATIONS DES MEMBRES DU CIRRELT

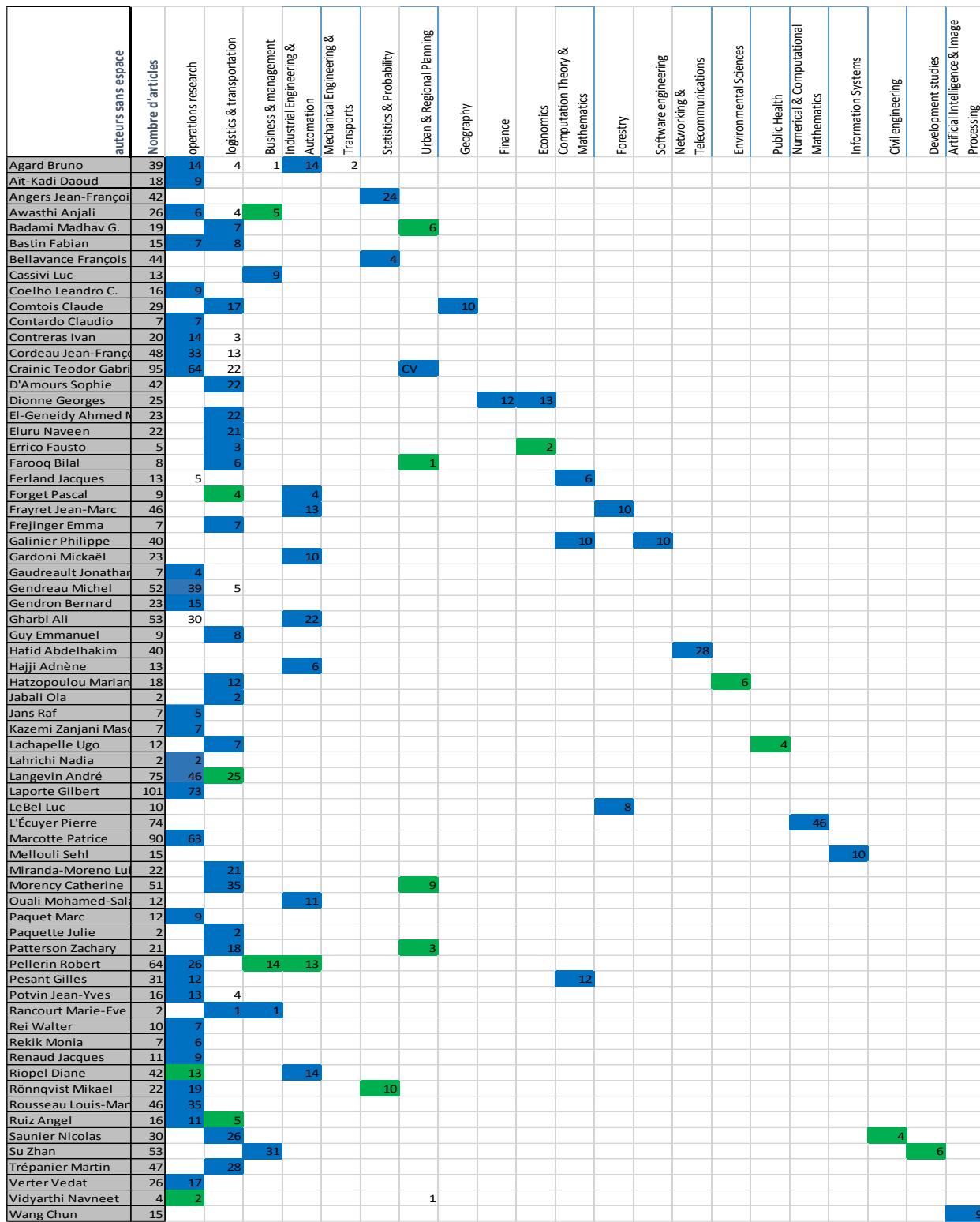
Membres Réguliers CIRRELT	Liste des Publications
Agard Bruno	http://www.mgi.polymtl.ca/agard/fr/publications/publis.htm
Angers Jean-François	http://www.dms.umontreal.ca/~angers/
Awasthi Anjali	http://users.encs.concordia.ca/~awasthi/Publications.html
Badami Madhav G.	https://www.mcgill.ca/urbanplanning/people/badami
Bastin Fabian	http://www.iro.umontreal.ca/~bastin/research.php
Bellavance François	http://neumann.hec.ca/pages/francois.bellavance/publications.htm
Bergeron Jacques	
Blais Étienne	
Boctor Fayed Fouad	http://www4.fsa.ulaval.ca/cms/site/fsa/page9536.html;jsessionid=D4327ACFC1D196E5DC9F9C3ED187D2C7
Cassivi Luc	http://professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=AfU8rsjxIOA_
Chauhan Satyaveer	
Cimon Yan	
Coelho Leandro C.	http://www.leandro-coeoho.com/publications/
Comtois Claude	http://geographie.umontreal.ca/repertoire-departement/vue/comtois-claude/
Contardo, Claudio	http://www.professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=t0QMR4OiqYg_
Contreras Ivan	http://users.encs.concordia.ca/~icontrer/web/Publications.html
Cordeau Jean-François	http://www.hec.ca/profs/jean-francois.cordeau.html#revue
Coté, Jean-François	
Crainic Teodor Gabriel	http://professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=g3o38nSOUPs_
D'Amours Sophie	
Dionne Georges	http://www.hec.ca/profs/georges.dionne.html#revue
El-Geneidy Ahmed M.	https://www.mcgill.ca/urbanplanning/people/el-geneidy

Membres Réguliers CIRRELT	Liste des Publications
Eluru Naveen	http://grimes.mcgill.ca/content/documents/Eluru_CV.pdf
Errico, Fausto	http://www.etsmtl.ca/Bottin/ETS/Alphabetique/FicheEmploye?Numero=5554
Farooq Bilal	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/en/professeurs/details.php?NoProf=558&Langue=A
Ferland, jacques A.	http://www.iro.umontreal.ca/~ferland/
Forget Pascal	https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=2870&owa_no_fiche=9&owa_apercu=N&owa_imprimable=N&owa_bottin=
Frayret Jean- Marc	http://www.mgi.polymtl.ca/jean-marc_frayret/web/publications.html
Frejinger Emma	http://diro.umontreal.ca/repertoire-departement/vue/frejinger-emma/
Galinier Philippe	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=252&Langue=F
Gardoni Mickaël	http://espace2.etsmtl.ca/view/master_director/Gardoni=3AMicka=EBI=3A=3A.html
Gaudreault Jonathan	https://www.ift.ulaval.ca/departement-et-professeurs/professeurs-et-personnel/professeurs-reguliers/fiche/show/gaudreault-jonathan/
Gendreau Michel	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=431&showtab=PUB
Gendron Bernard	http://www.iro.umontreal.ca/~gendron/publi.html
Gharbi Ali	http://espace2.etsmtl.ca/view/master_director/Gharbi=3AAli=3A=3A.html
Guy Emmanuel	http://www.uqar.ca/specialistes/equipe/guy-emmanuel/
Hafid Abdelhakim	http://www.iro.umontreal.ca/~ahafid/indexbd70.html?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=63
Hajji Adnène	http://www4.fsa.ulaval.ca/cms/site/fsa/page9549.html
Hatzopoulou Marianne	http://www.mcgill.ca/civil/people/hatzopoulou
Jabali Ola	http://www.hec.ca/profs/ola.jabali.html
Jans Raf	http://www.hec.ca/profs/raf.jans.html
Kazemi Zanjani Masoumeh	http://users.encs.concordia.ca/~kazemi/index_files/Page455.htm
L'Écuyer Pierre	http://www.iro.umontreal.ca/~lecuyer/papers.html

Membres Réguliers CIRRELT	Liste des Publications
Lachapelle Ugo	http://professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=jhAHKjsGTHU_
Lahrichi Nadia	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=454&showtab=PUB
Langevin André	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=172&showtab=PUB
Laporte Gilbert	http://www.hec.ca/profs/gilbert.laporte.html#revue
LeBel Luc	https://www.sbf.ulaval.ca/professeurs/luc-lebel
Lehoux Nadia	
Marcotte Patrice	http://www.iro.umontreal.ca/~marcotte/ARTIPS/CV_HTML.pdf
Mellouli Sehl	http://www.fsa.ulaval.ca/personnel/mellouls/
Miranda- Moreno Luis F.	http://www.mcgill.ca/civil/people/mirandamoreno
Montreuil Benoit	http://www.researchgate.net/profile/Benoit_Montreuil/publications
Morency Catherine	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=322
Nour El Fath Mustapha	
Ouali Mohamed- Salah	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=266&showtab=PUB
Paquet Marc	http://espace2.etsmtl.ca/view/master_director/Paquet=3AMarc=3A=3A.html
Paquette Julie	http://www.hec.ca/profs/julie.paquette.html#revue
Patterson Zachary	http://faculty.concordia.ca/patterson/index.php
Pellerin Robert	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=325&showtab=PUB
Pesant Gilles	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=256&showtab=PUB
Potvin Jean- Yves	http://www.iro.umontreal.ca/~potvin/
Poulin Diane	
Rancourt Marie-Eve	http://www.professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=MIt4XQoENuU_
Rei Walter	http://professeurs.uqam.ca/component/savrepertoireprofesseurs/ficheProfesseur?mId=s6%252bTL2Il5m8_
Rekik Monia	https://www.gerad.ca/fr/people/monia-rekik/publications

Membres Réguliers CIRRELT	Liste des Publications
Renaud Jacques	http://www.fsa.ulaval.ca/personnel/renaudj/
Riopel Diane	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=182&showtab=PUB
Rönnqvist Mikael	http://www.reseauvco.ca/fileadmin/vco/documents/CV_Mikael_Ronnqvist.pdf
Rousseau Louis-Martin	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=291&showtab=PUB
Ruiz Angel	http://www4.fsa.ulaval.ca/files/content/sites/fsa/files/sections/La_recherche/Centres_Groupes_Laboratoires/CERTAE/Membres/cv%20membres/CV%20Angele%20Ruiz.pdf
Saunier Nicolas	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=418&showtab=PUB
Soriano Patrick	
Su Zhan	http://+K2:K69val.ca/personnel/suzha/Ssrub_Scient.html
Trépanier Martin	http://www.polymtl.ca/recherche/rc/professeurs/details.php?NoProf=190&showtab=PUB
Verter Vedat	http://www.mcgill.ca/desautels/vedat-verter
Vidyarthi Navneet	http://jmsb.concordia.ca/~navneetv/
Wang Chun	http://users.encs.concordia.ca/~cwang/index_files/Page448.htm

ANNEXE J: CLASSIFICATION PAR PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES



ANNEXE K: CLASSIFICATION DES DISCIPLINES PAR CHERCHEUR

Membres Réguliers CIRRELT	Identifiant	Discipline principale	Discipline secondaire
Agard Bruno	1420	Génie Industriel	Recherche Opérationnelle
Angers Jean-François	1868	Statistiques et Probabilité	
Awasthi Anjali	3117	Business et management	Recherche Opérationnelle
Badami Madhav G.	3384	Transports et Logistique	Urbanisme
Bastin Fabian	2694	Recherche Opérationnelle	Transports et Logistique
Bellavance François	1421	Statistiques et Probabilité	
Bergeron Jacques	2728	Psychologie	
Blais Étienne	3047	Criminologie	
Boctor Fayed Fouad	45	Business et management	Recherche Opérationnelle
Cassivi Luc	1871	Informatique: Théorie	Business et management
Chauhan Satyaveer	1130	Recherche Opérationnelle	Génie Industriel
Cimon Yan	1735	Économie	
Coelho Leandro C.	3684	Recherche Opérationnelle	
Comtois Claude	1873	Géographie	Transports et Logistique
Contardo, Claudio	3025	Recherche Opérationnelle	
Contreras Ivan	3344	Recherche Opérationnelle	
Cordeau Jean-François	1422	Recherche Opérationnelle	
Coté, Jean-François	1907	Computation: Théorie	Recherche Opérationnelle
Crainic Teodor Gabriel	1452	Recherche Opérationnelle	Urbanisme
D'Amours Sophie	285	Foresterie	Transports et Logistique
Dionne Georges	1412	Économie	
El-Geneidy Ahmed M.	2696	Transports et Logistique	
Eluru Naveen	3913	Transports et Logistique	
Errico, Fausto	2448	Économie	Transports et Logistique
Farooq Bilal	4630	Transports et Logistique	
Ferland, Jacques A.	446	Computation: Théorie	

Membres Réguliers CIRRELT	Identifiant	Discipline principale	Discipline secondaire
Forget Pascal	1174	Génie Industriel	
Frayret Jean-Marc	317	Foresterie	Génie Industriel
Frejinger Emma	4313	Transports et Logistique	
Galinier Philippe	1175	Génie Logiciel	Computations: Théorie
Gardoni Mickaël	3523	Génie Industriel	
Gaudreault Jonathan	665	Recherche Opérationnelle	
Gendreau Michel	444	Recherche Opérationnelle	
Gendron Bernard	1413	Recherche Opérationnelle	mathématiques
Gharbi Ali	752	Génie Industriel	Recherche Opérationnelle
Guy Emmanuel	2695	Transports et Logistique	
Hafid Abdelhakim	1876	Télécommunications	
Hajji Adnène	755	Génie Industriel	
Hatzopoulou Marianne	3914	Transports et Logistique	Environnement
Jabali Ola	4012	Transports et Logistique	Génie Industriel
Jans Raf	4179	Recherche Opérationnelle	
Kazemi Zanjani Masoumeh	2471	Recherche Opérationnelle	
L'Écuyer Pierre	1879	Computations: Théorie	
Lachapelle Ugo	4081	Transports et Logistique	Santé Publique
Lahrichi Nadia	3244	Recherche Opérationnelle	
Langevin André	337	Recherche Opérationnelle	Transports et Logistique
Laporte Gilbert	272	Computations: Théorie	Recherche Opérationnelle
LeBel Luc	660	Foresterie	
Lehoux Nadia	627	Recherche Opérationnelle	Génie Industriel
Marcotte Patrice	1490	Statistiques et Probabilité	Recherche Opérationnelle
Mellouli Sehl	539	Systèmes d'information	
Miranda-Moreno Luis F.	3048	Génie Civil	Transports et Logistique
Montreuil Benoit	65	Informatique: Théorie	Génie Industriel

Membres Réguliers CIRRELT	Identifiant	Discipline principale	Discipline secondaire
Morency Catherine	2177	Transports et Logistique	
Nour El Fath Mustapha	579	Génie Industriel	
Ouali Mohamed-Salah	589	Génie Industriel	
Paquet Marc	347	Recherche Opérationnelle	
Paquette Julie	2046	Transports et Logistique	
Patterson Zachary	3616	Transports et Logistique	Urbanisme
Pellerin Robert	1149	Recherche Opérationnelle	Génie Industriel
Pesant Gilles	1414	Computation: Théorie	Recherche Opérationnelle
Potvin Jean-Yves	445	Computation: Théorie	Recherche Opérationnelle
Poulin Diane	64	Sciences Politiques	
Rancourt Marie-Eve	3226	Business et management	Transports et Logistique
Rei Walter	1899	Recherche Opérationnelle	
Rekik Monia	1886	Recherche Opérationnelle	
Renaud Jacques	87	Business et management	Recherche Opérationnelle
Riopel Diane	328	Génie Industriel	Recherche Opérationnelle
Rönnqvist Mikael	1343	Statistiques et Probabilité	Recherche Opérationnelle
Rousseau Louis-Martin	662	Computation: Théorie	Recherche Opérationnelle
Ruiz Angel	77	Recherche Opérationnelle	
Saunier Nicolas	3617	Civil engineering	Transports et Logistique
Soriano Patrick	525	Transports et Logistique	Computation: Théorie
Su Zhan	25	Affaires et gestion	Études du Développement
Trépanier Martin	1416	Transports et Logistique	
Verter Vedat	1417	Recherche Opérationnelle	
Vidyarthi Navneet	3618	Recherche Opérationnelle	Génie Industriel
Wang Chun	3619	Intelligence Artificielle	

ANNEXE L: NOMBRE DE PUBLICATIONS PAR MEMBRE DU CIRRELT

Auteur	Code	1	2	3	4	5	total
Crainic Teodor Gabriel	1452	158	113	163	184	69	687
Laporte Gilbert	272	147	113	155	183	86	684
Gendreau Michel	444	162	86	152	173	60	633
D'Amours Sophie	285	62	103	164	103	21	453
Montreuil Benoit	65	90	92	103	97	12	394
Dionne Georges	1412	95	53	72	74	37	331
Cordeau Jean-François	1422	60	37	91	98	38	324
Su Zhan	25	50	69	86	67	15	287
L'Écuyer Pierre	1879	26	1	92	98	21	238
Trépanier Martin	1416	27	33	46	81	46	233
Frayret Jean-Marc	317	20	48	84	54	17	223
Nour El Fath Mustapha	579	45	41	50	63	24	223
Gendron Bernard	1413	56	47	39	42	34	218
Langevin André	337	52	45	60	40	17	214
Miranda-Moreno Luis	3048	47	0	2	65	99	213
El-Geneidy Ahmed M.	2696	32	0	18	92	60	202
LeBel Luc	660	40	34	44	55	22	195
Renaud Jacques	87	52	71	31	28	7	189
Pellerin Robert	1149	18	7	55	86	19	185
Verter Vedat	1417	31	10	56	66	11	174
Riopel Diane	328	39	45	44	38	3	169
Comtois Claude	1873	31	15	53	54	6	159
Potvin Jean-Yves	445	42	28	34	35	9	148
Rousseau Louis-Martin	662	31	14	35	45	23	148
Boctor Fayed Fouad	45	46	59	30	12	0	147
Ruiz Angel	77	37	25	35	34	16	147
Morency Catherine	2177	25	2	19	60	39	145
Soriano Patrick	525	43	26	40	28	7	144
Bellavance François	1421	47	29	28	25	11	140
Gharbi Ali	752	26	22	31	52	8	139
Cimon Yan	1735	23	18	32	55	9	137
Poulin Diane	64	31	23	29	36	5	124
Agard Bruno	1420	16	19	29	47	13	124
Pesant Gilles	1414	32	25	34	24	7	122
Rei Walter	1899	10	0	30	51	24	115
Eluru Naveen	3913	25	0	0	30	52	107
Saunier Nicolas	3617	16	1	2	35	50	104
Hafid Abdelhakim	1876	17	0	18	63	5	103
Marcotte Patrice	1490	13	13	32	31	9	98

Lehoux Nadia	627	14	3	24	25	15	81
Rönnqvist Mikael	1343	24	0	16	27	13	80
Gaudreault Jonathan	665	14	2	24	24	15	79
Blais Étienne	3047	6	0	11	48	8	73
Patterson Zachary	3616	16	0	0	10	40	66
Ferland, jacques A.	446	17	3	12	25	5	62
Paquet Marc	347	8	6	13	25	1	53
Chauhan Satyaveer	1130	3	5	11	28	6	53
Rekik Monia	1886	16	1	8	22	6	53
Hajji Adnène	755	9	4	6	29	4	52
Hatzopoulou Marianne	3914	21	0	0	8	21	50
Bastin Fabian	2694	12	0	15	16	6	49
Awasthi Anjali	3117	6	1	4	26	9	46
Ouali Mohamed-Salah	589	8	11	13	10	3	45
Cassivi Luc	1871	8	0	22	10	1	41
Coelho Leandro C.	3684	15	0	0	3	21	39
Mellouli Sehl	539	8	11	5	12	2	38
Lahrichi Nadia	3244	7	0	0	25	6	38
Forget Pascal	1174	1	2	23	7	2	35
Guy Emmanuel	2695	6	0	12	16	1	35
Errico, Fausto	2448	4	0	7	18	4	33
Contreras Ivan	3344	6	0	0	16	11	33
Kazemi Z. Masoumeh	2471	4	0	6	13	9	32
Galinier Philippe	1175	10	3	7	2	9	31
Angers Jean-François	1868	0	4	19	5	1	29
Wang Chun	3619	4	0	0	11	4	19
Paquette Julie	2046	3	0	2	11	1	17
Coté, Jean-François	1907	2	0	1	11	1	15
Contardo, Claudio	3025	2	0	3	6	4	15
Vidyarthi Navneet	3618	1	0	0	9	5	15
Jabali Ola	4012	3	0	0	0	12	15
Farooq Bilal	4630	0	0	0	0	14	14
Gardoni Mickaël	3523	9	0	0	2	1	12
Badami Madhav G.	3384	1	0	0	6	4	11
Lachapelle Ugo	4081	0	0	0	0	11	11
Jans Raf	4179	4	0	0	0	6	10
Rancourt Marie-Eve	3226	1	0	0	3	5	9
Bergeron Jacques	2728	0	0	2	1	0	3
Frejinger Emma	4313	0	0	0	0	3	3

ANNEXE M: PROCEDURE MATLAB POUR LE CALCUL DE LA DIVERSITÉ

```
1 - clear;
2 - clc;
3 - [numk,txtk,tabk]=xlsread('Matrice similarités.xlsx','Distance');
4 - txt{::,:}=txtk;
5 - tab{::,:}=tabk;
6 - num1{::,:}=numk;
7 - clear numk txtk tabk;
8 - [numk,txtk,tabk]=xlsread('Matrice similarités.xlsx','Vecteurs proportions');
9 - txt2{::,:}=txtk;
10 - tab2{::,:}=tabk;
11 - num2{::,:}=numk;
12 - clear numk txtk tabk;
13
14 - s{::,:}=num1{::,:};
15
16 - for i=1:5
17 - p{::,i}=num2(1:22,i);
18 - A(i)=transpose(p{::,i})*s*p{::,i};
19 - end;
20
21
```

ANNEXE N: INDICE DE CENTRALITÉ DE PROXIMITÉ (CLOSENESS)
PAR AUTEUR

Membre CIRRELT	1	2	3	4	5
Su Zhan	0.1657119	0.2187709	0.2167731	0.2211176	0.1383594
Boctor Fayed Fouad	0.2777553	0.3041847	0.2386688	0.2511888	0
Poulin Diane	0.2357769	0.2440552	0.2378087	0.2448647	0.1562093
Montreuil Benoit	0.2714074	0.294861	0.2660198	0.25236	0.1405914
Ruiz Angel	0.2940361	0.3296661	0.260764	0.2711002	0.2761775
Renaud Jacques	0.2780872	0.2889564	0.2457146	0.2557822	0.2166031
Laporte Gilbert	0.3279219	0.3129817	0.2769445	0.3159624	0.281351
D'Amours Sophie	0.280095	0.3285714	0.2828802	0.2909306	0.2633009
Frayret Jean-Marc	0.2630639	0.2701359	0.2564928	0.2926403	0.2890703
Riopel Diane	0.2534396	0.2350284	0.2050348	0.2840922	0.240187
Langevin André	0.2989455	0.290654	0.2587194	0.3198592	0.2894258
Paquet Marc	0.2309575	0.2359893	0.216367	0.1760311	0.0035672
Gendreau Michel	0.3336568	0.3236582	0.3230374	0.3263151	0.2942516
Potvin Jean-Yves	0.2821321	0.2771623	0.2847987	0.2644767	0.2241695
Ferland, Jacques A.	0.2337407	0.2147685	0.2522902	0.22266	0.1974572
Soriano Patrick	0.298256	0.3051227	0.2782792	0.2642522	0.2439218
Mellouli Sehl	0.2203739	0.2165141	0.0110888	0.2543711	0.1839744
Nour El Fath Mustapha	0.2780872	0.248254	0.2784469	0.2826088	0.2744594
Ouali Mohamed-Salah	0.1858503	0.2398298	0.005386	0.2172965	0.1980111
Lehoux Nadia	0.2500096	0.2517734	0.2271108	0.2555197	0.2412541
LeBel Luc	0.2459414	0.2562444	0.2064552	0.2673737	0.2283758
Rousseau Louis-Martin	0.3041805	0.3119949	0.2858561	0.3233486	0.2762856
Gaudreault Jonathan	0.2490466	0.247279	0.2435126	0.2556771	0.220459
Gharbi Ali	0.2385314	0.2452651	0.2018984	0.2499783	0.2053854
Hajji Adnène	0.2366398	0.1959345	0.2011949	0.2475919	0.2164703
Chauhan Satyaveer	0.1620207	0.2500464	0.2273344	0.2455408	0.2148234
Pellerin Robert	0.2345887	0.2230688	0.250037	0.2834453	0.2591445
Forget Pascal	0.0015911	0.2317259	0.2414759	0.2324728	0.1685553
Galinier Philippe	0.2792884	0.2567193	0.2228381	0.2190169	0.194895
Rönnqvist Mikael	0.2472477	0	0.2183614	0.2358643	0.2135238
Dionne Georges	0.2095795	0.2400792	0.218775	0.2129112	0.039239
Gendron Bernard	0.2937392	0.2752896	0.2885343	0.2786864	0.2502338
Pesant Gilles	0.297038	0.2864469	0.281587	0.277506	0.2623224
Trépanier Martin	0.2466712	0.2911427	0.2414759	0.2912028	0.2722366
Verter Vedat	0.2515769	0.2433691	0.2551469	0.2912709	0.2259634

Agard Bruno	0.2238928	0.2457001	0.1963628	0.2838978	0.2599078
Bellavance François	0.277028	0.2730109	0.1814033	0.2503302	0.2359324
Cordeau Jean-François	0.3175429	0.2722597	0.2710936	0.2962618	0.240187
Crainic Teodor Gabriel	0.3005668	0.2846809	0.2733393	0.3274308	0.2440905
Marcotte Patrice	0.2520127	0.2330513	0.2334817	0.2311348	0.1970164
Cimon Yan	0.2162383	0.1515599	0.1653933	0.2366265	0.1366189
Angers Jean-François	0.1945169	0.269191	0.2144584	0.2028833	0.1385495
Bergeron Jacques	0.1990073	0	0.0235131	0.2030488	0
Cassivi Luc	0.1678631	0	0.1891273	0.2376655	0.0035672
Comtois Claude	0.1605456	0.2515905	0.008079	0.0079251	0.0023781
Hafid Abdelhakim	0.2513596	0	0.2392869	0.2452506	0.2232478
L'Écuyer Pierre	0.2581621	0.0054422	0.2541642	0.2501792	0.1821702
Rekik Monia	0.2615269	0.2330513	0.2534669	0.2913391	0.2237431
Rei Walter	0.2897174	0	0.258069	0.290117	0.2380808
Coté, Jean-Francois	0.2503861	0	0.2170277	0.2440965	0.2231067
Paquette Julie	0.268032	0	0.2200255	0.2535938	0.2183451
Morency Catherine	0.2465667	0.2242242	0.1916778	0.2883029	0.2610613
Errico, Fausto	0.2381409	0	0.2104047	0.2441443	0.2369619
Kazemi Z. Masoumeh	0.2230774	0	0.2228381	0.226963	0.2197726
Bastin Fabian	0.2259357	0	0.2152078	0.198484	0.2257466
Guy Emmanuel	0.1601699	0	0.0044883	0.2413049	0
El-Geneidy Ahmed M.	0.2263311	0	0.0206463	0.2162397	0.1991844
Contardo, Claudio	0.2534396	0	0.226832	0.2536972	0.2119849
Blais Étienne	0.1831306	0	0.005386	0.1446876	0.0083234
Miranda-Moreno Luis	0.2210017	0	0.0017953	0.2358196	0.2498795
Awasthi Anjali	0.1906922	0.198974	0.1822622	0.2351959	0.2075594
Rancourt Marie-Eve	0.2096927	0	0	0.2413517	0.2461331
Lahrichi Nadia	0.268341	0	0	0.2750535	0.2367236
Contreras Ivan	0.2539373	0	0	0.241539	0.225027
Badami Madhav G.	0.0015911	0	0	0.1764303	0.1638221
Gardoni Mickaël	0.1770569	0	0	0.2249127	0.0047562
Patterson Zachary	0.2118301	0	0	0.1954611	0.2396163
Saunier Nicolas	0.2253233	0.0040816	0.0017953	0.248531	0.2491739
Vidyarthi Navneet	0.1849936	0	0	0.1951241	0.1810489
Wang Chun	0.146187	0	0	0.1890784	0.0083234
Coelho Leandro C.	0.253219	0	0	0.2413517	0.2193628
Eluru Naveen	0.2041029	0	0	0.2069646	0.2153477
Hatzopoulou Marianne	0.2106035	0	0	0.1795086	0.2407604
Jabali Ola	0.2705241	0	0	0	0.2404324

Lachapelle Ugo	0	0	0	0	0.0035672
Jans Raf	0.2452676	0	0	0	0.1907864
Frejinger Emma	0	0	0	0	0.1828308
Farooq Bilal	0	0	0	0	0.1317733

ANNEXE O: CENTRALITÉ D'INTERMÉDIARITÉ (BETWEENNESS)
PAR AUTEUR

Membres Réguliers CIRRELT	Betweenness 1	Betweenness 2	Betweenness 3	Betweenness 4	Betweenness 5
Agard Bruno	0.0227761	0.0107043	0.0087045	0.0346768	0.0340642
Angers Jean-François	0	0.0089317	0.0601282	0.0189713	0
Awasthi Anjali	0.0042845	0	0.001645	0.0293369	0.0182117
Badami Madhav G.	0	0	0	0.0043353	0
Bastin Fabian	0	0	0	0	0.0062179
Bellavance François	0.1222176	0.1188606	0.0750139	0.0608366	0.0788094
Bergeron Jacques	0.0432168	0	0.0002567	0.0612216	0.0488694
Blais Étienne	0.0030642	0	0.0000113	0.0230599	0.0000369
Boctor Fayed Fouad	0.0567069	0.0932412	0.008953	0.0053813	0
Cassivi Luc	0.0217423	0	0.0005105	0.0712594	0
Chauhan Satyaveer	0.0034625	0.006256	0.0160588	0.0277901	0.0114693
Cimon Yan	0.0044129	0.007929	0.0146592	0.016519	0.0066051
Coelho Leandro C.	0	0	0	0	0.0031368
Comtois Claude	0.0075888	0	0.0166679	0.0073238	0
Contardo, Claudio	0.0034514	0	0	0.0000132	0
Contreras Ivan	0.0024541	0	0	0.0009084	0.0215603
Cordeau Jean-François	0.1050374	0.023458	0.0430599	0.0644806	0.0437758
Coté, Jean-Francois	0.0196206	0	0.0034498	0.0065247	0.0091804
Crainic Teodor Gabriel	0.1218787	0.1214233	0.1266351	0.1569661	0.0610055
D'Amours Sophie	0.0881454	0.2317513	0.152196	0.0833075	0.0977558
Dionne Georges	0.0162199	0.0634078	0.0829659	0.0517434	0.0013622
El-Geneidy Ahmed M.	0.0000004	0	0.0000097	0.0074398	0
Eluru Naveen	0.0191883	0	0	0.0217081	0.0401004
Errico, Fausto	0.0343943	0	0.0009722	0.1006454	0.1150496
Farooq Bilal	0	0	0	0	0.008725
Ferland, Jacques A.	0.0095017	0.0000037	0.0149455	0.0272928	0.0152023
Forget Pascal	0	0	0.0006462	0.0000031	0.0043589
Frayret Jean-Marc	0.0231399	0.0193751	0.0568633	0.0691003	0.1122348
Frejinger Emma	0	0	0	0	0.0353028
Galinier Philippe	0.0619647	0.0033831	0.0029387	0.0041183	0.0241243
Gardoni Mickaël	0.0095961	0	0	0.0010556	0

Membres Réguliers CIRRELT	Betweenness 1	Betweenness 2	Betweenness 3	Betweenness 4	Betweenness 5
Gaudreault Jonathan	0.0051682	0.0000069	0.0021509	0.0046317	0.0103668
Gendreau Michel	0.1920179	0.1880069	0.2666165	0.2525955	0.292368
Gendron Bernard	0.0574958	0.0357783	0.0664005	0.0359166	0.0602452
Gharbi Ali	0.0209431	0.0297201	0.016668	0.0186497	0.008698
Guy Emmanuel	0.0076596	0	0.0321932	0.0081701	0.0426216
Hafid Abdelhakim	0.0061493	0.009245	0.0000404	0.0000406	0
Hajji Adnène	0.0084894	0	0.0000381	0.0031111	0.0088803
Hatzopoulou Marianne	0.0262606	0	0	0.0138374	0.0406116
Jabali Ola	0	0	0	0	0.0052952
Jans Raf	0.0007816	0	0	0	0.0065313
Kazemi Zanjani Masoumeh	0.0123929	0	0	0.000007	0.0025434
L'Écuyer Pierre	0.0240591	0	0.0057245	0.0291295	0.0043589
Lachapelle Ugo	0	0	0	0	0
Lahrichi Nadia	0.009353	0	0	0.0062789	0.0000634
Langevin André	0.0535879	0.0717888	0.0863154	0.0870749	0.122652
Laporte Gilbert	0.192516	0.1851347	0.121778	0.1612883	0.1780995
LeBel Luc	0.0361021	0.0492675	0.0182071	0.0395181	0.018037
Lehoux Nadia	0.008572	0	0.0016077	0.0015245	0.0172512
Marcotte Patrice	0.0072212	0.023894	0.0205078	0.0165388	0.0176873
Mellouli Sehl	0.0064158	0.0105572	0.0001053	0.0236565	0.0278333
Miranda-Moreno Luis F.	0.0304141	0	0	0.0792679	0.10225
Montreuil Benoit	0.0625968	0.0952658	0.0818722	0.0424631	0.0235917
Morency Catherine	0.0062353	0	0	0.0028077	0
Nour El Fath Mustapha	0.0491942	0.0295068	0.0547555	0.0410841	0.076804
Ouali Mohamed-Salah	0.0070857	0.0158135	0.0000057	0.0023144	0.005989
Paquet Marc	0.0022815	0.0005523	0.0057584	0.0047705	0
Paquette Julie	0.0000228	0	0	0	0
Patterson Zachary	0.0037794	0	0	0.0109477	0.0342369
Pellerin Robert	0.0361049	0.0105609	0.0724589	0.0854443	0.0578845
Pesant Gilles	0.0397759	0.0487401	0.0729909	0.0201773	0.0553466
Potvin Jean-Yves	0.0154393	0.0227017	0.0420217	0.0070173	0.0043465
Poulin Diane	0.0481672	0.0104117	0.0267305	0.012592	0.0226322
Rancourt Marie-Eve	0	0	0	0	0.0525871
Rei Walter	0.0257463	0	0.0013471	0.0364961	0.0359657

Membres Réguliers CIRRELT	Betweenness 1	Betweenness 2	Betweenness 3	Betweenness 4	Betweenness 5
Rekik Monia	0.019024	0	0.0677981	0.0543765	0.0238195
Renaud Jacques	0.0376424	0.034822	0.0134298	0.0092193	0.0009514
Riopel Diane	0.020446	0.0156476	0.0258769	0.0370896	0.0021823
Rönnqvist Mikael	0.0274334	0	0.000091	0.0004435	0.0127804
Rousseau Louis-Martin	0.0868272	0.0854982	0.064474	0.097718	0.0972918
Ruiz Angel	0.068591	0.1264052	0.0303863	0.0319843	0.1609262
Saunier Nicolas	0.0424774	0	0	0.0339838	0.0757112
Soriano Patrick	0.0210915	0.0339559	0.0550824	0.0098135	0.0016778
Su Zhan	0.0102911	0.0471261	0.020068	0.0172456	0.0098218
Trépanier Martin	0.022356	0.0672428	0.0648939	0.0645808	0.1308762
Verter Vedat	0.0331029	0.0168132	0.0393842	0.0669894	0.0250052
Vidyarthi Navneet	0.0045856	0	0	0.001366	0.0065356
Wang Chun	0.0007035	0	0	0.0122473	0.0000255

ANNEXE P: CENTRALITÉ D'INTERMÉDIARITÉ PAR DISCIPLINE

Disciplines	Périodes d'analyse				
	1	2	3	4	5
Affaires	0.02178498	0.03503786	0.00881916	0.01223662	0.0163144
Administration	0.0481672	0.0104117	0.0267305	0.012592	0.0226322
Programmation: Théorie	0.05245321	0.0485938	0.04530746	0.05143004	0.04304641
Recherche Opérationnelle	0.0347768	0.02732045	0.03754445	0.04180066	0.04406016
Foresterie	0.04912913	0.1001313	0.07575547	0.0639753	0.0760092
Génie Industriel	0.01731633	0.01267404	0.01333686	0.01724805	0.01762209
Transports et Logistique	0.00761385	0.00722848	0.01086994	0.01026003	0.02424625
Systèmes d'information	0.0064158	0.0105572	0.0001053	0.0236565	0.0278333
Génie Logiciel	0.0619647	0.0033831	0.0029387	0.0041183	0.0241243
Statistiques et Probabilité	0.03921805	0.03792158	0.03893523	0.02419755	0.02731928
Économie	0.01834237	0.02377893	0.03286577	0.0563026	0.04100563
Géographie	0.0075888	0	0.0166679	0.0073238	0
Télécommunications	0.0061493	0.009245	0.0000404	0.0000406	0
Psychologie	0.0432168	0	0.0002567	0.0612216	0.0488694
Criminologie	0.0030642	0	0.0000113	0.0230599	0.0000369
Civil engineering	0.03644575	0	0	0.05662585	0.0889806
Intelligence Artificielle	0.0007035	0	0	0.0122473	0.0000255