

Titre: L'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales : quelle est-elle et comment la caractériser ?
Title:

Auteur: Ilrick Duhamel
Author:

Date: 2022

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Duhamel, I. (2022). L'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales : quelle est-elle et comment la caractériser ? [Master's thesis, Polytechnique Montréal].
Citation: PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/10499/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/10499/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Virginie Francoeur, & Mario Bourgault
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**L'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales : quelle est-elle et comment
la caractériser ?**

ILRICK DUHAMEL

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Août 2022

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

L'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales : quelle est-elle et comment la caractériser ?

présenté par **Ilrick DUHAMEL**

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

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

Catherine BEAUDRY, présidente

Virginie FRANCOEUR, membre et directrice de recherche

Mario BOURGAULT, membre et codirecteur de recherche

Vincent LARIVIÈRE, membre

DÉDICACE

À mes parents, Nicole et Robert

REMERCIEMENTS

Virginie, merci d'avoir cru en moi depuis le tout début de cette aventure. Tu m'as donné l'opportunité de réaliser un projet de recherche à notre image : engagé, audacieux et créatif. Je tiens également à souligner l'implication de tes parents dans la production du balado [Poly Disciplines](#). J'étais tellement fier de moi. Tu as su mettre en évidence certaines de mes habiletés que peu de gens avant toi avaient valorisées. Je suis très fier de dire que je suis ton étudiant.

Mario, merci de ne jamais avoir hésité à pousser la réflexion plus loin. J'ai apprécié que tu prennes soin de lire mes textes, de poser des questions et de réfléchir à voix haute avec moi. Je n'avais pas toujours les réponses, mais lorsque je la trouvais au terme de quelques recherches, je prenais conscience de l'impact positif de ta rigueur intellectuelle sur mon mémoire. Grâce à cela, j'ai développé une confiance en moi qui me rend très fier du projet que nous avons réalisé ensemble.

Christine, tu as joué un rôle clé dans ce projet de recherche. Merci de m'avoir fait découvrir les ressources inestimables d'une bibliothèque scientifique ainsi que l'univers méconnu des sciences de l'information. Surtout, merci de m'avoir donné de ton temps personnel en parallèle de ton nouvel emploi, pour l'analyse de mes résultats. J'en profite également pour remercier tes collègues, Mélissa Beaudry et Robin Sylvestre pour leur aide afin d'accéder aux métadonnées de *PolyPublie*.

Chère Joliann, merci de m'avoir accompagné tout au long de cette maîtrise. Bien plus que ma collègue de bureau, je savais que je pouvais toujours compter sur toi, dans les bons comme dans les mauvais moments. Une pensée également pour mes coéquipiers au sein des Carabins de l'Université de Montréal : Loïc, Maxime, Selim, Simon, Thibault et Thomas. Merci de vous être dressé, à mes côtés, dans l'adversité. Nathan, merci de n'avoir jamais renoncé à moi, malgré tout.

Maman et papa, ça n'a pas été facile de quitter la maison pour Montréal. J'ai toujours aimé passer du temps avec vous. J'ai pris conscience de tellement de choses que vous faisiez pour moi au quotidien. Je suis fier d'être votre garçon. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. Grande sœur, tu es la plus belle maman du monde. J'ai hâte de passer du temps avec Norah. D'ailleurs Norah, si un jour tu lis ces quelques lignes, j'espère qu'elles sauront t'inspirer à te faire confiance, et à saisir les opportunités qui s'offrent à toi. Tu pourras toujours compter sur ton oncle. Grand-maman, sache que je pensais fort à toi dans les moments plus difficiles. Marie-Pierre, sans toi, rien de tout cela n'aurait été possible. Merci de m'avoir donné du courage; de m'avoir fait grandir comme homme. J'ai toujours voulu que tu sois fière de moi. J'ai hâte à la suite, à tes côtés.

Durant ma maîtrise, j'ai eu la chance d'être récipiendaire de bourses et de prix provenant de divers organismes ce qui m'a permis d'accomplir plusieurs réalisations. J'aimerais d'abord souligner le soutien du [Groupe de recherche en gestion et mondialisation de la technologie](#) (GMT). Plus particulièrement de Laurence Solar-Pelletier, ainsi que de Virginie Francoeur, co-porteuse du dossier, pour m'avoir appuyé dans la soumission d'une demande de bourse auprès du *Conseil de recherches en sciences humaines du Canada* (CRSH). J'ai obtenu une bourse me permettant d'acquérir le matériel nécessaire pour mettre en ondes mon propre balado permettant de mobiliser les connaissances de mes recherches. Ce balado m'a permis de perfectionner mes habiletés de communication. J'ai notamment remporté le [Prix du public](#) au concours *Ma thèse en 180 secondes* de *Polytechnique Montréal*. Au passage, je tiens à remercier les membres de la communauté étudiante qui ont voté pour [ma prestation](#). Merci également à l'Acfas qui a sélectionné ma candidature afin de [présenter mes travaux](#) dans le cadre du 89^e Congrès de l'organisation.

Au mois de mai 2022, j'ai remporté la prestigieuse [Bourse Fernand-Seguin 2022](#) décernée par l'[Association des communicateurs scientifiques du Québec](#) (ACS) pour mon reportage intitulé [Sur la route du lithium au Québec](#). Je tiens à remercier l'ACS pour cette bourse qui m'offre « la chance unique d'apprendre le métier de journaliste scientifique auprès de journalistes, de rédactrices et rédacteurs en chef, ainsi que de réalisatrices et réalisateurs œuvrant dans des médias traditionnels et numériques reconnus » (ACS, 2022). Dans les prochaines semaines, j'aurai la chance de réaliser des stages chez *Radio-Canada*, *Le Soleil*, *La Presse*, *Les Débrouillards* et *Québec Science*.

Merci à la [Fondation de l'Ordre des Ingénieurs du Québec](#) (FOIQ) qui m'a sélectionné comme lauréat du Prix universitaire du mérite du 2^e cycle. Ce prix s'accompagne d'une importante bourse qui m'a supporté financièrement tout au long de mes études. Un grand merci également à [Forces AVENIR](#) qui m'a sélectionné comme l'un des trois finalistes au prix Personnalité 2^e et 3^e cycles ainsi qu'au prix AVENIR Personnalité par excellence 2022. Cette sélection me touche beaucoup. En 2015, j'avais remporté le prix AVENIR Personnalité par excellence au collégial. Sept années plus tard, je suis fier d'avoir maintenu un haut niveau d'engagement, et surtout d'avoir conservé un équilibre entre la réussite de mes études et mes réalisations personnelles.

Enfin, je remercie le *Réseau du Sport Étudiant du Québec* (RSEQ) qui a reconnu mon engagement et mon leadership au sein du programme de sport d'excellence des Carabins de l'Université de Montréal en me décernant le [Prix leadership et engagement social](#) pour la saison Automne 2021.

RÉSUMÉ

L'interdisciplinarité s'impose afin de développer une compréhension fine des grands défis de la société contemporaine. Parmi ceux-ci, mentionnons le développement ininterrompu des technologies numériques qui entraîne des transformations radicales dans plusieurs sphères de la société (FRQ, 2020). Les ingénieurs se trouvent au cœur de ce développement technologique. Leur rôle ne se limite plus seulement à la compréhension et à la maîtrise des enjeux techniques, mais également des enjeux sociaux. Les programmes universitaires d'ingénierie s'adaptent en intégrant graduellement des connaissances issues des sciences sociales. L'importance de l'interdisciplinarité dans la recherche en ingénierie reste toutefois peu documentée. Notre étude vise à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales.

Pour caractériser l'interdisciplinarité, nous utilisons trois méthodes bibliométriques. Deux d'entre elles exploitent les métadonnées des publications scientifiques que nous retrouvons dans la base de données bibliographiques de *Web of Science*. En complément de ces méthodes habituelles, nous utilisons une approche qui utilise une source de données beaucoup moins exploitée : les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat contenus dans une base de données institutionnelles. Comme la formation de la relève par le biais de la direction d'étudiants-chercheurs constitue souvent une occasion de mettre de l'avant l'interdisciplinarité, cette source d'information s'est avérée fort pertinente pour compléter les méthodes bibliométriques habituelles.

Dans notre étude, nous caractérisons l'interdisciplinarité des activités de recherche menées par 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*, une université d'ingénierie située au Canada. L'échantillon que nous analysons comprend 479 publications scientifiques et 319 travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat). Nos résultats montrent qu'entre 2009 à 2019, une partie des activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs du département de génie industriel de *Polytechnique Montréal* sont interdisciplinaires.

L'étude contribue à l'avancement des connaissances en interrogeant les moyens de caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche, non seulement en regard de la production de nouvelles connaissances scientifiques, mais aussi de la formation de la relève en recherche. Les résultats apparaissent prometteurs et suggèrent d'étendre la méthodologie à un échantillon plus vaste, et à une variété de disciplines.

ABSTRACT

Interdisciplinarity is essential to develop a detailed understanding of the major challenges facing today's society. Among these challenges, let us mention the uninterrupted development of digital technologies that is leading to radical transformations in several spheres of society (FRQ, 2020). Engineers are at the heart of this technological development. Their role is no longer limited to understanding and mastering technical issues, but also social issues. University engineering programs are adapting by gradually integrating knowledge from the social sciences. However, the importance of interdisciplinarity in engineering research remains under documented. Our study aims to characterize the interdisciplinarity of engineering research activities, specifically targeting the relationship with the social sciences.

To characterize interdisciplinarity, we use three bibliometric methods. Two of them exploit the metadata of scientific publications found in the Web of Science bibliographic database. In addition to these common methods, we use an approach that exploits a much less used data source: master's dissertations and doctoral thesis contained in an institutional bibliographic database. Since the development of the next generation of researchers through the supervision of student researchers is often an opportunity to promote interdisciplinarity, this source of information has proven to be very relevant to complement the usual bibliometric methods.

In our study, we characterize the interdisciplinarity of the research activities carried out by 25 professor-researchers of the industrial engineering section of *Polytechnique Montréal*, an engineering university located in Canada. The sample we analyze includes 479 scientific publications and 319 works (master's theses and doctoral dissertations). Our results show that between 2009 and 2019, a portion of the research activities conducted by the professor-researchers of the industrial engineering department of *Polytechnique Montréal* are interdisciplinary.

The study contributes to the advancement of knowledge by questioning the means of characterizing the interdisciplinarity of research activities, not only with respect to the production of new scientific knowledge, but also with respect to the development of the next generation of researchers. The results appear promising and suggest extending the methodology to a larger sample and to a variety of disciplines.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----------|
| DÉDICACE..... | III |
| REMERCIEMENTS | IV |
| RÉSUMÉ..... | VI |
| ABSTRACT | VII |
| LISTE DES TABLEAUX..... | XIII |
| LISTE DES FIGURES..... | XV |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS | XVII |
| LISTE DES ANNEXES..... | XVIII |
| CHAPITRE 1 INTRODUCTION..... | 1 |
| 1.1 Contexte de la recherche | 1 |
| 1.2 Mesurer l’interdisciplinarité..... | 3 |
| 1.3 Objectif de l’étude et méthodologie | 4 |
| 1.4 Plan du mémoire..... | 4 |
| CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE..... | 5 |
| 2.1 Le modèle d’université de recherche | 5 |
| 2.1.1 L’évolution de l’enseignement supérieur occidental | 5 |
| 2.1.2 Les concepts directeurs du modèle d’université de recherche | 7 |
| 2.1.3 L’organisation disciplinaire des universités de recherche..... | 8 |
| 2.1.4 Les trois cycles d’étude universitaire | 8 |
| 2.1.5 La production de nouvelles connaissances scientifiques | 9 |
| 2.1.6 Les activités de recherche à l’université | 10 |
| 2.2 Les disciplines scientifiques..... | 11 |
| 2.2.1 La division des connaissances scientifiques..... | 11 |

| | | |
|------------------------------|--|----|
| 2.2.2 | Les systèmes de classification disciplinaire | 12 |
| 2.2.3 | Définir la « discipline scientifique » | 13 |
| 2.2.4 | Le caractère autonome des disciplines scientifiques..... | 14 |
| 2.2.5 | Les frontières disciplinaires | 15 |
| 2.2.6 | L'impact des disciplines scientifiques..... | 16 |
| 2.3 | Typologie des collaborations disciplinaires | 16 |
| 2.3.1 | D'un point de vue étymologique..... | 17 |
| 2.3.2 | D'un point de vue historique..... | 18 |
| 2.3.3 | L'intégration des connaissances..... | 19 |
| 2.3.4 | La recherche multidisciplinaire..... | 21 |
| 2.3.5 | La recherche interdisciplinaire..... | 22 |
| 2.3.6 | La recherche transdisciplinaire..... | 23 |
| 2.3.7 | Distinguer multi-, inter- et transdisciplinaire..... | 24 |
| 2.4 | Le concept d'interdisciplinarité..... | 25 |
| 2.4.1 | Définir l'interdisciplinarité..... | 25 |
| 2.4.2 | L'évolution conceptuelle de l'interdisciplinarité | 28 |
| 2.4.3 | Mesurer l'interdisciplinarité..... | 30 |
| 2.4.4 | Ce qu'il faut retenir | 38 |
| CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE..... | | 41 |
| 3.1 | Méthodes de mesure..... | 42 |
| 3.1.1 | Production de nouvelles connaissances..... | 42 |
| 3.1.2 | Formation de la relève..... | 43 |
| 3.1.3 | Bibliométrie et scientométrie | 43 |
| 3.2 | Paramètres de l'étude | 45 |

| | | |
|------------|---|----|
| 3.2.1 | Nature de l'échantillon de l'étude | 45 |
| 3.2.2 | Critères d'inclusion et d'exclusion..... | 45 |
| 3.3 | Les bases de données..... | 47 |
| 3.3.1 | Base de données bibliographiques | 47 |
| 3.3.2 | Web of Science..... | 47 |
| 3.3.3 | PolyPublie | 49 |
| 3.3.4 | Autres bases de données..... | 49 |
| 3.4 | Description de la méthodologie..... | 52 |
| 3.4.1 | Téléchargement des données..... | 52 |
| 3.4.2 | Analyse des revues savantes | 55 |
| 3.4.3 | Analyse des références | 60 |
| 3.4.4 | Analyse des codirections..... | 65 |
| CHAPITRE 4 | ANALYSE DESCRIPTIVE DES RÉSULTATS | 68 |
| 4.1 | Caractéristiques de l'échantillon de professeurs-chercheurs | 68 |
| 4.2 | Description quantitative des activités de recherche | 70 |
| 4.2.1 | Production de nouvelles connaissances..... | 70 |
| 4.2.2 | Formation de la relève en recherche | 77 |
| 4.2.3 | Résumé des habitudes de publication et de travail..... | 83 |
| 4.3 | Méthode d'analyse des revues savantes | 84 |
| 4.3.1 | Identification des revues savantes | 84 |
| 4.3.2 | Identification des domaines de recherche | 88 |
| 4.4 | Méthode d'analyse des références..... | 93 |
| 4.4.1 | Identification des revues savantes | 94 |
| 4.4.2 | Identification des domaines de recherche | 98 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 4.5 | Méthode d'analyse des codirections | 103 |
| 4.6 | Comparaison des résultats | 106 |
| 4.6.1 | Méthode d'analyse des revues savantes | 107 |
| 4.6.2 | Méthode d'analyse des références..... | 109 |
| 4.6.3 | Méthode d'analyse des codirections | 112 |
| 4.6.4 | Comparaison des méthodes bibliométriques..... | 113 |
| CHAPITRE 5 | DISCUSSION | 114 |
| 5.1 | Analyse des résultats | 114 |
| 5.1.1 | Méthode d'analyse des revues savantes | 114 |
| 5.1.2 | Méthode d'analyse des références..... | 116 |
| 5.1.3 | Méthode d'analyse des codirections | 117 |
| 5.1.4 | Le génie et les sciences sociales..... | 118 |
| 5.2 | Contributions de l'étude | 119 |
| 5.2.1 | Contributions empiriques | 120 |
| 5.2.2 | Contributions théoriques | 121 |
| 5.2.3 | Contributions méthodologiques | 122 |
| 5.3 | Limites de l'étude..... | 123 |
| 5.3.1 | Deux méthodes, deux résultats..... | 123 |
| 5.3.2 | Limites des bases de données bibliographiques..... | 124 |
| 5.3.3 | Limites de la taille de l'échantillon..... | 126 |
| 5.4 | Avenues de recherche futures | 126 |
| 5.4.1 | Au niveau des méthodes..... | 126 |
| 5.4.2 | Au niveau de l'échantillon | 127 |
| 5.4.3 | Au niveau de l'analyse des codirections | 128 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS | 129 |
| RÉFÉRENCES | 131 |
| ANNEXES | 139 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 2.1 : Différentes définitions de la notion de « discipline scientifique »..... | 13 |
| Tableau 2.2 : Définitions des préfixes multi-, inter-, et trans-..... | 17 |
| Tableau 2.3 : Définitions du concept d'interdisciplinarité. | 26 |
| Tableau 2.4 : Méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité. | 30 |
| Tableau 3.1 : Index de citation de la collection centrale de <i>WoS</i> | 48 |
| Tableau 3.2 : Métadonnées utilisées pour l'analyse des revues savantes. | 56 |
| Tableau 3.3 : Identification du titre des revues savantes. | 57 |
| Tableau 3.4 : Extrait de la liste des WC associés aux revues savantes..... | 58 |
| Tableau 3.5 : Identification des domaines de recherche (WC) associés aux publications. | 58 |
| Tableau 3.6 : WC associés à plus d'un index de citation..... | 59 |
| Tableau 3.7 : Format brut de la liste des références à la suite du téléchargement..... | 60 |
| Tableau 3.8 : Format des références après séparation manuelle..... | 61 |
| Tableau 3.9 : Séparation de l'information contenue dans les références individuelles..... | 61 |
| Tableau 3.10 : Extrait de l'information contenue dans la liste JCR2021. | 62 |
| Tableau 3.11 : Exemple d'associations entre le titre court et le titre long des revues. | 62 |
| Tableau 3.12 : Extrait de la liste des revues les plus citées par les professeurs-chercheurs. | 63 |
| Tableau 3.13 : Information disponible dans la liste des revues savantes indexées..... | 64 |
| Tableau 3.14 : Association des revues savantes aux WC. | 64 |
| Tableau 3.15 : Extrait de la liste des WC associés aux références. | 65 |
| Tableau 3.16 : Répétition de l'information relative aux travaux réalisés en codirection. | 66 |
| Tableau 4.1 : Catégorisation des professeurs-chercheurs selon la discipline de leur doctorat. | 68 |
| Tableau 4.2 : Titre des revues savantes dans lesquelles les PCSS publient le plus souvent. | 86 |
| Tableau 4.3 : Titre des revues savantes dans lesquelles les PCG publient le plus souvent. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 4.4 : Principaux WC associés aux publications scientifiques des PCSS. | 90 |
| Tableau 4.5 : Principaux WC associés aux publications scientifiques des PCG. | 91 |
| Tableau 4.6 : Répartition des références associées à des revues savantes. | 93 |
| Tableau 4.7 : Titre des revues savantes les plus citées par les PCSS. | 95 |
| Tableau 4.8 : Titre des revues savantes les plus citées par les PCG. | 97 |
| Tableau 4.9 : Principaux WC associés aux revues savantes citées par les PCSS. | 99 |
| Tableau 4.10 : Principaux WC associés aux revues savantes citées par les PCG. | 101 |
| Tableau 4.11 : Répartition des professeurs-chercheurs impliqués dans les codirections. | 104 |
| Tableau 4.12 : Répartition des travaux en codirection selon les trois cas de figure. | 105 |
| Tableau 4.13 : L'interdisciplinarité des activités de recherche des PCG et des PCSS. | 107 |
| Tableau 4.14 : Comparaison des revues savantes de publication des PCG et des PCSS. | 108 |
| Tableau 4.15 : Comparaison des WC associés aux revues savantes de publication. | 109 |
| Tableau 4.16 : Comparaison de l'interdisciplinarité des références des PCG et des PCSS. | 110 |
| Tableau 4.17 : Comparaison des revues savantes les plus citées par les PCG et les PCSS. | 111 |
| Tableau 4.18 : Comparaison des WC associés aux revues savantes de publication. | 112 |
| Tableau 4.19 : Comparaison des résultats interdisciplinaires pour les trois méthodes. | 113 |
| Tableau 5.1 : Comparaison de nos résultats avec des études similaires. | 118 |
| Tableau A.1 : Définitions supplémentaires du concept d'interdisciplinarité. | 138 |
| Tableau B.1 : Comparaison de la Couverture de WoS et de Scopus des publications scientifiques de chaque département de Polytechnique Montréal entre 2010 et 2021. | 139 |
| Tableau C.1 : En-têtes des colonnes des métadonnées de Web of Science. | 141 |
| Tableau C.2 : En-têtes des colonnes des métadonnées de <i>PolyPublie</i> | 144 |
| Tableau D.1 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SCIE. | 145 |
| Tableau D.2 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SSCI. | 149 |
| Tableau D.3 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation AHCI. | 150 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 2.1 : Représentation visuelle de la recherche multidisciplinaire. | 21 |
| Figure 2.2 : Représentation visuelle de la recherche interdisciplinaire. | 22 |
| Figure 2.3 : Représentation visuelle de la recherche transdisciplinaire. | 23 |
| Figure 2.4 : Représentation visuelle des différents types de collaborations disciplinaires. | 24 |
| Figure 3.1 : Méthodes de mesure utilisées et BDB correspondantes. | 41 |
| Figure 4.1 : Évolution du nombre de PCG et de PCSS sur la période d'étude. | 69 |
| Figure 4.2 : Évolution de la proportion des PCG et des PCSS sur la période d'étude. | 70 |
| Figure 4.3 : Comptage unitaire des publications selon la catégorie de professeur-chercheur. | 71 |
| Figure 4.4 : Répartition des publications scientifiques selon le nombre d'auteurs. | 72 |
| Figure 4.5 : Comptage fractionné de la contribution des PCG et des PCSS. | 74 |
| Figure 4.6 : Comptage fractionné de la production des PCG et des PCSS sur la période d'étude. | 75 |
| Figure 4.7 : Répartition des publications scientifiques, selon le type, sur la période d'étude. | 76 |
| Figure 4.8 : Comparaison du nombre de travaux et du nombre de professeurs-chercheurs. | 77 |
| Figure 4.9 : Nombre annuel moyen de travaux par professeur-chercheur. | 78 |
| Figure 4.10 : Répartition des travaux entre les PCG et les PCSS. | 79 |
| Figure 4.11 : Proportion annuelle des travaux des PCG et des PCSS. | 80 |
| Figure 4.12 : Répartition des travaux entre les PCG et les PCSS selon le type de travail. | 81 |
| Figure 4.13 : Répartition des travaux selon le nombre de professeurs-chercheurs. | 81 |
| Figure 4.14 : Proportion annuelle des travaux réalisés en codirection. | 82 |
| Figure 4.15 : Répartition des publications entre les PCG et les PCSS selon l'index de citation... .. | 85 |
| Figure 4.16 : Proportion annuelle des publications des PCSS indexées dans le SCIE. | 86 |
| Figure 4.17 : Proportion annuelle des publications des PCG indexées dans le SSCI. | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figure 4.18 : Répartition des WC associés aux publications scientifiques selon l'index de citation. | 89 |
| Figure 4.19 : Proportion des publications des PCSS associées à un WC du SCIE..... | 90 |
| Figure 4.20 : Proportion des publications des PCG associés à un WC du SSCI. | 92 |
| Figure 4.21 : Répartition des références selon l'index de citation. | 94 |
| Figure 4.22 : Proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes du SCIE. | 96 |
| Figure 4.23 : Proportion annuelle des citations des PCG provenant des revues savantes du SSCI. | 97 |
| Figure 4.24 : Répartition des WC associés aux références selon l'index de citation. | 98 |
| Figure 4.25 : Proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes du SCIE. | 100 |
| Figure 4.26 : Proportion annuelle des citations des PCG provenant de revues savantes du SSCI. | 102 |
| Figure 4.27 : Répartition des travaux en codirection selon le nombre de professeurs-chercheurs. | 103 |
| Figure 4.28 : Proportion annuelle des travaux interdisciplinaires sur la période d'étude. | 106 |
| Figure E.1 : Représentation visuelle en deux dimensions des relations disciplinaires de notre échantillon | 151 |

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | |
|-------|---|
| ACS | Association des communicateurs scientifiques du Québec |
| AHCI | Arts & Humanities Citation Index |
| BCAPG | Bureau canadien d'agrément des programmes de génie |
| BDB | Base de données bibliographiques |
| BDI | Base de données institutionnelles |
| CCRD | Classification canadienne de la recherche et développement |
| CRSH | Conseil de recherches en sciences humaines du Canada |
| CRSNG | Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada |
| DDR | Domaines de recherche |
| ÉTS | École de technologie supérieure |
| IDR | Recherche interdisciplinaire (<i>Interdisciplinary scientific research</i>) |
| ISI | Institute for Scientific Information |
| FRQ | Fonds de recherche du Québec |
| MAGI | Mathématiques et génie industriel |
| OIQ | Ordre des ingénieurs du Québec |
| PCG | Professeurs-chercheurs de génie |
| PCSS | Professeurs-chercheurs de sciences sociales |
| R&D | Recherche et développement |
| SC | Catégorie de sujet (<i>Subject areas</i>) |
| SCIE | Science Citation Index Extended |
| SSCI | Social Sciences Citation Index |
| WC | Domaine de recherche (<i>Web of Science Categories</i>) |
| WoS | Web of Science |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|---|-----|
| Annexe A Définitions du concept d'interdisciplinarité..... | 139 |
| Annexe B Étude interne sur la couverture des bases de données bibliographiques..... | 140 |
| Annexe C En-têtes des colonnes de métadonnées | 141 |
| Annexe D Domaines de recherche (WC) de Web of science | 145 |
| Annexe E Analyse des réseaux | 151 |

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de la recherche

Depuis le début des années 2000, les termes « interdisciplinaire » et « interdisciplinarité » apparaissent de plus en plus fréquemment dans le discours des instances impliquées dans l'établissement de politiques scientifiques. En 2003, *The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine* (NAS) située aux États-Unis s'est vue octroyer une subvention de 40 millions de dollars américains afin de saisir « le potentiel inexploité de la recherche interdisciplinaire » (NAS, 2005, p. 224). En 2012, le *Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada* (CRSNG) publie des lignes directrices permettant d'évaluer les demandes de recherche interdisciplinaire puisque « l'interdisciplinarité va en augmentant dans de nombreux domaines de recherche » (CRSNG, 2012, p. 1). En 2017, les *Fonds de recherche du Québec* (FRQ) lancent le programme de recherche *AUDACE* ayant pour but de financer les projets de recherche atypiques et innovants. L'interdisciplinarité fait partie des éléments qui doivent se retrouver dans les propositions de recherche. En ce sens, les projets doivent amener « des experts de disciplines différentes » à travailler ensemble (FRQ, 2016).

L'intérêt croissant pour le concept d'interdisciplinarité peut s'expliquer, en partie, par la complexité des grands défis auxquels la société contemporaine est confrontée. Parmi ces grands défis, mentionnons le développement ininterrompu des technologies numériques qui influencent « le rapport des êtres humains au monde » (FRQ, 2020, p. 14). Ce grand défi est complexe puisqu'il comporte plusieurs enjeux, notamment sociaux, environnementaux et technologiques. Afin de développer une compréhension fine de cet enjeu ainsi qu'un « sens critique pour éviter l'enivrement par la technologie » (FRQ, 2020, p. 14), la communauté scientifique mobilise les connaissances d'une variété de disciplines scientifiques. Cette mobilisation implique la collaboration entre des membres ayant une appartenance disciplinaire distincte en génie et en sciences sociales.

Dans le discours des instances impliquées, les termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire », et « transdisciplinaire » sont parfois utilisés de manière interchangeable pour décrire ces

collaborations entre des chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte¹. Dans notre étude, nous nous concentrons sur les activités de recherche dites « interdisciplinaires » qui sont reliées au concept d'interdisciplinarité. D'un point de vue épistémologique, le concept d'interdisciplinarité s'inscrit dans l'idéal d'une unité des connaissances scientifiques (Frodeman et al., 2012). Dans le milieu de la recherche universitaire, cet idéal d'unité s'opérationnalise par le biais d'initiatives de recherche qui permettent à des professeurs-chercheurs possédant une expertise dans différentes disciplines de partager des connaissances. Le mode de recherche interdisciplinaire diffère de celui couramment utilisé dans le milieu universitaire. Au sein des universités, les activités de recherche sont généralement réparties entre plusieurs facultés. Par exemple, les activités de recherche de la faculté d'ingénierie portent sur des disciplines de l'ingénierie (industriel, mécanique, civil) alors que celles de la faculté des sciences sociales portent sur des disciplines reliées aux sciences sociales (sciences économiques, psychologie, sociologie). Ce mode de recherche entraîne le développement d'une culture disciplinaire propre à chaque faculté, ce qui peut limiter la collaboration entre professeurs-chercheurs de différentes disciplines (Endrizzi, 2017; Fortier, 2002; Morin, 1994).

Les ingénieurs se trouvent au cœur du développement des technologies numériques. Leur rôle ne se limite plus seulement à la compréhension et à la maîtrise des enjeux techniques, mais aussi à la maîtrise et à la compréhension des enjeux sociaux, ce qui fait ressortir le caractère interdisciplinaire de la profession d'ingénieur. Au Canada, les programmes de premier cycle en ingénierie s'adaptent à cette réalité en intégrant graduellement des connaissances provenant de différentes disciplines des sciences sociales. En effet, en 2014, *Ingénieurs Canada*, par le biais du *Bureau canadien d'agrément des programmes de génie* (BCAPG) impose une norme d'agrément selon laquelle les programmes de premier cycle doivent favoriser, chez la relève en ingénierie, l'acquisition de compétences en matière de professionnalisme, de déontologie, d'équité, et de communication (BCAPG, 2019). Soulignons que cette nouvelle norme porte uniquement sur les programmes de premier cycle. Les activités de recherche scientifique menées dans les programmes de deuxième et de troisième cycle en ingénierie ne sont pas soumises à cette norme. Or, si l'interdisciplinarité entraîne une révision des programmes de formation, nous nous interrogeons sur son importance ainsi que ses effets sur les activités de recherche en ingénierie menées dans les universités.

¹ Les termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire » et « transdisciplinaire » sont distingués dans la section 2.3.

1.2 Mesurer l'interdisciplinarité

L'établissement de politiques scientifiques supportant le concept d'interdisciplinarité et les initiatives de recherche interdisciplinaire s'accompagne d'objectifs pour lesquels il est nécessaire de définir des indicateurs de performance (Larivière & Sugimoto, 2018). Dans un récent rapport, les FRQ recommandent de « faire le point sur l'interdisciplinarité dans les programmes de formation universitaire » (FRQ, 2020, p. 80). Cette recommandation est alignée avec l'objectif de « dresser un état des lieux sur l'interdisciplinarité dans les programmes de formation universitaire et explorer la possibilité d'associer plus étroitement des disciplines distinctes dans l'offre de programmes et de cours pouvant bénéficier d'une telle association » (FRQ, 2020, p. 94).

Plusieurs auteurs, notamment Larivière et Sugimoto (2018), Wagner et al. (2011), et Zwanenburg et al. (2022) s'entendent sur le fait que la majorité des indicateurs actuellement utilisés pour mesurer l'interdisciplinarité reposent sur des méthodes bibliométriques. Ces méthodes utilisent les métadonnées des publications scientifiques indexées dans des bases de données bibliographiques (BDB). Parmi les méthodes les plus répandues, mentionnons l'analyse des revues savantes ou encore l'analyse des références. Ces deux méthodes tentent de faire ressortir, dans les publications scientifiques, des éléments qui démontrent l'intégration de connaissances issues de plusieurs disciplines scientifiques.

L'utilisation de méthodes bibliométriques basées sur les publications scientifiques pour mesurer l'interdisciplinarité fait cependant l'objet de critiques de la part de certains auteurs. Klein (2008), Schummer (2004) et Wang et Schneider (2020) insistent notamment sur le fait que ces méthodes ne permettent de mesurer l'interdisciplinarité que des activités de recherche qui culminent par des publications dans des revues savantes. Sur cette question spécifique, il faut reconnaître que d'autres extrants existent et sont peu considérés, comme les brevets d'invention, les livres, les actes de colloques, les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat. De plus, les activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs des universités consistent non seulement en la production de nouvelles connaissances scientifiques, mais aussi en la formation de la relève en recherche par le biais de projets à la maîtrise et au doctorat. Ainsi, il apparaît que les méthodes actuellement utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité ne permettraient d'obtenir qu'une mesure partielle du caractère interdisciplinaire des activités de recherche menées dans les universités.

1.3 Objectif de l'étude et méthodologie

L'objectif de notre étude consiste à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales. Pour y arriver, nous utilisons un échantillon portant sur les activités de recherche de 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*, une université canadienne d'ingénierie située à Montréal, dans la province du Québec, au Canada. L'échantillon que nous analysons comprend 479 publications scientifiques et 319 travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat). Nous portons notre attention sur deux types d'activités de recherche : la production de nouvelles connaissances scientifiques et la formation de la relève en recherche. Pour caractériser l'interdisciplinarité des activités reliées à la production de nouvelles connaissances scientifiques, nous utilisons deux méthodes bibliométriques : l'analyse des revues savantes et l'analyse des références. Ces deux méthodes exploitent les métadonnées des publications scientifiques que nous retrouvons dans la BDB *Web of Science*. En complément de ces méthodes habituelles, nous utilisons une approche qui utilise une source de données beaucoup moins exploitée : les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat contenus dans une base de données institutionnelles. Plus particulièrement, nous analysons l'appartenance disciplinaire des professeurs-chercheurs impliqués dans la direction des travaux de maîtrise et de doctorat en codirection.

1.4 Plan du mémoire

Ce mémoire comprend six chapitres. Le Chapitre 2 consiste en une revue de la littérature reliée au concept d'interdisciplinarité. Dans cette revue, nous distinguons les différents types de collaboration disciplinaires à l'aide de la notion d'intégration de connaissances en plus de recenser plusieurs méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité des activités des recherches scientifiques. Dans le Chapitre 3, nous présentons la méthodologie utilisée dans notre projet d'étude. Elle comprend une description complète des trois méthodes bibliométriques que nous utilisons : l'analyse des revues savantes, l'analyse des références ainsi que l'analyse des codirections. Dans le Chapitre 4, nous présentons une analyse descriptive des résultats obtenus à l'aide des trois méthodes bibliométriques. Dans le Chapitre 5, nous discutons des contributions ainsi que des limites de notre étude en plus de proposer des avenues de recherche futures.

CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le Chapitre 2 consiste en une revue de la littérature en lien avec l'objectif de notre projet d'étude qui consiste à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie. Il se divise en quatre sections. Pour caractériser l'interdisciplinarité, nous débutons par contextualiser le concept dans l'environnement de la recherche universitaire. Ainsi, dans la première section, nous retraçons les grandes étapes du développement de l'enseignement supérieur occidental. Nous nous concentrons sur le modèle d'université de recherche puisque c'est celui sur lequel repose la majorité des universités nord-américaines contemporaines. Dans la seconde section, nous nous attardons à la structure disciplinaire des universités de recherche, et plus particulièrement à l'impact des « disciplines scientifiques » sur la dynamique des activités de recherche. Dans la troisième section, nous présentons une typologie des collaborations disciplinaires afin de dégager les caractéristiques de la recherche interdisciplinaire. Enfin, dans la quatrième et dernière section, nous posons les bases épistémologiques associées au concept d'interdisciplinarité avant de présenter différentes méthodes permettant de le mesurer.

2.1 Le modèle d'université de recherche

Plusieurs auteurs, notamment Bodelle et Nicolaon (1985), Giraldeau (2019) et Renaut (1995) s'entendent sur le fait que la majorité des universités nord-américaines contemporaines sont des universités de recherche. Il est nécessaire de bien comprendre l'origine et les concepts directeurs de ce modèle afin de saisir son influence sur la dynamique des activités de recherche contemporaines.

2.1.1 L'évolution de l'enseignement supérieur occidental

Les premières universités font leur apparition en Europe, au Moyen-Âge (Giraldeau, 2019; Meulemeester, 2011; Renaut, 1995). Dans sa forme médiévale, l'université est, d'abord et avant tout, un lieu d'enseignement (Giraldeau, 2019; Meulemeester, 2011). Elle est divisée en quatre facultés : les arts libéraux, le droit (canon et civil), la médecine et la théologie (Bernier, 2020; Giraldeau, 2019). Chaque étudiant doit d'abord obtenir un baccalauréat puis une maîtrise à la faculté des arts libéraux avant d'entamer un doctorat au sein de l'une des trois facultés supérieures (Bernier, 2020).

À partir du XVII^e, l'écosystème de l'enseignement supérieur européen est influencé par la pensée du philosophe allemand Wilhem Leibniz qui propose une vision utilitaire de la science (Meulemeester, 2011; Renaut, 1995). Selon cette vision, la science peut et doit être utilisée pour répondre à des besoins de la société. C'est ainsi qu'en parallèle des universités s'ajoutent des *Académies des sciences* au sein desquelles sont menées des activités de recherche appliquée, et des *Écoles professionnelles* qui assurent la formation d'une main-d'œuvre capable de répondre aux besoins de la société (Meulemeester, 2011; Renaut, 1995). Le développement des Académies et des Écoles se fait au détriment des universités. En effet, vers la fin du XVIII^e siècle, la majorité des universités françaises et allemandes sont fermées (Meulemeester, 2011; Renaut, 1995).

C'est dans ce contexte qu'au début du XIX^e siècle, le ministre de l'Éducation allemand Wilhem von Humboldt propose une réforme du système d'enseignement supérieur allemand. Cette réforme repose sur l'idée de réunir, au sein d'une seule et même institution, la fonction d'enseignement des Universités et des Écoles et la fonction de recherche des Académies. Cette réforme culmine par l'ouverture de l'*Université Humboldt de Berlin* en 1810. Cette université est reconnue comme la première « université de recherche ». Plusieurs auteurs, notamment Giraldeau (2019), Lessard (2012) et Renaut (1995) s'entendent sur le fait que le développement du système d'enseignement supérieur nord-américain est fortement influencé par le modèle de Von Humboldt. La toute première université de recherche aux États-Unis, la *Johns Hopkins University* est d'ailleurs fondée en 1876 (Bodelle & Nicolaon, 1985).

2.1.1.1 Les universités de recherche au Québec

Au Québec, les activités de recherche en milieu universitaire apparaissent d'abord à l'*Université McGill*. Au début des années 1870, la construction d'installations scientifiques d'envergure financées par des fonds privés permet à l'institution de mener des activités de recherche en ingénierie (Gagnon et al., 1991). Dès 1875, la Faculté des sciences appliquées de l'*Université McGill* décerne des diplômes de cycles supérieurs dans quatre disciplines d'ingénierie : génie civil, chimique, mécanique et minier (McGill, 2022). Il faut attendre la fin des années 1930 avant que des activités de recherche en ingénierie apparaissent dans les universités francophones. En 1938, le Gouvernement du Québec octroi les fonds nécessaires à l'Université Laval pour ouvrir une École des mines. Cette École, en plus d'assurer la formation d'ingénieur minier, permet de mener des activités de recherche sur les procédés miniers (Gagnon et al., 1991).

Lors de sa fondation en 1873, *Polytechnique Montréal* est d'abord connue sous le nom d'*École Polytechnique de Montréal*. Avant d'être une université de recherche, *Polytechnique Montréal* est une école professionnelle assurant la formation d'étudiantes et d'étudiants souhaitant exercer la profession d'ingénieur civil. La recherche scientifique ne s'est institutionnalisée à *Polytechnique Montréal* qu'au début des années 1940 avec l'arrivée d'un premier chercheur, Georges Welter (Gagnon et al., 1991). À son arrivée, Welter assure l'implantation et le développement d'un laboratoire de résistance des matériaux. Au fil du temps, les activités de recherche prennent de l'ampleur à *Polytechnique Montréal*. L'université compte aujourd'hui plus de 284 professeurs-chercheurs et plus de 2 000 étudiants aux cycles supérieurs (2022b). Ce n'est qu'en 2006 que l'institution adopte officiellement le nom *Polytechnique Montréal* ce qui permet de rendre compte du rôle d'université de recherche plutôt que d'école professionnelle.

2.1.2 Les concepts directeurs du modèle d'université de recherche

Puisque la majorité des universités nord-américaines sont des universités de recherche, il est pertinent de mettre en évidence les concepts directeurs sur lesquels repose ce modèle. Lessard (2012), Renaut (1995) et Favre (1973) s'entendent sur le fait que l'unité de l'enseignement et de la recherche et l'autonomie institutionnelle sont les deux principaux concepts directeurs.

2.1.2.1 L'unité de l'enseignement et de la recherche

L'université de recherche regroupe, au sein d'une seule et même institution, l'ensemble des connaissances existantes, théoriques et pratiques. Renaut (1995) insiste sur le fait que « le terme d'université ne désigne plus, comme l'université médiévale, une corporation, mais il s'applique désormais à une réunion systématique des différents domaines de la connaissance et des sciences qui leur correspondent » (Renaut, 1995, p. 68). La fonction d'enseignement permet de partager les connaissances existantes tandis que la fonction recherche permet d'assurer la production de nouvelles connaissances scientifiques (Lessard, 2012). L'unité des connaissances s'incarne par la création d'un nouveau rôle : celui de professeur-chercheur. Le professeur-chercheur assume simultanément les fonctions d'enseignement et de recherche. Cette unité est également percevable à travers le fait que la science est centrale aux fonctions d'enseignement et de recherche. L'apprentissage de la méthode scientifique permet d'assurer la formation des étudiants et son utilisation permet de produire de nouvelles connaissances (Lessard, 2012).

2.1.2.2 L'autonomie institutionnelle

L'université de recherche est autonome. À l'interne, cette autonomie se traduit par le fait que les professeurs-chercheurs sont libres « de s'adonner aux travaux [d'enseignement et de recherche] de leur choix », et ce, « dans les domaines qui les intéressent » (Favre, 1973, p. 229). Renaut (1995) insiste d'ailleurs sur le fait que l'autonomie du professeur-chercheur « est une condition essentielle de sa créativité; elle n'est limitée que par les règles de la méthode scientifique et par celles qui régissent le débat entre les pairs » (Renaut, 1995, p. 36). Les étudiants sont également autonomes dans le choix des enseignements qu'ils suivent (Lessard, 2012). À l'externe, l'université de recherche bénéficie d'une autonomie institutionnelle en regard de l'État qui s'exprime par la liberté académique (Lessard, 2012). Ainsi, la seule tâche de l'université consiste à « rechercher la vérité comme telle » (Renaut, 1995, p. 68). « Par la recherche fondamentale, elle [l'université] permet de comprendre le monde, et par la recherche appliquée, d'agir sur lui » (Lessard, 2012, p. 3).

2.1.3 L'organisation disciplinaire des universités de recherche

Comme mentionné précédemment, le modèle d'université de recherche repose sur l'idée selon laquelle on retrouve, au même endroit, l'ensemble des connaissances existantes, théoriques et pratiques. Les connaissances étant nombreuses et diversifiées, l'université de recherche se structure habituellement à l'aide de plusieurs facultés (Hurtubise, 1973). Chaque faculté correspond à un domaine de la connaissance (faculté de médecine, faculté de génie, faculté des sciences humaines). À l'intérieur de chaque faculté, on retrouve plusieurs départements. Les départements correspondent à une « discipline scientifique ». Par exemple, au sein de la faculté de génie, nous pouvons retrouver un département de génie industriel, de génie mécanique et un département de génie civil. Au sein de chaque département, on retrouve plusieurs professeurs-chercheurs possédant une expertise en lien avec la « discipline scientifique » du département. Nous reviendrons plus en détail sur la notion de « discipline scientifique » dans la section 2.2 de la revue de la littérature.

2.1.4 Les trois cycles d'étude universitaire

L'université de recherche se compose de trois cycles d'études. Les programmes de premier cycle visent l'acquisition des connaissances propres à une discipline (UQO, 2022). La complétion d'un programme de premier cycle permet d'obtenir un diplôme de baccalauréat. L'obtention d'un diplôme de premier cycle permet d'accéder aux programmes des cycles supérieurs (deuxième et

troisième cycle). Les programmes de deuxièmes cycles comprennent notamment les programmes de maîtrise professionnelle et de maîtrise recherche. La maîtrise professionnelle permet d'acquérir des connaissances spécialisées relatives à une discipline par la complétion de cours supplémentaires. La maîtrise recherche consiste en la réalisation d'un projet de recherche original. Enfin, le troisième cycle se concentre sur les activités de recherche ayant pour objectif de contribuer à l'avancement des connaissances. La complétion d'un programme de troisième cycle permet d'obtenir un diplôme de doctorat. Comme le précise Hurtubise (1973), « il appartient aux spécialistes des disciplines ou des champs d'études de déterminer les exigences des divers niveaux d'activité professionnelle et de situer sur un, deux ou trois cycles les programmes de formation qui y correspondent » Hurtubise (1973, p. 75). Les professeurs-chercheurs, par la direction de projets à la maîtrise et au doctorat, assurent la formation de la relève en recherche. Pour les étudiants-chercheurs, l'obtention d'un diplôme de maîtrise implique la rédaction d'un mémoire et l'obtention d'un diplôme de doctorat, la rédaction d'une thèse.

2.1.5 La production de nouvelles connaissances scientifiques

L'*Organisation de coopération et de développement économique* (OCDE) distingue deux principaux types de recherche.

- **La recherche fondamentale** : « consiste en des travaux de recherche expérimentaux ou théoriques entrepris principalement en vue d'acquérir de nouvelles connaissances sur les fondements des phénomènes et des faits observables, sans envisager une application ou une utilisation particulière » (OCDE, 2016, p. 424).
- **La recherche appliquée** : « consiste en des travaux de recherche originaux entrepris en vue d'acquérir de nouvelles connaissances et dirigés principalement vers un but ou un objectif pratique déterminé » (OCDE, 2016, p. 424)

Cette distinction entre recherche fondamentale et appliquée rejoint la distinction des modes de production de connaissances scientifiques proposée par le sociologue anglais Michael Gibbons. Ce dernier distingue le « mode-1 » et le « mode-2 ». Dans le mode-1, « les problèmes sont définis et résolus dans un contexte régi par les intérêts, largement académiques, d'une communauté spécifique » (Gibbons, 1994, p. 65). Dans le mode-2 « les problèmes sont définis et résolus dans

un contexte d'application » (Gibbons, 1994, p. 65). Le mode-1 est considéré comme étant disciplinaire tandis que le mode-2 est considéré comme étant transdisciplinaire.

La distinction proposée par Gibbons ne fait cependant pas consensus. Selon Heilbron et Gingras (2015, p. 6), la distinction entre recherche disciplinaire (mode-1) et recherche transdisciplinaire (mode-2) « manque de fondement historique et empirique ». Une critique que l'on retrouve également dans les propos de Godin et Trépanier qui mentionnent que le livre dans lequel Michael Gibbons intitulé *The New Production of Knowledge* et dans lequel il présente la distinction entre le mode-1 et le mode-2 « n'est pas un livre savant, mais plutôt un écrit normatif qui présente la connaissance comme certains voudraient bien qu'elle soit » (Godin & Trépanier, 2000, p. 13). Nous reviendrons sur la distinction entre le mode-1 et le mode-2 dans la section 2.3.6.

2.1.6 Les activités de recherche à l'université

Dans cette première section de la revue de la littérature, nous nous sommes concentrés sur la compréhension du modèle d'université de recherche sur lequel repose la grande majorité des universités nord-américaines. Ce modèle s'articule autour de la réunion des fonctions d'enseignement et de recherche au sein du rôle de professeur-chercheur. Ainsi, l'université contemporaine « est investie d'une triple mission : diffuser les connaissances, les préserver, en créer de nouvelles » (Favre, 1973, p. 230). Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement aux activités de recherche qui comprennent non seulement la production de nouvelles connaissances, mais également la formation de la relève en recherche : les étudiants-chercheurs dans les programmes de deuxième et de troisième cycle. Dans notre étude, notre objectif consiste à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances, et à la formation de la relève étudiante en recherche.

Dans la section 2.1, nous mettons également en évidence le fait que l'université de recherche se structure à l'aide de plusieurs facultés. Les activités de recherche de chaque faculté se concentrent généralement sur une seule « discipline scientifique ». Dans la prochaine section de la revue de la littérature, nous explicitons la notion de « discipline scientifique » afin d'en faire ressortir les effets sur la dynamique des activités de recherche en milieu universitaire.

2.2 Les disciplines scientifiques

Dans la seconde partie de la revue de la littérature, nous cherchons à comprendre la notion de « discipline scientifique », et plus particulièrement l'impact de la division des connaissances scientifiques sur la dynamique des activités de recherche en milieu universitaire. Cette section rejoint les propos de plusieurs auteurs, notamment ceux de Wagner et al. (2011) qui déplorent le fait que peu d'articles sur le concept d'interdisciplinarité débutent par une définition de la notion de discipline scientifique, ou encore du psychologue allemand Heinz Heckausen qui souligne que « si l'on veut préciser le sens vague qui s'attache au terme *interdisciplinarité*, il faut d'abord savoir exactement ce qu'est une discipline » (Heckausen, 1972, p. 83). De son côté, la professeure en gestion Isabelle Fortier insiste sur le fait qu'« avant de parler de multidisciplinarité ou d'interdisciplinarité, il faut bien comprendre la disciplinarité » (Fortier, 2002, p. 1).

2.2.1 La division des connaissances scientifiques

Le fait de diviser ou encore d'organiser les connaissances scientifiques n'est pas chose récente (Kleinpeter, 2013). Plusieurs auteurs, notamment Claverie (2010), Piaget (1967) ou encore Weingart (2012) s'entendent sur le fait que, dès l'Antiquité, les penseurs grecs divisent les connaissances en plusieurs classes. Aristote distinguait quatre types de connaissance : « la science (épistémè) basée sur les causes, l'opinion (doxa) basée sur des opinions subjectives, de la technologie (techne) et des arts (ars) qui construit et crée à partir des connaissances scientifiques » (Frodeman et al., 2012, p. 3). Au fil des siècles, plusieurs philosophes des sciences, notamment Francis Bacon, René Descartes, et Auguste Comte proposeront successivement leur propre système de classification des connaissances scientifiques (Piaget, 1967).

Selon Fortier (2002), Frodeman et al. (2012) et Klein (1990), la division des connaissances en « disciplines scientifiques » s'est institutionnalisée grâce au développement du modèle d'université de recherche. Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'université de recherche s'organise à l'aide de facultés et de départements. Les activités d'enseignement et de recherche de chaque département portent généralement sur une seule « discipline scientifique ». Selon la chercheuse en sciences de l'éducation Laure Endrizzi, la « discipline scientifique » s'est imposée comme « un mode de répartition du travail » (Endrizzi, 2017, p. 1); chaque professeur-chercheur se concentrant sur des activités d'enseignement et de recherche propre à sa discipline d'appartenance. Puisque

« nul n'est savant dans tout » comme tient à le rappeler Claverie (2010, p. 5), le fait de diviser les connaissances en départements permet également de circonscrire le champ d'expertise de chaque professeur-chercheur.

2.2.2 Les systèmes de classification disciplinaire

La notion de « discipline scientifique » est aujourd'hui largement répandue. Voici des exemples de parties prenantes reliées aux activités de recherche en milieu universitaire qui utilisent la notion de « discipline scientifique » :

- Les trois principales BDB permettant de recenser les publications scientifiques s'organisent autour de « disciplines scientifiques ». *Web of Science (WoS)* utilise un système de classification comportant 252 disciplines (Birkle et al., 2020; Clarivate Analytics, 2021c). *Scopus*, utilise un système de classifications comportant 27 disciplines et plus de 300 sous-disciplines (Baas et al., 2020; Scopus, 2020). *Dimensions* utilise un système de classification comportant 22 domaines de recherche (Dimensions, 2022)².
- Dans la sixième édition du *Manuel de Frascati* (2016), l'OCDE propose une classification des activités de recherche et de développement (R&D) selon six domaines : « sciences naturelles; ingénierie et technologie; sciences médicales; sciences agricoles; sciences sociales; sciences humaines et arts » (OCDE, 2016, p. 63). À l'intérieur de ces six domaines, nous retrouvons 42 « disciplines scientifiques » différentes.
- *Statistique Canada* se base sur le système de classification disciplinaire recommandé par l'OCDE pour établir la *Classification canadienne de la Recherche et Développement* (CCRD) (2020). Les 6 domaines de recherche (DDR) reconnus par *Statistique Canada* sont : Sciences naturelles (RDF10); Génie et technologies (RDF20-21); Sciences médicales et de la santé (RDF30); Sciences agricoles et vétérinaires (RDF40); Sciences sociales (RDF50); Sciences humaines et arts (RDF60). Les DDR sont redivisés en 1663 disciplines.

Si l'organisation des connaissances scientifiques à l'aide de la notion de « discipline scientifique » semble bien ancrée dans la communauté scientifique contemporaine, elle ne fait cependant pas

² Une description plus détaillée du fonctionnement de ces trois BDB est présentée dans la section 3.3.

consensus. En effet, nous remarquons un nombre différent de « disciplines scientifiques » entre les systèmes de classification disciplinaire proposés par *WoS*, *Scopus*, l'*OCDE* et le *CCRD*. Pour comprendre ce qui peut expliquer cette variation du nombre de « disciplines scientifiques », il faut revenir à la définition même de cette notion.

2.2.3 Définir la « discipline scientifique »

Selon le *Larousse*, et dans le contexte qui nous intéresse, une *discipline* est « une branche de la connaissance pouvant donner matière à un enseignement ». Le *Larousse* propose également une définition alternative selon laquelle une *discipline* correspond à « un ensemble de lois, d'obligations qui régissent une collectivité et destinée à y faire régner l'ordre ». Dans la littérature scientifique, aucune définition de la notion de « discipline scientifique » ne semble faire consensus. Les auteurs qui s'intéressent aux collaborations disciplinaires proposent généralement leur propre définition. Dans le Tableau 2.1, page, suivante, nous présentons certaines de ces définitions.

Tableau 2.1 : Différentes définitions de la notion de « discipline scientifique ».

| Auteurs | Définitions |
|---------------------------|---|
| Berger (1972, p. 23) | « Un ensemble spécifique de connaissances qui a ses caractéristiques propres sur le plan de l'enseignement, de la formation, des mécanismes, des méthodes et des manières ». |
| Kockelmans (1979, p. 127) | « Une branche de l'apprentissage ou un domaine d'étude caractérisé par un ensemble de connaissances acceptables sur le plan intersubjectif, se rapportant à un domaine d'entités bien défini, établi systématiquement sur la base de principes généralement acceptés à l'aide de règles ou de procédures méthodiques ». |
| Klein (1990, p. 68) | « Désigne les outils, les méthodes, les procédures, les concepts et les théories qui permettent de rendre compte de manière cohérente un ensemble d'objets ou de sujets ». |
| Morin (1994) | « Une catégorie organisationnelle au sein de la connaissance scientifique; elle y institue la division et la spécialisation du travail et elle répond à la diversité des domaines que recouvrent les sciences ». |

Des définitions du Tableau 2.1, retenons l'idée que l'ensemble des connaissances scientifiques sont divisées en plusieurs parties; en plusieurs disciplines différentes. Chaque discipline scientifique comprend des connaissances (des outils, des méthodes, des procédures et des concepts) qui permettent d'étudier un sujet précis. Ainsi, la discipline scientifique se définit non seulement par les connaissances qu'elle englobe, mais aussi par son sujet d'étude. Des disciplines peuvent avoir le même sujet d'étude, sans toutefois utiliser les mêmes connaissances. De même, certaines disciplines peuvent utiliser les mêmes outils et méthodes, mais de manière différente.

Des auteurs comme Boden (1999), Fabiani (2012) et Frodeman et al. (2012) soutiennent l'idée que la notion de discipline scientifique n'est pas fixe. En ce sens, la production de nouvelles connaissances scientifiques entraîne la disparition et la création de disciplines scientifiques. Boden (1999) souligne « le caractère glissant » des disciplines scientifiques puisque celles-ci peuvent être amenées à changer (Boden, 1999, p. 14). Cette position rejoint celle de Frodeman et al. (2012) qui mentionnent que « comme tout autre fait social, les disciplines sont sujettes à des changements, même s'ils ne sont généralement que graduels » (Frodeman et al., 2012, p. 10). Fabiani (2012, p. 133) va plus loin et avance qu'« une discipline n'existe pas en soi »; elle n'est autre qu'une « convention provisoire » qui trouve sa légitimité dans le fait « qu'elle permet de penser conjointement l'organisation et la recherche et de l'enseignement » (Endrizzi, 2017, p. 2).

2.2.4 Le caractère autonome des disciplines scientifiques

L'analyse des définitions présentées dans le Tableau 2.1 permet de mettre en évidence le fait que chaque discipline scientifique possède ses propres outils, méthodes, procédures et concepts. Ces éléments permettent de circonscrire les limites de chaque discipline scientifique. Ainsi, comme le soutiennent Fortier (2002) et Morin (1994), chaque discipline scientifique vient à développer son propre « langage », et ultimement, sa propre « culture disciplinaire ». Si bien qu'avec le temps, la discipline scientifique tend vers l'autonomie (Kleinpeter, 2013; Morin, 1994). L'historien des sciences canadien Yves Gingras soutient l'idée que le fonctionnement de l'université de recherche contribue à l'autonomisation des disciplines. En effet, « la création de départements identifiés à des disciplines donne plus d'autonomie aux professeurs qui, au fil des ans, construisent des programmes et favorisent l'engagement de professeurs en fonction de leurs propres besoins plutôt que de ceux de l'institution » (Gingras, 1991, p. 46).

2.2.5 Les frontières disciplinaires

Le sociologue français Edgar Morin insiste sur le fait que l'augmentation de l'autonomie des disciplines scientifiques en lien avec le développement d'un langage et d'une culture disciplinaire propre à chacune peut avoir un impact sur la dynamique des activités de recherche. Pour illustrer son propos, il compare les frontières disciplinaires aux frontières entre des pays. Les pays avec des frontières communes ont des cultures généralement semblables, ce qui favorise les échanges économiques et les rencontres culturelles. Les échanges entre des pays qui ne se trouvent pas sur le même continent peuvent cependant se compliquer en raison d'une barrière de langue. De la même façon, des disciplines scientifiques peuvent partager des frontières disciplinaires, ce qui favorise l'échange de connaissances. Par exemple, la discipline du génie industriel partage des frontières avec les autres disciplines du génie (mécanique, civil, chimique). D'un premier regard, le génie industriel apparaît bien différent des sciences sociales. Comme le souligne Fortier (2002) en l'absence d'une volonté d'échange entre ces deux disciplines, le partage de connaissances peut être compromis en raison d'une « incompréhension mutuelle » (Fortier, 2002, p. 1).

Plusieurs auteurs, notamment Claverie (2010), Fortier (2002), Gingras (1991) et Morin (1994) soutiennent le fait que la division des connaissances en plusieurs disciplines scientifiques a un impact sur la dynamique des activités de recherche. L'université de recherche permet d'acquérir une formation disciplinaire. Dans les programmes de premier cycle, l'étudiant acquiert des connaissances générales (des outils, des méthodes, des procédures et des concepts) relatives à la discipline du département dans lequel il est inscrit. S'il poursuit au niveau des cycles supérieurs, l'étudiant-chercheur va se familiariser avec les méthodes de recherche de sa discipline. S'il devient professeur-chercheur au terme de la complétion d'un diplôme de doctorat, il n'est pas surprenant qu'il poursuive des activités de recherche en lien avec la discipline du département dans lequel il a été formé (Gingras, 1991). Il se concentre alors sur l'étude d'aspects pointus de sa discipline. Cette tendance « vers le plus petit, le plus précis, le plus réduit » comme l'illustre Claverie (2010, p. 18) peut conduire, selon Morin (1994), à « une hyperspécialisation du chercheur ». Cette hyperspécialisation crée « un réflexe de protection du territoire de connaissances » qui limite la collaboration entre chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte selon Fortier (2002, p. 1).

2.2.6 L'impact des disciplines scientifiques

Si la notion de discipline scientifique est omniprésente dans l'écosystème de la recherche scientifique, elle ne fait cependant pas l'objet d'un consensus. La revue de la littérature met en évidence le fait que plusieurs systèmes de classification disciplinaire coexistent. Ces systèmes se distinguent les uns des autres par un nombre différent de disciplines. Ce nombre différent peut s'expliquer par une divergence d'opinions en regard de ce qui permet de définir une discipline scientifique. Elle peut aussi être attribuable au fait que le développement continu des connaissances scientifiques nécessite une mise à jour régulière des systèmes de classification (Schummer, 2004).

La notion de discipline scientifique est intrinsèque au modèle d'université de recherche qui s'organise en facultés et en départements dont les activités de recherche portent généralement sur une seule discipline. Au sein de l'université de recherche, les disciplines scientifiques permettent également de délimiter le champ d'expertise des professeurs-chercheurs. L'organisation foncièrement disciplinaire de l'université favorise les activités de recherche disciplinaire qui reposent sur la collaboration entre professeurs-chercheurs d'une même discipline. Il en résulte le développement de différentes cultures disciplinaires qui limitent les échanges entre les disciplines scientifiques. Les collaborations entre professeurs-chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte sont décrites à l'aide d'une typologie comprenant les termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire », et « transdisciplinaire » qui fait l'objet de la section suivante.

2.3 Typologie des collaborations disciplinaires

Dans l'introduction, nous mentionnons que la complexité des grands défis auxquels la société contemporaine est confrontée entraîne une remise en question du mode de fonctionnement traditionnellement disciplinaire des activités de recherche en milieu universitaire. Pour développer une compréhension fine des multiples enjeux de ces grands défis, la communauté scientifique mobilise des connaissances scientifiques issues de plusieurs disciplines. Ainsi, la collaboration entre chercheurs d'appartenance disciplinaire s'impose. Ces collaborations sont décrites à l'aide d'une typologie comprenant les termes « multidisciplinaires », « interdisciplinaires », et « transdisciplinaires ». Dans la section 2.3, nous distinguons ces différents termes à l'aide de la notion d'« intégration », explicitée dans la sous-section 2.3.3.

2.3.1 D'un point de vue étymologique

Avant d'entrer dans les définitions formelles des différents types de collaborations disciplinaires, il est intéressant de les étudier d'un point de vue étymologique. Les termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire » et « transdisciplinaire » se distinguent par leur préfixe. Le dictionnaire *Usito* conçu et réalisé par l'*Université de Sherbrooke* propose une définition pour chacun de ces différents préfixes. Elles sont présentées dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Définitions des préfixes multi-, inter-, et trans-³.

| Préfixes | Définitions |
|-----------------|--|
| Multi – | Indique l'idée de pluralité, d'un grand nombre de choses ou de personnes. |
| Inter – | Indique une relation de communauté, de partage entre deux ou plusieurs éléments. |
| Trans – | Indique l'idée d'être situé au-delà de quelque chose, par-delà quelque chose. |

Dans les définitions présentées au Tableau 2.2, mentionnons le fait que les préfixes « multi– » et « inter– » suggèrent la présence de plusieurs disciplines scientifiques. Dans le contexte de notre étude, cela renvoie au fait que plusieurs disciplines sont impliquées dans une activité de recherche. Le préfixe « trans– » renvoie à l'idée que l'on est au-delà de l'organisation disciplinaire des connaissances scientifiques. Cela renvoie au fait que l'activité de recherche sort du contexte universitaire. Ceci rejoint la distinction du sociologue Micheal Gibbons présentée dans la section 2.1.5 qui distinguait deux modes de conduite des activités de recherche : le mode-1 dans lequel les problèmes sont définis et résolus dans un contexte régi par des intérêts académiques et le mode-2 qui s'inscrit dans un contexte d'application externe au milieu universitaire.

³ Il est possible de consulter le dictionnaire *Usito* en cliquant sur le lien suivant : <https://usito.usherbrooke.ca/>.

2.3.2 D'un point de vue historique

Plusieurs auteurs s'entendent sur le fait que les premiers travaux de recherche entourant les collaborations disciplinaires dans le contexte des activités de recherche menées en milieu universitaire remontent aux années 1970 (Frodeman et al., 2012; Kleinpeter, 2013; Lattuca, 2001; Wagner et al., 2011). En 1972, l'OCDE en partenariat avec le *Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement* du *Ministère Français de l'Éducation Nationale* organise un séminaire portant sur « les problèmes de l'interdisciplinarité dans l'enseignement supérieur » (Apostel, 1972, p. 21). Durant cette conférence, les participants s'entendent sur le fait que « tout enseignement universitaire, et dans une moindre mesure, toute recherche, se présente selon l'un ou l'autre de ces cas de figure » (Berger, 1972, p. 23) et convergent vers une première définition formelle des termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire », et « transdisciplinaire ». Ces définitions sont présentées ci-dessous.

- **Multidisciplinaire** : « juxtaposition de disciplines diverses, parfois sans rapport apparent entre elles » (Michaud, 1972, p. 23).
- **Interdisciplinaire** : « interaction existant entre deux ou plusieurs disciplines : cette interaction peut aller de la simple communication des idées jusqu'à l'intégration mutuelle de concepts directeurs, de l'épistémologie, de la terminologie, de la méthodologie, des procédures, des données et de l'organisation de la recherche et e l'enseignement s'y rapportant » (Michaud, 1972, p. 23).
- **Transdisciplinaire** : « mise en œuvre d'une axiomatique commune à un ensemble de disciplines » (Michaud, 1972, p. 23).

Dans les définitions ci-dessus, nous portons attention à certains mots-clés. Dans celle de la recherche « multidisciplinaire », le terme « juxtaposition » renvoie à l'idée de choses qui sont placées les unes à côté des autres, sans toutefois avoir de liens entre elles. La définition du terme « interdisciplinaire » insiste sur l'idée qu'il y a une interaction entre des disciplines. Cette interaction mène à l'intégration de connaissances. Dans la définition du terme « transdisciplinaire », le terme « axiomatique » renvoie à l'idée que les disciplines partagent plus que des outils, des méthodes ou des procédures, mais bien des théories et des concepts. Ces trois définitions servent de point de départ aux travaux de plusieurs auteurs qui s'intéressent à la recherche interdisciplinaire.

2.3.3 L'intégration des connaissances

Parmi les auteurs qui s'intéressent aux collaborations disciplinaires, Frodeman et al. (2012), Klein (2011); Lattuca (2001), et Wagner et al. (2011) s'entendent sur le fait que c'est la notion d'« intégration » que l'on retrouve dans la définition de la recherche « interdisciplinaire » proposée par Michaud (1972) qui permet de distinguer la « recherche multidisciplinaire » de la « recherche interdisciplinaire ». Revenons à la définition de la notion de discipline scientifique présentée à la section 2.2.3. Selon cette définition, chaque discipline scientifique comprend un ensemble de connaissances. Cet ensemble de connaissances comprend des outils, des méthodes, des procédures et des concepts qui permettent d'étudier un sujet précis. La notion d'intégration renvoie à l'idée qu'une discipline utilise les outils, les méthodes, les procédures ou bien les concepts d'une autre discipline (Frodeman et al., 2012; Klein, 2011; Lattuca, 2001; Wagner et al., 2011). Ainsi, l'intégration est un processus intellectuel qui repose sur l'assimilation de connaissances.

2.3.3.1 Un processus collectif ou bien individuel

Wagner et al. (2011) soutiennent l'idée selon laquelle l'intégration est un processus qui peut aussi bien survenir sur une base individuelle que collective. Cette position mitoyenne ne fait pas l'objet d'un consensus. D'un côté, nous retrouvons des auteurs comme Boden (1999), Lattuca (2001), Roy (1979) et Ruegg (1999) qui perçoivent l'intégration comme un processus collectif. Le sociologue suisse Walter Ruegg (1999) insiste d'ailleurs sur le fait que, lorsque nous parlons de collaborations disciplinaires, « ce ne sont pas les disciplines qui travaillent ensemble, mais les individus » (Ruegg, 1999, p. 29). Selon ce point de vue, l'intégration de connaissances nécessite des interactions entre des chercheurs afin d'assurer une assimilation complète et juste des connaissances.

De l'autre, nous retrouvons des auteurs comme Porter et Rafols (2009) et Klein (2011) qui soutiennent l'idée selon laquelle l'intégration est un processus individuel. Selon la professeure en études interdisciplinaires Julie Thompson Klein, « de nombreuses personnes croient que l'interdisciplinarité est synonyme de collaboration, alors que ce n'est pas le cas » (Klein, 2011, p. 22). Cette dernière insiste sur l'idée que l'intégration est un processus individuel; le travail d'équipe n'étant pas une condition nécessaire à l'intégration. Cette position rejoint celle de Porter et Rafols (2009) qui soulignent que l'intégration des connaissances survient « dans la tête » d'un chercheur (Porter & Rafols, 2009, p. 23). Selon ce point de vue, sur une base individuelle, un chercheur est capable d'assimiler des connaissances sans l'aide d'autres chercheurs.

2.3.3.2 Les interactions entre chercheurs

Certains auteurs, notamment Boden (1999), Lattuca (2001), et Roy (1979) distinguent les différents types de collaborations disciplinaires en fonction du type d'interaction entre les chercheurs. Dans ses travaux, Lisa Lattuca, chercheuse en sciences de l'éducation, mentionne que les interactions entre les chercheurs peuvent être représentées à l'aide d'un continuum. À l'extrémité la plus faible « se trouve la communication informelle d'idées, tel qu'elle peut se produire dans une conversation entre collègues de disciplines différentes » (Lattuca, 2001, p. 72). À l'extrémité la plus forte, « se trouve la collaboration formelle, telle que les équipes de recherche » (Lattuca, 2001, p. 72). L'idée de continuum introduite par Lattuca se retrouve également dans les travaux de Margaret Boden qui propose une typologie à six options des collaborations disciplinaires. Selon cette typologie, la recherche est « multidisciplinaire » lorsqu'elle comporte peu d'interaction se limitant à des discussions informelles. La recherche est « interdisciplinaire » lorsque les interactions entre les chercheurs sont journalières, et en personne (Boden, 1999). La position de Boden rejoint celle du physicien Rustom Roy qui stipule que la recherche interdisciplinaire « nécessite une interaction quotidienne entre des personnes de différentes disciplines » (Roy, 1979, p. 161).

2.3.3.3 Le degré d'intégration

Pour distinguer les différents types de collaborations disciplinaires, le psychologue allemand Heinz Heckausen (1972) s'intéresse aux connaissances intégrées par les chercheurs plutôt qu'aux interactions. Selon Heckausen (1972) les chercheurs peuvent intégrer différents types de connaissances; c'est-à-dire des outils, des instruments d'analyse, des méthodologies ou encore des concepts. Des chercheurs qui utilisent des instruments d'analyse d'autres disciplines font de la « pseudo-interdisciplinarité » selon Heckausen (1972, p. 88). Ceux qui intègrent des instruments d'analyse et des méthodologies font de « l'interdisciplinarité méthodologique » tandis que les chercheurs qui intègrent des instruments d'analyse, des méthodologies et des concepts sont considérés comme faisant véritablement de l'interdisciplinarité selon Heckausen (1972). Klein (2011), en se basant sur les travaux de Heckausen (1972), fait mention de différents « degrés d'intégration » Klein (2011, p. 23) selon le type de connaissances partagées entre les disciplines. À noter que l'intégration peut mener, ultimement, à la création de nouvelles disciplines. C'est d'ailleurs « ce qui s'est produit lorsque le niveau de l'objet d'étude de la biologie a rejoint celui de la physique, formant ainsi la biophysique » selon Heckausen (1972, p. 89).

2.3.4 La recherche multidisciplinaire

Dans la définition de la « recherche multidisciplinaire » de Guy Michaud présentée précédemment, nous portons une attention particulière à la présence du terme « juxtaposer ». Le dictionnaire *Le Robert* précise que le verbe juxtaposer renvoie à l'idée de « mettre un ou bien des éléments près d'une ou plusieurs autres, sans liaison ». Dans le contexte des relations disciplinaires, Klein (2011) précise que l'absence de liaison entre les disciplines renvoie à l'idée que « les disciplines demeurent distinctes, les éléments disciplinaires conservent leur identité originale et la structure du savoir existante n'est pas mise en doute » (Klein, p. 170).

Dans la recherche multidisciplinaire, l'interaction entre les chercheurs est faible. Pour reprendre la terminologie de Lattuca (2001), l'interaction se limite à des discussions informelles. Ces interactions ne permettent pas d'échanger de connaissances. L'intégration de connaissances en provenance d'autres disciplines peut se limiter à une mise en contexte historique. Par exemple, à la rédaction d'un article scientifique dans lequel plusieurs auteurs partagent leur avis sur un thème donné sans toutefois entrer dans une discussion avec les autres auteurs dans la publication. Pour illustrer notre propos, nous concevons la Figure 2.1, ci-dessous. Chaque cercle représente une discipline scientifique différente. Une collaboration multidisciplinaire juxtapose les connaissances de chaque discipline sans toutefois les mélanger. Les frontières disciplinaires sont définies; bien visibles, et nous tenons à souligner l'absence de liaison entre les trois disciplines représentées.

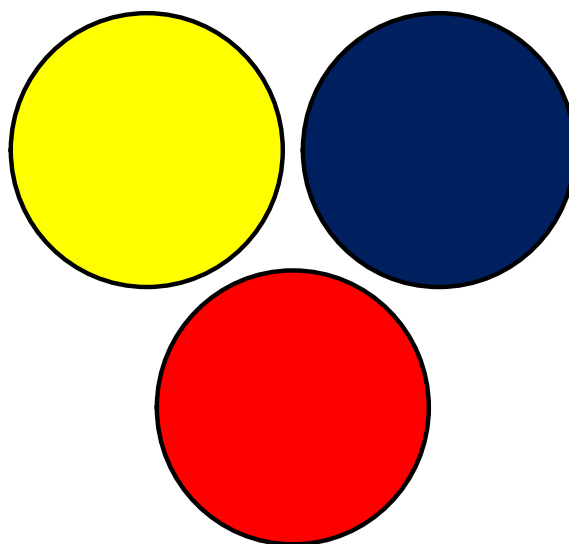


Figure 2.1 : Représentation visuelle de la recherche multidisciplinaire.

2.3.5 La recherche interdisciplinaire

Dans la définition de la « recherche interdisciplinaire » proposée par Guy Michaud, directeur du Centre d'Études des Civilisations de l'Université de Paris à la section 2.3.2, nous portons une attention particulière à la présence des termes « interaction » et « intégration ». À la différence de la recherche multidisciplinaire, la recherche interdisciplinaire repose sur des interactions fréquentes entre des chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte. Ces interactions favorisent le partage de connaissances entre les disciplines. Ces partages mènent à l'intégration de connaissances issues de différentes disciplines dans la réalisation d'une activité de recherche.

Pour illustrer notre propos, nous concevons la Figure 2.2, ci-dessous. Nous reprenons les trois cercles de la figure précédente. Cependant, les cercles forment désormais un diagramme de Venn. En mathématiques, un diagramme de Venn permet de montrer les relations logiques entre des ensembles. Dans le contexte du présent mémoire, il permet de montrer le partage de connaissances entre plusieurs disciplines scientifiques. Nous représentons les frontières disciplinaires à l'aide de lignes pointillées représentant la possibilité d'échange entre les disciplines. La présence de liens entre les disciplines est illustrée à l'aide de zones de partage qui adopte la couleur du mélange.

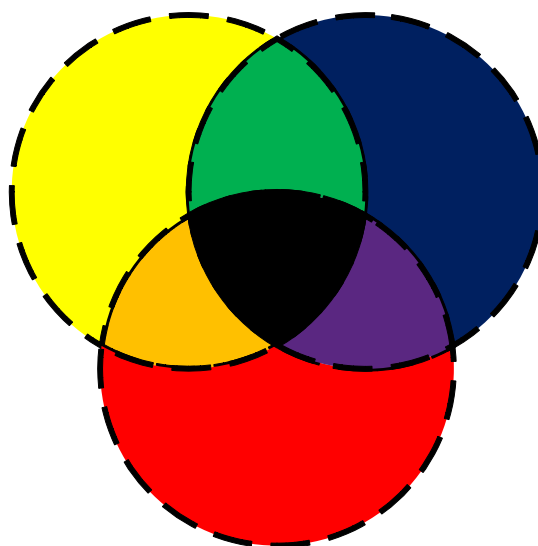


Figure 2.2 : Représentation visuelle de la recherche interdisciplinaire.

2.3.6 La recherche transdisciplinaire

Dans la section 2.1.5, nous présentons les deux modes de production du sociologue anglais Michael Gibbons. Le mode-1, disciplinaire, dont les objectifs sont guidés par pas des intérêts universitaires et le mode-2, transdisciplinaire, dont les objectifs sont guidés par un contexte d'application qui sort du milieu de la recherche universitaire. Cette distinction rejoint la position de Creutzer Mathurin, conseiller du ministère de l'Éducation de Haïti qui s'appuie sur les travaux du sociologue français Edgar Morin. Selon Edgar Morin, la recherche interdisciplinaire repose sur l'échange de connaissances « dans un cadre clos » (Mathurin, 2002, p. 19) alors que la recherche transdisciplinaire tient compte « des interactions au sein d'un système global » (Mathurin, 2002, p. 19). Le « système clos » auquel fait référence Edgar Morin renvoie au contexte universitaire alors que le « système global » renvoie à la société. Ainsi, la recherche interdisciplinaire se cantonne aux préoccupations universitaires alors que la recherche transdisciplinaire s'inscrit dans les enjeux sociaux.

Pour illustrer notre propos, nous suggérons, à la Figure 2.3, une représentation visuelle inspirée du style abstrait du peintre néerlandais Piet Mondrian. Puisque, la recherche transdisciplinaire sort du contexte académique pour répondre aux préoccupations sociales, nous délaissions les cercles qui représentaient les disciplines scientifiques dans le contexte universitaire. Si les couleurs font toujours référence aux outils, méthodes et concepts des différentes disciplines, elles permettent désormais de supporter une composition artistique plutôt que des travaux de recherche fondamentale.

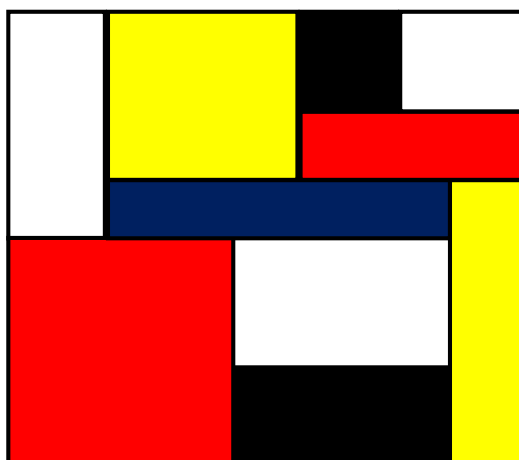


Figure 2.3 : Représentation visuelle de la recherche transdisciplinaire.

2.3.7 Distinguer multi-, inter- et transdisciplinaire

Les termes « multidisciplinaire », « interdisciplinaire » et « transdisciplinaire » permettent de décrire des activités de recherche dans lesquelles nous retrouvons des connaissances issues de différentes disciplines scientifiques. La recherche interdisciplinaire, qui fait l'objet de notre étude, se distingue des deux autres par le fait qu'elle intègre des connaissances; c'est-à-dire qu'elle utilise des outils, des méthodes, des procédures et des concepts d'autres disciplines pour mener des activités de recherche. Cette intégration peut passer par l'interaction entre des chercheurs. À la Figure 2.4, ci-dessous, nous regroupons les figures 2.1, 2.2 et 2.3 afin d'illustrer la distinction entre les trois types de collaborations disciplinaires. Dans la prochaine section, nous allons distinguer la recherche interdisciplinaire du concept d'interdisciplinarité.

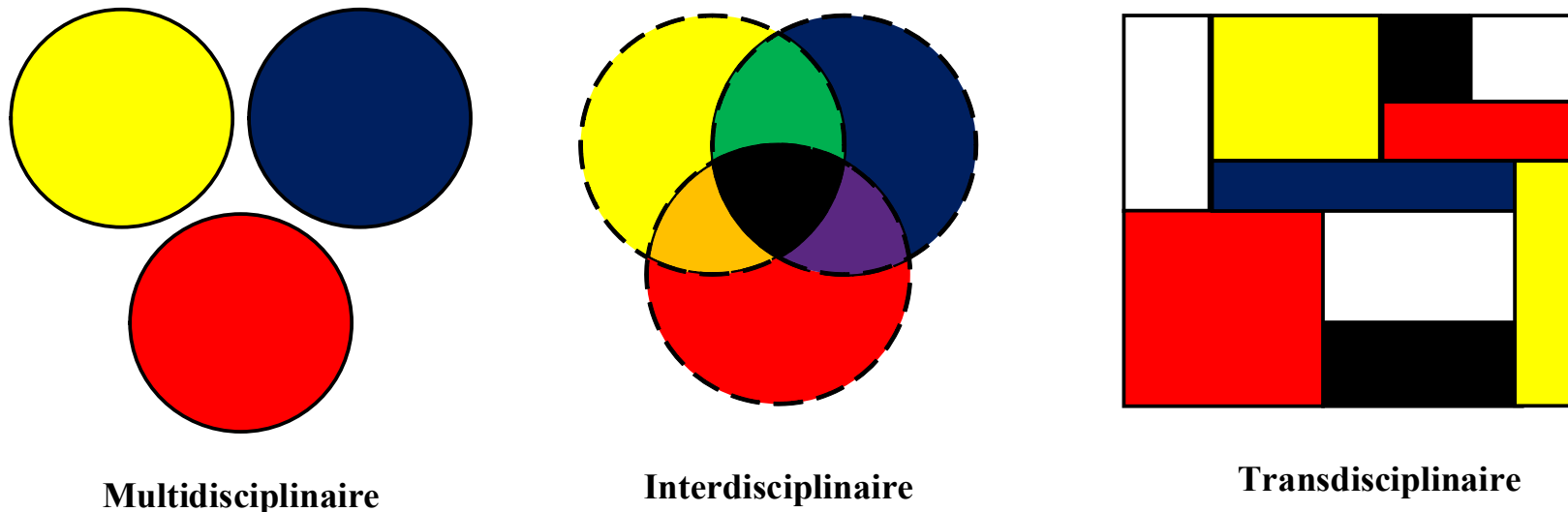


Figure 2.4 : Représentation visuelle des différents types de collaborations disciplinaires.

2.4 Le concept d'interdisciplinarité

Dans la section précédente, nous parvenons à distinguer les différents types de collaboration disciplinaires. Celle qui nous intéresse dans le cadre de la présente étude, c'est la recherche interdisciplinaire qui se distingue des autres par le fait qu'elle intègre des connaissances issues de plusieurs disciplines scientifiques. La recherche interdisciplinaire est intrinsèquement liée au concept d'interdisciplinarité. Si les termes « recherches interdisciplinaires » et « interdisciplinarité » sont parfois utilisés de manières interchangeable, il est nécessaire de distinguer le discours sur le concept d'interdisciplinarité de son opérationnalisation selon Larivière et Gingras (2014). Dans la présente section, nous nous concentrons sur le concept d'interdisciplinarité. Nous aborderons notamment les fondements épistémologiques de ce concept, en plus de survoler l'évolution des thématiques et des enjeux qui y sont reliés. Nous présenterons également un tableau comprenant une liste des définitions reliées au concept d'interdisciplinarité qui nous permettra de dégager des points de convergence, et de divergence.

2.4.1 Définir l'interdisciplinarité

Dans la littérature, nous recensons plusieurs définitions différentes du concept d'interdisciplinarité. La présence de nombreuses définitions laisse entrevoir le fait qu'il y a une absence de consensus entourant l'interdisciplinarité au niveau conceptuel. Dans notre étude, pour saisir la nuance de ce concept, nous nous inspirons de la démarche de Wang et Schneider (2020) ainsi que de Zwanenburg et al. (2022) qui dressent une liste des définitions du concept d'interdisciplinarité afin d'en faire ressortir les points de convergence, et de divergence. Ainsi, dans le Tableau 2.3 présenté à la page suivante, nous présentons huit définitions du concept d'interdisciplinarité. Cinq définitions supplémentaires sont présentées dans le Tableau A.1 de l'Annexe A. Dans le Tableau 2.3 à la page suivante, nous faisons ressortir, à l'aide d'un format de police différent, les éléments suivants : **1)** l'implication de connaissances issues de plusieurs disciplines (à l'aide d'une police soulignée); **2)** l'intégration comme un processus intellectuel individuel ou collectif (à l'aide d'une **police en gras**); **3)** la finalité des initiatives de recherche interdisciplinaire (à l'aide d'une *police italique*). Ces points font l'objet d'une discussion à la suite du Tableau 2.3.

Tableau 2.3 : Définitions du concept d'interdisciplinarité.

| Auteurs | Définitions |
|-------------------------------|--|
| Hurtubise (1973, p. 143) | Approche simultanée d'un objet à l'aide de <u>plusieurs disciplines</u> ou encore comme l'usage fait par une discipline d'autres disciplines dans <i>l'étude d'un objet donné</i> . |
| Qiu (1992, p. 170) | La collaboration interdisciplinaire est définie comme l'implication de chercheurs provenant de <u>plus d'une discipline</u> . |
| Qin et al. (1997, p. 894) | L'intégration de <u>plusieurs disciplines</u> dans un environnement de recherche . |
| Cunningham (1999, p. 52) | Une démarche dans laquelle certains des concepts et des idées <u>d'une discipline</u> contribuent <i>aux problèmes et aux théories d'une autre discipline</i> ; de préférence dans les deux sens. |
| Stokols et al. (2003, p. S24) | L'interdisciplinarité est un processus par lequel des chercheurs travaillent conjointement , mais à partir de leurs <u>perspectives disciplinaires respectives</u> , pour aborder <i>un problème commun</i> . |
| NAS (2005, p. 2) | La recherche interdisciplinaire est un mode de recherche par des équipes ou des individus qui intègrent des informations, des données, des techniques, des outils, des perspectives, des concepts et/ou des théories provenant <u>de deux ou plusieurs disciplines</u> ou ensembles de connaissances spécialisées afin de <i>faire progresser la compréhension fondamentale</i> ou de <i>résoudre des problèmes</i> , dont les solutions, dépasse le cadre d'une seule discipline ou d'un seul domaine de pratique de la recherche. |
| Wagner et al. (2011, p. 16) | Approche qui intègre des données, des méthodes, des outils, des concepts et des <u>théories disciplinaires distinctes</u> afin de créer une vision holistique ou une compréhension commune <i>d'une question ou d'un problème complexe</i> . |
| Kleinpeter (2013, p. 3) | La démarche interdisciplinaire consisterait à regrouper des chercheurs travaillant ensemble, chacun à partir de <u>leur base disciplinaire</u> pour résoudre <i>un problème commun</i> . |

À partir des différentes définitions présentées dans le Tableau 2.3, nous faisons ressortir des points de convergence, et de divergence, relatifs au concept d'interdisciplinarité.

1) Dans l'ensemble des définitions présentées dans le Tableau 2.3, nous pouvons souligner des éléments qui renvoient au fait que le concept d'interdisciplinarité repose sur la présence de plusieurs disciplines, notamment « plusieurs disciplines », « deux ou plusieurs disciplines » ou encore « d'une discipline [...] d'une autre discipline ». Ce point de convergence se retrouve également dans les remarques de Zwanenburg et al. (2022) qui mentionnent que « chaque définition de l'interdisciplinarité fait explicitement ou implicitement référence à de multiples disciplines » (Zwanenburg et al., 2022, p. 3).

2) Dans la section 2.3.3, nous présentons la notion d'intégration de connaissances comme un processus intellectuel qui peut être individuel ou bien collectif. Dans les définitions du Tableau 2.3, nous faisons ressortir, à l'aide d'une police en gras, les positions des différents auteurs. La majorité des définitions se positionnent en faveur d'un processus collectif comme le suggèrent les termes « implication de chercheurs », « des chercheurs travaillent conjointement » ou encore « regrouper des chercheurs ». Une seule définition, celle de *The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine* (NAS) rejoint la position mitoyenne de Wagner et al. (2011) en précisant que la recherche interdisciplinaire est un mode de recherche « par des équipes ou des individus ».

3) Les passages mis en évidence à l'aide d'une police italique font ressortir les différentes finalités poursuivies par les chercheurs impliqués dans une démarche interdisciplinaire. Si certaines définitions font mention que l'interdisciplinarité peut être utilisée afin d'étudier un objet donné ou une question, la majorité propose d'utiliser l'interdisciplinarité pour résoudre un problème commun à plusieurs disciplines. Cet élément se retrouve également dans l'analyse de Zwanenburg et al. (2022) qui mentionnent que l'interdisciplinarité peut servir « à la résolution de problèmes qui ne sont pas limités à une seule discipline » (Zwanenburg et al., 2022, p. 3).

Dans le Tableau 2.3, les définitions sont présentées dans un ordre chronologique allant de 1973 à 2013. Avant l'année 2000, les définitions du concept d'interdisciplinarité semblent converger vers le fait que l'interdisciplinarité permet « l'étude d'un objet donnée » alors qu'après l'année 2000, le concept d'interdisciplinarité porte sur « un problème commun » ou encore « un problème complexe ». Cette évolution conceptuelle au niveau de la finalité de l'interdisciplinarité fait l'objet de la section suivante.

2.4.2 L'évolution conceptuelle de l'interdisciplinarité

Le concept d'interdisciplinarité revêt d'une portée épistémologique dont il est nécessaire de tenir compte afin de saisir les raisons qui poussent les parties prenantes de la recherche à en faire la promotion. D'un côté, certains auteurs inscrivent le concept d'interdisciplinarité dans l'idée d'une unité des connaissances. De l'autre, des auteurs défendent l'idée selon laquelle la complexité des enjeux sociaux force un rapprochement entre science et société qui entraîne, par le fait même, des liens entre les différentes disciplines. Dans le Tableau 2.3, nous disposons volontairement les définitions du concept d'interdisciplinarité dans un ordre chronologique croissant. En faisant cela, nous voulons démontrer l'évolution du concept d'interdisciplinarité depuis les balbutiements qui remontent au début des années 1970.

2.4.2.1 L'unité des connaissances

À l'époque, les préoccupations entourant « les problèmes d'interdisciplinarité » (Berger, 1972, p. 21) sont relatives à l'organisation disciplinaire des institutions universitaires. Le modèle d'université de recherche, présentée dans la section 2.1, repose sur l'idée que l'on retrouve au même endroit l'ensemble des connaissances, assurant ainsi le partage de connaissances tous azimuts. Dès lors, la division des connaissances en disciplines scientifiques semble limiter le partage de connaissances entre les disciplines. Ainsi, le concept d'interdisciplinarité, au début des années 1970, est motivé par l'idée de retrouver une unité entre les différentes disciplines. Selon Mathurin (2002), l'association du concept d'interdisciplinarité à l'unité des connaissances s'inscrit dans le **pôle épistémologique**. «Le pôle épistémologique conduit à des conceptions de l'interdisciplinarité centrée strictement sur les problèmes de l'activité scientifique comme telle» (Mathurin, 2002, p. 16) et « l'argumentation ne met l'accent que sur les besoins de développement de la connaissance scientifique » (Mathurin, 2002, p. 14).

2.4.2.2 Le rapprochement entre science et société

Selon Endrizzi (2017), les préoccupations entourant le concept d'interdisciplinarité changent au tournant des années 1990. Ainsi, l'« interdisciplinarité qui a émergé dans les années 1990 n'est donc pas de même nature que celle qui nourrissait les échanges des chercheurs dans les années 1970, en prise avec les problèmes de leurs temps. Elle est aujourd'hui liée à des politiques de recherche qui pointent la fragmentation des milieux académiques comme un frein à l'appréhension

de la complexité du monde et à l'innovation et véhicule l'idée d'une performativité de la science » (Endrizzi, 2017, p. 5). Cette remarque rejoint la position de Porter et Rafols (2009) qui avancent que « l'objectif de la recherche interdisciplinaire est de faire progresser la compréhension fondamentale ou de résoudre des problèmes dont les solutions dépassent le cadre d'un seul domaine de pratique de la recherche » (Porter & Rafols, 2009, p. 270). Dans l'introduction du présent mémoire, nous faisons mention que les défis auxquels est confrontée la société contemporaine sont complexes puisqu'ils comportent plusieurs enjeux, notamment socio-économiques, environnementaux et technologiques. Selon Mathurin (2002), l'association du concept d'interdisciplinarité à la recherche de solution aux problèmes sociaux s'inscrit dans le **pôle social**. Le pôle social « porte une attention particulière aux relations entre la science et la société » (Mathurin, 2002, p. 29); l'interdisciplinarité contribuant à la finalité humaine et sociale.

Il est possible de rapprocher la distinction entre le pôle épistémologique et le pôle social proposée par Mathurin (2002) avec la distinction que fait l'OCDE de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée dans la section 2.1.5. Si le concept d'interdisciplinarité s'inscrit dans le désir d'une unité des connaissances, il rejoint les objectifs de la recherche fondamentale. Si le concept d'interdisciplinarité apparaît comme une solution à la complexité des défis de la société contemporaine, il rejoint plutôt les objectifs de la recherche appliquée. C'est ce que nous expliquons dans la sous-section suivante.

Cette évolution conceptuelle peut également s'observer en portant attention aux publications reliées au concept d'interdisciplinarité. Dans leur étude bibliométrique, Larivière et Gingras (2014, p. 5) observent que « le discours sur l'interdisciplinarité en sciences humaines est apparu après la Seconde Guerre mondiale, mais n'est devenu à la mode qu'entre le milieu des années 1960 et la fin des années 1970 ». Les auteurs mentionnent également qu'« une deuxième vague d'intérêt a débuté dans les années 1990, s'est stabilisée à la fin de la décennie, puis a augmenté à nouveau à un rythme très rapide après 2006 » (Larivière & Gingras, 2014, p. 5). L'approche bibliométrique utilisée par Larivière et Gingras (2014) nous amène à nous intéresser aux différentes méthodes utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité. Ces méthodes font l'objet de la prochaine section.

2.4.3 Mesurer l'interdisciplinarité

Dans la littérature, nous recensons plusieurs méthodes différentes permettant de caractériser l'interdisciplinarité d'une publication scientifique, d'un groupe de chercheurs ou encore des activités de recherche d'une institution. Dans le Tableau 2.4, nous présentons les 9 méthodes qui seront décrites en détail dans les sous-sections 2.4.3.1 et 2.4.3.2.

Tableau 2.4 : Méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité.

| Méthodes | Types de données |
|---------------------------------------|------------------|
| Questionnaires | Primaires |
| Entrevues | Primaires |
| Observations | Primaires |
| Analyse des références | Secondaires |
| Analyse des revues savantes | Secondaires |
| Analyse des réseaux | Secondaires |
| Analyse des propositions de recherche | Secondaires |
| Analyse des copublications | Secondaires |
| Analyse de la mobilité | Secondaires |

Dans le Tableau 2.4, nous distinguons les méthodes de mesure en deux catégories : les méthodes basées sur la collecte de données primaires et les méthodes basées sur l'analyse de données secondaires. Les données primaires sont collectées à l'aide de techniques spécifiques (observations, questionnaires, entrevues) dans le but de mesurer l'interdisciplinarité (Pupion, 2012). Les données secondaires proviennent généralement de bases de données bibliographiques qui ne sont pas spécifiques à la mesure de l'interdisciplinarité (Pupion, 2012). Dans les sous-sections 2.4.3.1.1 à 2.4.3.1.6, nous présentons les méthodes basées sur l'analyse des données secondaires. Nous présentons, dans les sous-sections 2.4.3.2.1 à 2.4.3.2.3, les méthodes basées sur la collecte de données primaires.

2.4.3.1 Analyse de données secondaires

2.4.3.1.1 Analyse des références

Plusieurs auteurs, notamment Porter et Chubin (1985), Porter et al. (2007), Rafols et Meyer (2008), Wang et Schneider (2020) et Zhang et al. (2016) mesurent l'interdisciplinarité à l'aide des citations que l'on retrouve dans la liste de références d'une publication scientifique. Avant d'aller plus loin, nous distinguons les termes « citations » et « références ». Comme le mentionnent Larivière et Sugimoto (2018, p. 68) : « citations et références sont les deux revers d'une même médaille ». Lorsque la publication scientifique « A » cite la publication scientifique « B », la publication « B » devient une référence de la publication « A ». Soulignons que les références sont fixes dans le temps alors que les citations s'accroissent avec le temps (Larivière & Sugimoto, 2018).

L'analyse des références repose sur le raisonnement suivant : « si un article en cite un autre, cela prouve une forme d'interaction et d'arrimage par lesquels l'article citant s'appuie sur l'article cité » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 83). Ce raisonnement se retrouve également dans les propos de Porter et Chubin (1985) qui mentionnent que : « les citations c'est-à-dire les références faites à d'autres publications [...] représentent les connaissances sur lesquelles les auteurs s'appuient » Porter et Chubin (1985, p. 162) ou dans ceux de Wang et Schneider (2020, p. 241) qui mentionnent que « les références données dans une publication sont le reflet de la base de connaissances sur laquelle l'ouvrage est construit ». Wallace et Van Fleet (2012) s'appuient sur le travail de Smith (1981) pour déterminer les trois principaux postulats sur lesquels repose l'analyse des références: **1)** la citation implique l'utilisation; **2)** les documents cités et le document citant sont intrinsèquement liés; **3)** toutes les citations ont une valeur égale». Ainsi, les références que nous retrouvons dans un article scientifique représentent les connaissances intégrées par les auteurs.

Pour mesurer l'interdisciplinarité d'un article scientifique, Porter et Chubin (1985) proposent d'associer une discipline à chacune des références que l'on retrouve dans l'article. Pour associer une discipline à chaque référence, les auteurs utilisent le système de classification disciplinaire de la base de données bibliographiques *Web of Science*. Selon Porter et Chubin (1985), un article scientifique est interdisciplinaire si on retrouve des citations provenant de différentes disciplines dans la liste des références. Ainsi, les auteurs définissent le pourcentage de citations provenant de différentes disciplines (dans l'article, *citations outside category*) comme indicateur d'interdisciplinarité (Porter & Chubin, 1985).

Dans ses travaux, Stirling (2007) propose également de mesurer l'interdisciplinarité d'une publication scientifique à partir des citations qui se trouvent dans la liste des références. Toutefois, plutôt que de se concentrer uniquement sur le pourcentage de citations provenant de différentes disciplines comme le font Porter et Chubin (1985), Stirling (2007) développe un indicateur basé sur la notion de *diversité* introduite par le statisticien indien Calyampudi Radhakrishna Rao. Dans ses travaux, Rao (1982) mesure la diversité d'un échantillon à partir de trois propriétés : la variété, l'équilibre ainsi que la disparité. Dans le contexte de l'analyse des références d'une publication scientifique, Stirling (2007) propose que :

- La **variété** renvoie au nombre de disciplines différentes que l'on retrouve dans la liste des références.
- L'**équilibre** renvoie aux nombres de fois que chaque discipline différente se retrouve dans la liste des références.
- La **disparité** renvoie au degré de différence des disciplines que l'on retrouve dans la liste de références.

Comme le souligne Stirling (2007) : « chacune de ces propriétés est nécessaire, mais individuellement insuffisante pour rendre compte de la diversité » (Stirling, 2007, p. 709) . Ainsi, il propose un indicateur qui combine ces trois propriétés : l'indicateur de diversité Rao-Stirling. Cet indicateur est utilisé dans par Rafols et Meyer (2008) pour mesurer l'interdisciplinarité d'articles scientifiques.

2.4.3.1.2 *Analyse des revues savantes*

Plutôt que d'associer une discipline aux références d'une publication scientifique, Rinia et al. (2002), Leydesdorff et Rafols (2011) ou encore Rafols et al. (2010) mesurent l'interdisciplinarité en associant une discipline à des revues savantes. Rinia et al. (2002) participent à un projet d'évaluation des programmes de recherche en sciences physiques des Pays-Bas. L'un des objectifs du projet de recherche consiste à déterminer le degré d'interdisciplinarité des programmes. Pour déterminer le degré d'interdisciplinarité, les auteurs s'intéressent aux articles scientifiques publiés par les chercheurs affiliés aux programmes de recherche. Plus particulièrement, Rinia et al. (2002) portent attention aux revues savantes dans lesquelles sont publiés les articles. Le degré d'interdisciplinarité d'un programme de recherche est mesuré en fonction du nombre d'articles

scientifiques qui sont publiés dans des revues savantes dont l'affiliation disciplinaire n'est pas la science physique. Ainsi, Rinia et al. (2002, p. 243) définissent « le pourcentage d'articles ne relevant pas de la discipline principale [sciences physiques] comme le degré d'interdisciplinarité ». Pour déterminer la discipline des revues savantes, les auteurs utilisent le système de classification disciplinaire de la base de données bibliographiques *Web of Science*. Dans cette base de données, chaque revue savante est associée à une discipline⁴.

2.4.3.1.3 Analyse des réseaux

Dans leurs travaux, Leydesdorff et Rafols (2009) utilisent la théorie des réseaux afin de mesurer l'interdisciplinarité. Lorsqu'une publication scientifique cite une autre publication scientifique, cela crée un lien qui peut être représenté à l'aide de la théorie des réseaux. Plus précisément, Leydesdorff et Rafols (2009) conçoivent une matrice permettant de rendre compte des citations entre revues savantes (dans l'article, *journal-journal citation matrix*). Cette matrice permet de faire ressortir les disciplines entre lesquelles il y a le plus d'échange de connaissances. À partir de cette matrice, Leydesdorff et Rafols (2009) parviennent également à générer une représentation visuelle en deux dimensions du réseau d'échange de connaissances entre les disciplines scientifiques (dans l'article, *global map of science*). À partir de cette représentation visuelle en deux dimensions, Rafols et al. (2010) comparent la couverture disciplinaire des publications scientifiques de trois institutions de recherche universitaire.

À partir de la représentation visuelle, plusieurs auteurs, notamment Rafols et Meyer (2008) et Leydesdorff et al. (2018) utilisent la théorie des réseaux pour mesurer l'interdisciplinarité des revues savantes. Dans un réseau basé sur une matrice de citations, chaque nœud représente un ensemble de revues savantes toutes associées à une seule et même discipline. La distance entre les nœuds est inversement proportionnelle au nombre de citations entre les revues savantes dans la matrice. L'intensité de la liaison entre deux nœuds est proportionnelle au nombre de citations.

Rafols et Meyer (2008) utilisent la centralité de degré (dans l'article *degree centrality*) comme indicateur d'interdisciplinarité. La centralité de degré tient compte de la distance entre les nœuds ainsi que de l'intensité de la liaison. Ainsi, un nœud qui est relié à plusieurs autres nœuds témoigne

⁴ Nous reviendrons sur le fonctionnement de la base de données bibliographique Web of Science dans le Chapitre 3.

d'une discipline qui intègre des connaissances de plusieurs autres disciplines. De leur côté, Leydesdorff et al. (2018) utilisent la centralité entre-deux (dans l'article, *betweenness centrality*) comme indicateur d'interdisciplinarité. Ainsi, un nœud dont la centralité entre-deux est élevée témoigne d'une discipline qui intègre des connaissances de disciplines différentes les unes des autres.

2.4.3.1.4 *Analyse des propositions de recherche*

Bellotti et al. (2016) mesurent l'évolution de la recherche interdisciplinaire, en Italie, sur une période de 10 ans, plus précisément entre 2001 et 2010. Au lieu de s'intéresser « aux résultats de la recherche, c'est-à-dire aux publications savantes » Bellotti et al. (2016, p. 783) se distinguent des méthodes précédentes en s'intéressant « aux propositions de recherche qui sont financées par le ministère italien de la recherche en milieu universitaire (MIUR) » Bellotti et al. (2016, p. 783) (dans l'article, *Ministry of University and Research*). Le MIUR utilise un système de classification disciplinaire comprenant deux principaux secteurs de recherche (dans l'article *disciplinary area*) : **1)** les sciences naturelles et techniques; **2)** les sciences humaines et sociales.

À l'intérieur de ces deux principaux secteurs, on retrouve plusieurs centaines de sous-disciplines (dans l'article, *scientific-disciplinary sector*). Lorsqu'un chercheur dépose une demande de subvention auprès MIUR, il doit identifier le secteur de recherche ainsi que les sous-disciplines reliées au sujet de son projet de recherche. Bellotti et al. (2016, p. 790) remarquent qu'une demande de subvention peut être reliée à « plusieurs sous-disciplines dont certaines, provenant des deux secteurs de recherche ». Pour déterminer si une proposition de recherche est interdisciplinaire, les auteurs déterminent « le nombre de sous-disciplines hors du secteur de recherche » (Bellotti et al., 2016, p. 798) (dans l'article, *collaboration outside disciplinary area*). Ainsi, une proposition de recherche est considérée comme étant interdisciplinaire si elle comprend au moins une sous-discipline appartenant à chacun des deux secteurs de recherche. À partir des données disponibles sur le site du MIUR, les auteurs sont en mesure de déterminer le nombre de subventions attribuées à des propositions de recherche interdisciplinaire chaque année, entre 2001 et 2010.

2.4.3.1.5 *Analyse des copublications*

Dans leurs travaux, Abramo et al. (2012), Qiu (1992) et Schummer (2004) mesurent l'interdisciplinarité des publications scientifiques à l'aide de la notion d'autorat. L'autorat renvoie aux individus qui contribuent à la réalisation d'une publication savante. Comme le soulignent Larivière et Sugimoto (2018), dans le contexte de la recherche contemporaine, l'autorat comprend une multitude de contributions allant de la « rédaction, certes, mais aussi conception, analyse, expérimentation, ou fourniture de ressources » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 67). Lorsqu'une publication savante comprend plusieurs auteurs, elle est réalisée en co-autorat. Larivière et Sugimoto (2018) et Wagner et al. (2011) s'entendent sur le fait qu'une publication en co-autorat suggère une interaction entre les chercheurs dont le nom figure dans la liste des auteurs.

Dans ses travaux, Schummer (2004) avance que « la contribution des auteurs [que l'on retrouve dans la liste des auteurs] est reliée aux connaissances de sa discipline d'appartenance » (Schummer, 2004, p. 438). Ainsi, « la recherche scientifique est interdisciplinaire [...] si des chercheurs d'au moins deux disciplines, selon leur affiliation départementale, sont impliqués » (Schummer, 2004, p. 437). Pour déterminer l'appartenance disciplinaire des auteurs, Schummer (2004) se base sur l'affiliation départementale des auteurs; l'information étant généralement disponible dans l'en-tête des publications savantes. Pour mesurer l'interdisciplinarité, Schummer (2004) évalue la proportion des publications scientifiques comprenant au moins deux auteurs dont l'appartenance disciplinaire est distincte. En complément de la méthode basée sur l'affiliation départementale utilisée par Schummer (2004) pour déterminer la discipline d'appartenance des auteurs, Larivière et Sugimoto (2018) proposent deux autres manières : **1)** utiliser la discipline du doctorat dans lequel l'auteur a fait ses études; **2)** utiliser la discipline de la revue savante dans laquelle l'auteur publie le plus souvent.

Larivière et Sugimoto (2018) décrivent deux pratiques non éthiques qui influencent l'autorat des publications scientifiques : l'autorat fantôme et l'autorat honorifique. Dans le cas de l'autorat fantôme, « une personne contribue au savoir contenu dans un article sans que son nom figure parmi ceux des auteurs : on ne lui donne pas le crédit (ni la responsabilité) qui lui revient » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 70). À l'opposé, dans le cas de l'autorat honorifique « un individu figure parmi les auteurs de l'article sans avoir joué de rôle, du moins aucun rôle significatif, dans la production des connaissances publiées » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 70).

2.4.3.1.6 Analyse de la mobilité

Dans ses travaux, Le Pair (1980) mesure l'interdisciplinarité en se basant sur le mouvement des chercheurs d'une discipline vers une autre. Il utilise les données fournies par le ministère de l'Éducation des Pays-Bas au sujet du personnel des institutions universitaires. Pour suivre le mouvement des chercheurs, Le Pair (1980) compare « le domaine d'études dans lequel ils [les chercheurs] ont obtenu leur diplôme de doctorat et la discipline des activités de recherche que les chercheurs mènent actuellement » (Le Pair, 1980, p. 182). Un chercheur qui change de discipline est considéré, dans l'article, comme un « *switcher* ». En changeant de discipline, les « *switchers* » transfèrent des connaissances d'une discipline vers une autre. L'étude permet de mettre en évidence que certaines disciplines, comme la pharmacie, la physique, la chimie et la biologie forment des chercheurs dont les activités de recherche se déroulent dans d'autres disciplines. Selon l'auteur, « une discipline scientifique qui éclaire des domaines voisins et aide à comprendre des problèmes fondamentaux dans ces domaines mérite certainement une certaine reconnaissance » (Le Pair, 1980, p. 185). Cette reconnaissance prend la forme d'un indicateur : le mérite scientifique interdisciplinaire (dans l'article *interdisciplinary scientific merit*). Pour le mesurer, Le Pair propose d'évaluer la proportion de chercheurs formés dans une discipline qui évoluent dans une autre discipline.

2.4.3.2 Collecte de données primaires

Plutôt que d'utiliser des données secondaires provenant de bases de données bibliographiques ou encore de bases de données gouvernementales, d'autres auteurs comme Bordons et al. (2001), Mâsse et al. (2008), Palmer (1999), Stokols, Hall, et al. (2008a) collectent des données primaires afin de mesurer l'interdisciplinarité.

2.4.3.2.1 Questionnaires

Pour mesurer l'interdisciplinarité des activités menées au sein d'une institution de recherche, Bordons et al. (2001), Mâsse et al. (2008) et Qin et al. (1997) utilisent des questionnaires. Qin et al. (1997) réalisent un sondage dont l'objectif est d'obtenir de l'information concernant les collaborations interdisciplinaires. Les 10 questions sont divisées en trois sections : **1**) les formes de collaborations; **2**) les canaux de communication; **3**) l'utilisation de l'information. Nous trouvons que la cinquième question est intéressante puisqu'elle permet de mesurer le pourcentage de

chercheurs effectuant des activités de recherche ou d'enseignement interdisciplinaires. La question est formulée comme suit : « au cours des cinq dernières années, combien de fois avez-vous fait de la recherche ou enseigné dans une autre institution (1, 2, 3 fois et/ou jamais). Veuillez préciser : 1) Dans votre domaine d'études. 2) Dans un domaine connexe. 3) Dans un domaine qui n'est pas le vôtre, mais celui d'un collègue avec lequel vous collaborez à la recherche. 4) Autres » (Qin et al., 1997, p. 915). 29,4 % des répondants mentionnent avoir fait de la recherche ou enseigné dans un domaine qui n'est pas le leur ce qui permet de déterminer qu'une proportion des activités de recherche sont interdisciplinaires.

De leur côté, Mâsse et al. (2008) portent leur attention sur le quotidien des chercheurs et des professionnels de recherche d'un centre de recherche sur le tabagisme. À l'aide d'un questionnaire comprenant une échelle de Likert, les 216 membres du centre de recherche sont invités à évaluer les facteurs favorisant la collaboration au sein de leur équipe de travail. Certaines questions permettent de rendre compte des opportunités de collaborations interdisciplinaires. C'est le cas de la question A-8 qui demande aux répondants s'ils ont « travaillé avec des collaborateurs de différentes disciplines » (Mâsse et al., 2008, p. S160). L'analyse des réponses permet de rendre compte du fait que « 76,9 % (n=166) des répondants ont collaboré avec au moins une nouvelle discipline au cours de l'année écoulée, 62,5 % (n=135) ont déclaré avoir collaboré avec deux nouvelles disciplines ou plus » (Mâsse et al., 2008, p. S155).

2.4.3.2.2 *Entrevues*

Plutôt que d'utiliser un questionnaire, Palmer (1999) se rend sur le terrain afin d'aller à la rencontre des chercheurs d'un regroupement de recherche considéré comme étant interdisciplinaire. Le nom de ce regroupement n'est pas précisé. Par le biais d'entrevues, Palmer (1999) obtient des données qualitatives concernant : **1)** les modes de recherche; **2)** les méthodes permettant de collecter de l'information; **3)** les stratégies d'assimilation des connaissances, ainsi que **4)** la portée des projets de recherche. Pour chacun de ces éléments, Palmer (1999) identifie les comportements qui favorisent la réalisation d'activités de recherche interdisciplinaire. Il distingue notamment trois méthodes pour collecter de l'information : les chercheurs peuvent « trouver » de l'information à l'aide d'expérimentations, « recueillir » de l'information à l'aide d'une revue de la littérature ou encore « sonder » d'autres chercheurs. Selon Palmer (1999), si les chercheurs collectent de l'information en « sondant » d'autres chercheurs, c'est-à-dire en allant à leur rencontre et en

discutant avec eux, alors cette méthode témoigne d'une interaction permettant d'intégrer des connaissances issues d'une autre discipline. Ainsi, si cette méthode est utilisée par les chercheurs d'un centre de recherche, alors les activités sont considérées comme étant interdisciplinaires.

2.4.3.2.3 Observations

Dans ses travaux, l'équipe du psychologue américain Daniel Stokols (2008b; 2008) s'intéresse à l'efficacité des équipes de recherche interdisciplinaire à l'aide des théories reliées à la science des équipes (en anglais, *science of team science*). Plus précisément, Stokols, Misra, et al. (2008) dressent une liste de facteurs contextuels (dans l'article *contextual factors*) facilitant la collaboration entre des chercheurs ayant une appartenance disciplinaire distincte. Parmi les facteurs contextuels, les auteurs mentionnent la taille des équipes de recherche. Stokols, Misra, et al. (2008) se référant à l'étude de Vinokur-Kaplan (1995, p. 100) mentionnent que l'efficacité des équipes interdisciplinaires « était plus importante dans les petites équipes » composées de 5 à 12 membres. Les équipes de petite taille favorisent les relations fréquentes entre les membres (Vinokur-Kaplan, 1995). Stokols, Misra, et al. (2008) identifient également des pratiques de travail qui facilitent le partage de connaissances. Par exemple, les auteurs mentionnent les séances de remue-méninges (en anglais *brainstorming*) comme un exemple de pratique de travail qui favorise le partage d'idée provenant de chercheurs de plusieurs disciplines, et par le fait même l'intégration de connaissances de plusieurs disciplines. Stokols, Misra, et al. (2008) avancent que la présence de certains facteurs contextuels comme la taille des équipes ou les méthodes de travail utilisées sont suffisantes pour déterminer qu'une équipe de recherche est interdisciplinaire.

2.4.4 Ce qu'il faut retenir

L'objectif de notre projet d'étude consiste à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement les relations avec les sciences sociales. Dans le Chapitre 2, nous recensons les écrits relatifs aux activités de recherche menées dans les universités, à l'organisation disciplinaire des connaissances scientifiques, ainsi qu'au concept d'interdisciplinarité. Ces trois premières sections permettent de caractériser le concept d'interdisciplinarité en milieu universitaire. Enfin, nous présentons différentes méthodes permettant de le mesurer. Cette recension des écrits permet de faire ressortir deux éléments : **1)** à notre connaissance, aucune étude ne permet de rendre compte de la relation entre le génie et les

sciences sociales, et 2) à notre avis, les méthodes de mesure actuellement utilisées ne permettent d'obtenir qu'une mesure partielle de l'interdisciplinarité des activités de recherche menées dans les universités.

2.4.4.1 L'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales

Tout au long du Chapitre 2, nous abordons différentes facettes de la recherche interdisciplinaire et du concept d'interdisciplinarité. Nous parvenons à distinguer la recherche interdisciplinaire de la recherche multidisciplinaire et transdisciplinaire à l'aide de la notion d'intégration. L'intégration est un processus intellectuel qui repose sur l'assimilation de connaissances. Si certains auteurs soutiennent l'idée selon laquelle le processus d'intégration est individuel, d'autres soutiennent que c'est un processus collectif.

L'analyse des définitions relatives à l'interdisciplinarité fait également ressortir la finalité des initiatives disciplinaires. Pour certains, l'interdisciplinarité permet de produire de nouvelles connaissances scientifiques alors que pour d'autres, elle a pour but de résoudre des problèmes complexes. Dans notre étude qui se déroule dans une institution universitaire, nous nous concentrons sur la production de nouvelles connaissances scientifiques. De plus, puisque les activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs impliquent parfois la collaboration avec des étudiants-chercheurs, nous adoptons une position mitoyenne en avançant que l'intégration peut être un processus à la fois individuel et collectif. Ainsi, nous en venons à proposer notre propre définition de l'interdisciplinarité qui consiste en un mode de production de connaissances scientifiques sur une base individuelle ou collective qui repose sur l'intégration de connaissances issues de plusieurs disciplines scientifiques.

Dans notre revue de la littérature, nous recensons une multitude d'études ayant pour objectif de mesurer l'interdisciplinarité. Ces études s'intéressent généralement à des articles scientifiques, à des revues savantes ou encore à des programmes de recherche. Nous remarquons également plusieurs niveaux d'agrégation différents. Parfois, les études portent sur un groupe de chercheurs, un regroupement de recherche ou encore la production d'un pays. Enfin, les études s'intéressent à une variété de disciplines scientifiques comme la science physique, l'astrobiologie, la démographie, la recherche opérationnelle et la toxicologie. Cependant, à notre connaissance, très peu d'études portent sur les disciplines des sciences sociales et encore moins sur la relation entre le génie et les sciences sociales.

2.4.4.2 Les activités de recherche en milieu universitaire

Le modèle d'université de recherche repose sur des professeurs-chercheurs qui assument simultanément les fonctions d'enseignement et de recherche. Au niveau des cycles supérieurs, cette double fonction s'articule autour d'activités de recherche qui permettent non seulement de produire de nouvelles connaissances, mais aussi de former la relève en recherche par le biais de projets dans les programmes de maîtrise et de doctorat. Ces activités culminent respectivement par la publication d'articles scientifiques, la rédaction d'un mémoire de maîtrise et la rédaction d'une thèse de doctorat.

Les méthodes actuellement utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité se concentrent majoritairement sur les activités de recherche culminant par la publication d'un article scientifique dans une revue savante. Ceci s'explique par le fait que ces activités « laissent des traces, et des données que l'on peut normaliser et agréger » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 41). Larivière et Sugimoto (2018) mentionnent que les bases de données bibliographiques sont des « sources d'information indirectes » qui fournissent « des données uniformes » beaucoup plus faciles à agréger « que les questionnaires à portée restreinte » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 11). Cette position rejoint celle de Wagner et al. (2011) qui insistent sur le fait qu'il est plus difficile d'observer le processus d'intégration que de mesurer le résultat; c'est-à-dire l'extrait de ce processus. Ainsi, les méthodes de mesure actuellement les plus répandues sont basées sur l'analyse des données secondaires.

Ainsi, pour caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, nous retenons des méthodes de mesure qui permettent de rendre compte non seulement de l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances, mais aussi de l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées la formation de la relève en recherche. Dans le Chapitre 3 qui débute à la page suivante, nous détaillons la méthodologie que nous avons utilisée pour atteindre l'objectif de notre étude.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Rappelons que l'objectif de notre étude consiste à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en génie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales. Au Chapitre 2, nous avons fait ressortir le fait que les activités de recherche comprennent non seulement la production de nouvelles connaissances scientifiques, mais aussi la formation de la relève en recherche. Le présent chapitre décrit la méthodologie utilisée pour caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche d'un échantillon de 25 professeurs-chercheurs de la section industriel de *Polytechnique Montréal*.

Le Chapitre 3 se divise en quatre sections. Nous débutons par présenter les trois méthodes bibliométriques que nous avons retenues pour caractériser l'interdisciplinarité. Pour les activités reliées à la production de nouvelles connaissances, nous utilisons l'analyse des revues savantes et l'analyse des références. Pour les activités reliées à la formation de la relève en recherche, nous nous inspirons de l'analyse des copublications pour analyser les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat réalisés en codirections. Puis, nous définissons les paramètres de notre étude. Dans la troisième section, nous décrivons les propriétés des deux BDB utilisées. Enfin, nous décrivons chacune des étapes à suivre pour mener l'analyse des revues savantes (section 3.4.2), l'analyse des références (section 3.4.3), et l'analyse des codirections (section 3.4.4). L'arborescence illustrée à la Figure 3.1 représente les liens entre les BDB et les méthodes bibliométriques utilisées.

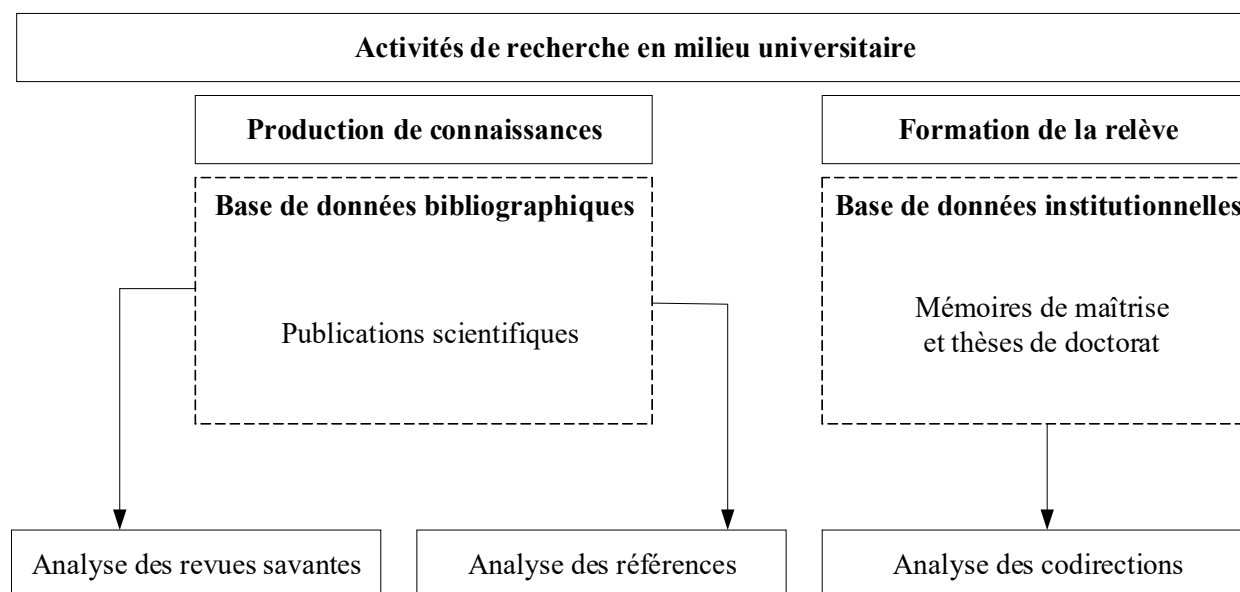


Figure 3.1 : Méthodes de mesure utilisées et BDB correspondantes.

3.1 Méthodes de mesure

Dans la sous-section 2.4.3 de ce mémoire, nous présentons plusieurs méthodes différentes permettant de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche. Parmi les 9 méthodes présentées au Tableau 2.4 nous en retenons trois : **1)** l'analyse des revues savantes; **2)** l'analyse des références; **3)** l'analyse des copublications. Les deux premières permettent de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances tandis que la troisième permet de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève.

3.1.1 Production de nouvelles connaissances

Nous utilisons l'analyse des revues savantes et l'analyse des références pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliée à la production de nouvelles connaissances scientifiques. Ces deux méthodes reposent sur l'analyse des métadonnées des publications scientifiques que l'on retrouve dans les BDB. Dans le cas de l'analyse des revues savantes, une publication scientifique est considérée comme étant interdisciplinaire si l'appartenance disciplinaire des auteurs est différente de la discipline de la revue savante de publication. Dans le cas de l'analyse des références, une publication scientifique est considérée comme étant interdisciplinaire si on retrouve des citations provenant de revues savantes de différentes disciplines dans la liste des références.

Ces deux méthodes nous apparaissent appropriées pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances. En effet, le processus de production de connaissances en milieu universitaire culmine généralement par une publication scientifique. Ces publications paraissent dans des revues savantes, dont la majorité est indexée dans des BDB. L'analyse des revues savantes permet de déterminer les disciplines dans lesquelles les professeurs-chercheurs contribuent à l'avancement des connaissances. De son côté, l'analyse des références permet de déterminer les disciplines desquelles proviennent les connaissances intégrées par les professeurs-chercheurs dans leurs activités de recherche.

3.1.2 Formation de la relève

Nous nous inspirons de la méthode d'analyse des copublications pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève. L'analyse des copublications s'intéresse à la liste des auteurs des publications scientifiques. Chaque auteur de la liste se voit attribuer une discipline selon la discipline de son département d'appartenance ou bien de la discipline de son diplôme de doctorat. Si la liste des auteurs d'une publication contient des auteurs avec des appartenances disciplinaires différentes, alors la publication est considérée comme étant interdisciplinaire. Cette méthode se distingue des deux autres puisqu'elle s'intéresse aux collaborations entre les chercheurs plutôt que sur les connaissances qui y sont intégrées.

Cette méthode nous apparaît appropriée pour caractériser l'interdisciplinarité des activités de formation de la relève en recherche. Les activités de formation comprennent la rédaction d'un mémoire de maîtrise ou bien d'une thèse de doctorat. En nous inspirant de l'analyse des copublications, nous proposons d'analyser les codirections, c'est-à-dire les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat dont la direction implique plusieurs professeurs-chercheurs. Ainsi, si nous retrouvons des professeurs-chercheurs d'appartenance disciplinaire parmi la liste des professeurs-chercheurs impliqués dans le travail, nous considérons que l'activité de recherche est interdisciplinaire. Puisqu'un diplôme de doctorat est généralement nécessaire pour être embauché comme professeur-chercheur dans une université, nous allons attribuer une discipline à chaque professeur-chercheur en fonction de la discipline de son diplôme de doctorat.

3.1.3 Bibliométrie et scientométrie

Les trois méthodes que nous retenons sont des méthodes bibliométriques. Les termes « bibliométrie » et « scientométrie » sont parfois utilisés de manière interchangeable. Ce sont toutefois deux sous-disciplines distinctes, mais complémentaires, des sciences de l'information. Dans les sous-sections 3.1.3.1 et 3.1.3.2 ci-dessous, nous prenons soin de les distinguer.

3.1.3.1 La bibliométrie

La bibliométrie est une sous-discipline des sciences de l'information dont l'objet d'étude englobe les publications scientifiques et leurs propriétés (Courtial & Barré, 1990; Gingras, 2014). Les publications scientifiques comprennent non seulement les articles scientifiques publiés dans des revues savantes, mais également les communications de conférence, les rapports ou encore les

brevets d'invention (Larivière & Sugimoto, 2018). Parmi les propriétés d'une publication scientifique qui peuvent faire l'objet d'une analyse bibliométrique, mentionnons la liste des auteurs ou encore la liste des références (Larivière & Sugimoto, 2018).

Les fondements de la bibliométrie résident dans les travaux du chimiste et documentaliste américain Eugene Garfield (Birkle et al., 2020; Mongeon & Paul-Hus, 2016). En 1960, Garfield fonde l'*Institute for Scientific Information* (ISI) (Clarivate Analytics, 2021a). Quelques années plus tard, en 1964, l'ISI rendra disponible, en format papier, le tout premier index de citation, le *Science Citation Index* (SCI) qui recense de l'information relative aux articles scientifiques publiés dans les revues savantes des sciences naturelles (Birkle et al., 2020). Cet index, en plus de faciliter les recherches bibliographiques, permet également d'identifier les idées partagées entre les articles scientifiques (Garfield, 1955). Le SCI est l'ancêtre de la BDB *WoS* que nous connaissons aujourd'hui. Dans sa forme contemporaine, la bibliométrie consiste en l'élaboration d'indicateurs de mesure permettant de rendre compte de différents aspects liés aux publications scientifiques à partir des données que l'on retrouve dans les BDB (Gingras, 2014; Larivière & Sugimoto, 2018).

3.1.3.2 La scientométrie

La scientométrie est une discipline dont l'objet d'étude consiste en la mesure quantitative de l'évolution des activités scientifiques (Gingras, 2014; Noyer, 1995; Zitt, 2005). Les fondements de la scientométrie résident dans les travaux du physicien et historien britannique Derek J. de Solla Price (Gingras, 2014; Larivière & Sugimoto, 2018; Noyer, 1995). Au début des années 1960, Price souhaite « appliquer à la science ses propres instruments » (Price, 1972, p. III). Son intention est alors d'étudier la science d'un point de vue quantitatif plutôt que qualitatif à l'aide de la statistique en « mettant au point un calcul de la main-d'œuvre, de la littérature, du talent et des dépenses scientifiques, à l'échelle nationale et internationale » (Price, 1972, p. IV). Dans sa forme contemporaine, la scientométrie propose des indicateurs qui permettent de rendre compte, notamment, de l'évolution des ressources financières investies dans le développement des activités scientifiques ou encore de l'évolution du nombre d'institutions de recherche.

Dans notre étude, les trois méthodes de mesure que nous utilisons reposent sur les publications scientifiques et leurs propriétés. C'est pourquoi nous précisons que ce sont trois méthodes bibliométriques.

3.2 Paramètres de l'étude

Notre étude s'inscrit dans une démarche exploratoire. En effet, à notre connaissance, aucune autre étude bibliométrique n'utilise les propriétés des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat pour mesurer l'interdisciplinarité. Nous choisissons de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche d'un échantillon de convenance. Cette décision est précisée dans la section 3.2.1. Dans la section 3.2.2, nous décrivons les paramètres de notre étude.

3.2.1 Nature de l'échantillon de l'étude

Dans notre étude, nous mesurons l'interdisciplinarité des activités de recherche menées par 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*. Selon le site Web de l'institution, elle comprend 8 départements, dont les activités de recherche sont reliées à des disciplines de l'ingénierie (génie mécanique, génie chimique, génie électrique, génie industriel ...) (Polytechnique Montréal, 2022a). Guay (2014), distingue deux types d'échantillons : probabilistes et non probabilistes. « Dans le premier cas, chaque individu de la population possède la même probabilité d'être retenu que les autres. Dans le second cas, non » (Guay, 2014, p. 34). Dans notre étude, nous utilisons un échantillon non probabiliste. Plus précisément, puisque notre démarche se veut exploratoire, nous utilisons un échantillon de convenance, c'est-à-dire que nous ciblons un groupe d'individus spécifique correspondant aux objectifs poursuivis. En ce sens, dans le département de génie industriel de *Polytechnique Montréal*, nous savons qu'il y a à la fois des professeurs-chercheurs possédant une formation en sciences sociales et des professeurs-chercheurs possédant une formation en génie.

3.2.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

Dans cette section, nous prenons soin de préciser les critères d'inclusion et d'exclusion relatifs à notre étude. Nous en distinguons 5 :

- (1) **Professeurs-chercheurs:** le choix des professeurs-chercheurs n'est pas aléatoire. Nous choisissons 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal* possédant une formation en sciences sociales ou en ingénierie.

- (2) **Téléchargement des données** : les données sont téléchargées le 24 juillet 2021 de la BDB *WoS* et de la BDI *PolyPublie*. Les données ajoutées dans les BDB après cette date ne sont pas considérées dans notre étude.
- (3) **Langues** : dans l'étude, nous considérons l'ensemble des publications scientifiques et des travaux, peu importe la langue.
- (4) **Types de publications** : dans la BDB *WoS*, nous retrouvons plusieurs types de publications scientifiques. Nous retenons uniquement les publications du type : *Article*, *Proceedings Paper* et *Review*.
- (5) **Période d'étude** : nous définissons la période d'étude de 2009 à 2019. Ainsi, seuls les mémoires de maîtrise, les thèses de doctorat, et les publications scientifiques réalisées durant cette période seront compris dans notre échantillon.

Le choix des limites de la période d'étude est motivé par deux raisons. Pour la limite basse (2009), nous sommes contraints par la couverture de la BDI *PolyPublie*. Seuls les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat remis après le mois de septembre 2009 sont compris dans la BDI. Pour définir la limite supérieure (2019), nous nous appuyons sur les résultats d'une étude bibliométrique réalisée par Rinia et al. (2001) qui porte sur la vitesse de transfert des connaissances au sein des disciplines ainsi qu'entre les disciplines. Les résultats de l'étude de Rinia et al. (2001) montrent que 42% des références que l'on retrouve dans les revues savantes d'ingénierie proviennent d'articles publiés dans des revues savantes il y a moins de 5 ans. Cette proportion augmente à 72% sur un horizon de 10 ans. En distinguant les références provenant de revues savantes d'ingénierie à celles provenant de revues savantes d'autres disciplines (dans l'article *internal references (Ri)* et *external references (Re)*), les résultats de l'étude de Rinia et al. (2001) suggèrent que l'âge de répartition des références à des revues savantes d'ingénierie est moins élevé que celui des références provenant des revues savantes d'autres disciplines. En moyenne, l'âge de répartition est plus élevé d'une année. En d'autres termes, le transfert de connaissances interdisciplinaires entre le génie et les autres disciplines se fait moins rapidement (Larivière & Gingras, 2014). En respectant une période de deux ans entre le moment de notre étude et les données téléchargées tout en choisissant une période de 10 ans, nous couvrons une proportion importante des références.

3.3 Les bases de données

Dans notre étude, nous utilisons les données provenant de deux BDB. L'analyse des revues savantes et l'analyse des références utilisent les données de la BDB *WoS*. L'analyse des codirections utilise les données de la BDI *PolyPublie*. Dans les sous-sections suivantes, nous expliquons en quoi consiste une BDB en plus de présenter les propriétés respectives des deux bases de données que nous utilisons.

3.3.1 Base de données bibliographiques

Dans une base de données bibliographiques (BDB), nous retrouvons différents types de publications scientifiques, notamment des articles scientifiques publiés dans des revues savantes, des communications de conférence ou encore des actes de colloques (Larivière & Sugimoto, 2018). Chaque publication scientifique que l'on retrouve dans une BDB est associée à une série de métadonnées : auteurs, année de publication, titre de la publication et l'éditeur notamment (Larivière & Sugimoto, 2018; Waltman & Larivière, 2020). Certaines BDB se distinguent des autres puisqu'elles comprennent également un ou plusieurs index de citation (Birkle et al., 2020; Mongeon & Paul-Hus, 2016).

Un index de citation comprend les références des textes cités par le ou les auteurs d'une publication scientifique. La présence de la liste des références dans les métadonnées d'une BDB permet d'établir des liens entre les publications scientifiques qui se trouvent dans la BDB. En plus de la liste des références et des métadonnées courantes, un index de citation peut également comprendre l'adresse institutionnelle des auteurs ce qui permet d'obtenir des informations géographiques comme le département, l'université, la ville et le pays dans lequel se trouvent le ou les auteurs (Larivière & Sugimoto, 2018).

3.3.2 Web of Science

La BDB *Web of Science (WoS)* est la propriété de la société *Clarivate Analytics* (Birkle et al., 2020). Créée en 1964, c'est la toute première et la plus ancienne BDB (Birkle et al., 2020). La collection centrale (en anglais *Web of Science Core Collection*) comprend trois index de citation différents que nous présentons dans le Tableau 3.1, page suivante (Singh et al., 2021; Visser et al., 2021).

Tableau 3.1 : Index de citation de la collection centrale de *WoS*.

| Index de citation | Années | Types de publications savantes |
|---|---------------|---------------------------------------|
| <i>Science Citation Index Extended</i> (SCIE) | 1964 | Revue de sciences naturelles |
| <i>Social Sciences Citation Index</i> (SSCI) | 1973 | Revue de sciences sociales |
| <i>Arts & Humanities Citation Index</i> (A&HCI) | 1978 | Revue de sciences humaines |

Selon les données les plus récentes recensées par Birkle et al. (2020) qui sont des employés de *Clarivate Analytics*, la couverture des trois index de citation s'élève à 75 millions de publications. Environ 20 900 revues savantes sont indexées. Plusieurs auteurs, notamment Birkle et al. (2020) et Singh et al. (2021) soulignent le fait que chaque revue passe par un processus de sélection avant d'être indexée, ce qui permet d'assurer un contrôle de la qualité. Dans *WoS*, les auteurs dont les publications sont indexées dans la BDB peuvent se créer un profil qui repose sur un identifiant unique : le *Researcher ID*. Ainsi, les publications d'un même auteur peuvent être regroupées, ce qui facilite l'identification des travaux (Clarivate Analytics, 2021b). Toutefois, la création des profils et le regroupement des travaux ne se font pas automatiquement. L'intervention de l'auteur est nécessaire. Or, ce ne sont pas tous les auteurs qui ont adopté cet identifiant (Larivière & Sugimoto, 2018). Ainsi, Larivière et Sugimoto préviennent que « la bibliométrie à l'échelle individuelle à partir de cette source [*Web of Science*] demeure problématique, car elle demande un important travail de nettoyage des données » (2018, p. 41).

Précédemment, dans la section 2.2.2, nous avons fait mention du fait que la BDB *WoS* utilise un système de classification disciplinaire. Plus particulièrement, *WoS* emploie deux systèmes différents : **1**) par domaine de recherche (en anglais *Web of Science categories* (WC)); **2**) par sujet (en anglais *subject area* (SC)). « Le premier divise le monde de la recherche en cinq grands domaines et 151 disciplines ; le second répartit les revues [savantes] en 252 sujets. On attribue un domaine de recherche à toutes les ressources indexées par le *WoS*, tandis que les sujets, plus précis, sont réservés aux documents qui constituent la collection centrale du *WoS* » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 62). Nous tenons à mentionner que l'accès aux données comprises dans *WoS* nécessite un abonnement payant.

3.3.3 PolyPublie

En 2009, l'équipe du service informatique de *Polytechnique Montréal*, en collaboration avec les employés de la bibliothèque scientifique *Louise-Lalonde-Lamarre*, met en ligne un dépôt institutionnel qui porte le nom de *PolyPublie*⁵. L'objectif de la mise en place de ce dépôt institutionnel est de rassembler et de diffuser les publications issues des travaux de recherche des étudiants, chercheurs et professeurs de *Polytechnique Montréal*. Le dépôt institutionnel consiste en une BDB à l'intérieur de laquelle nous retrouvons la version intégrale, en format électronique, des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat réalisés par les étudiants-chercheurs aux cycles supérieurs de l'ensemble des départements de l'institution, après septembre 2009. Pour chaque mémoire et chaque thèse, une série de métadonnées est associée : nom de l'étudiant, département, titre du mémoire ou de la thèse, année de remise, nom du ou des directeurs de recherche / co-directeur de recherche, ainsi qu'un numéro d'identification unique. Dans notre étude, dans le but de distinguer les bases de données que nous utilisons, nous utilisons l'abréviation « BDB » pour une base de données bibliographiques et « BDI » pour une base de données institutionnelles.

3.3.4 Autres bases de données

Pour réaliser une étude bibliométrique, Mongeon et Paul-Hus (2016), Singh et al. (2021), et Visser et al. (2021) s'entendent sur le fait que *WoS* et *Scopus*, pour des raisons majoritairement historiques, sont les deux plus utilisées. Créées respectivement en 1964 et 2004, *WoS* et *Scopus* furent longtemps les deux seules BDB comportant un ou plusieurs index de citation permettant de réaliser des analyses bibliométriques. Dans les dernières années, de nouvelles BDB font leur apparition. Après *Google Scholar* en 2005 et *Dimensions* en 2018, plusieurs BDB sont maintenant disponibles pour réaliser des analyses bibliométriques. Pour notre étude, nous sommes contraints d'utiliser *WoS* puisque la bibliothèque de notre institution y est abonnée.

⁵ Pour accéder au dépôt institutionnel de *Polytechnique Montréal*, simplement cliquer sur le lien suivant : <https://publications.polymtl.ca/>

3.3.4.1 Scopus

Scopus est la propriété de l'éditeur scientifique *Elsevier* (Baas et al., 2020). Sa commercialisation, en 2004, met fin au monopole de *WoS* qui était, depuis 1964, la seule BDB disponible sur le marché (Mongeon & Paul-Hus, 2016). *Scopus* ne contient qu'un seul index de citation. Selon les données les plus récentes recensées par Baas et al. (2020), employés d'*Elsevier*, la couverture de l'index de citation s'élève à 76 millions de publications. Environ 39 100 revues savantes sont indexées. L'éditeur scientifique *Elsevier*, en plus de posséder la BDB *Scopus*, est également un éditeur de revues savantes. Il est donc possible d'accéder au texte intégral de certains documents sur le site Web de la BDB. Baas et al. (2020) soulignent que les publications savantes que l'on retrouve dans *Scopus* font l'objet d'une sélection rigoureuse réalisée par un comité consultatif indépendant. Enfin, *Scopus* possède un algorithme de désambiguïsation automatique des noms d'auteurs « qui permet d'attribuer les articles à des individus précis » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 46).

3.3.4.2 Dimensions

La BDB *Dimensions* est la propriété de l'entreprise britannique *Digital Science* (Visser et al., 2021). Commercialisée depuis 2016, la couverture de *Dimensions* comprend plus de 36 millions de documents. Parmi les 36 millions de documents, nous retrouvons non seulement des articles, mais aussi « des subventions, des ensembles de données, des essais cliniques, des brevets et des documents de politique générale » Visser et al. (2021, p. 22). Si la couverture très étendue apparaît attrayante, Visser et al. (2021) préviennent toutefois que les documents indexés dans *Dimensions* ne sont pas tous associés à une discipline, ce qui peut limiter certaines analyses bibliométriques. De leur côté, Singh et al. (2021) préviennent que *Dimensions* inclut également des publications scientifiques qui n'ont pas encore été révisées par les pairs (dans l'article *preprints*) ce qui peut compromettre la qualité de certaines données.

3.3.4.3 Google Scholar

Propriété de l'entreprise américaine *Google*, *Google Scholar* exploite « les capacités d'indexation massive » de son moteur de recherche afin d'identifier des documents à caractère scientifique (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 30). Nous utilisons ici le terme document plutôt que publications scientifiques puisqu'on y retrouve également des présentations PowerPoint, des plans de cours, des chapitres et « tout ce qui ressemble de près ou de loin à une publication universitaire » (Larivière

& Sugimoto, 2018, p. 47). *Google Scholar* n'est pas une BDB à proprement parler. Son usage dans le but de mener des études bibliométriques fait d'ailleurs l'objet de vives critiques. Larivière et Sugimoto (2018, p. 48) insistent sur le fait que « les données de *Google Scholar* sont incomplètes et sont en général de faible qualité ». Cette faible qualité est reliée au fait que *Google Scholar* est incapable de « distinguer les vrais articles scientifiques des documents qui n'en ont que l'apparence » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 48). La critique se retrouve également dans les travaux de Mongeon et Paul-Hus (2016) qui soulignent que la faible qualité des données que l'on retrouve dans *Google Scholar* « décourage son utilisation à des fins d'évaluation de la recherche » Mongeon et Paul-Hus (2016, p. 214).

3.3.4.4 Comparaison de la couverture des BDB

Les études réalisées par Mongeon et Paul-Hus (2016) et Singh et al. (2021) comparent la couverture des BDB présentées dans les sous-sections précédentes. L'étude menée par Singh et al. (2021) met en évidence le fait que la couverture de *Dimensions*, au niveau des revues savantes, est plus étendue que celle de *WoS* et de *Scopus*. En effet, 96.61 % des revues savantes indexées dans le *WoS* et 96.42 % des revues de *Scopus* se retrouvent également dans *Dimensions*. Dans leur étude, Mongeon et Paul-Hus (2016) s'intéressent à la couverture disciplinaire des BDB et comparent la liste des revues savantes indexées dans *WoS* et *Scopus* à celle de la BDB *Ulrich's Periodical Directory*⁶. Plus particulièrement, les auteurs s'intéressent à déterminer la liste de revues savantes comprises dans les quatre disciplines suivantes : **1)** sciences naturelles et ingénierie; **2)** recherche biomédicale; **3)** sciences sociales; **4)** sciences humaines. Les résultats de l'étude de Mongeon et Paul-Hus (2016) laissent entrevoir le fait que la couverture de *WoS* est plus étendue que celle de *Scopus* au niveau des revues savantes dans deux des quatre disciplines : sciences naturelles et ingénierie et sciences humaines. La couverture de *Scopus* est cependant plus étendue en recherche biomédicale ainsi qu'en sciences sociales. Soulignons toutefois que ni la couverture de *WoS*, ni celle de *Scopus* ne sont exhaustives puisqu'elles ne recouvrent respectivement que 22 % et 33 % de l'ensemble des revues savantes de la BDB *Ulrich's Periodical Directory*.

⁶ Le site Web de la base de données bibliographiques *Ulrich's Periodical Directory* est accessible en cliquant sur le lien suivant : <https://www.library.ucsb.edu/research/db/338>

Les résultats de l'étude de Mongeon et Paul-Hus (2016) nous amènent à nous interroger si les résultats peuvent être différents en utilisant la BDB *Scopus* plutôt que *WoS*. En effet, les résultats de l'étude menée par Mongeon et Paul-Hus (2016) suggèrent que la couverture de *Scopus* est plus étendue que celle de *WoS* au niveau des revues savantes des sciences sociales. Pour répondre à cette question, nous nous appuyons sur les résultats d'une étude interne réalisée par Brodeur (2021), analyste de la bibliothèque scientifique *Louise-Lalonde-Lamare de Polytechnique Montréal*. Dans cette étude interne, Brodeur (2021) compare la couverture de *WoS* et de *Scopus* en regard des publications scientifiques des étudiants-chercheurs et des professeurs-chercheurs de *Polytechnique Montréal* entre 2010 et 2021. L'étude interne montre que la couverture des publications scientifiques des professeurs-chercheurs du département de MAGI s'élève à 81 % dans *Scopus* et à 79 % dans *WoS*. L'écart de 2 % entre les couvertures représente, en chiffres, une différence de 24 publications scientifiques. Selon nous, cet écart est non significatif. Ainsi, l'utilisation de la BDB *Scopus* n'aurait pas eu d'impact sur les résultats que nous avons obtenus avec le BDB *WoS*. Les données sont présentées dans le Tableau B.1 de l'Annexe B.

3.4 Description de la méthodologie

Dans cette section, nous décrivons en détail les étapes ayant permis de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche. Nous divisons la section 3.4 en quatre sous-sections. D'abord, nous présentons les étapes relatives aux téléchargements des métadonnées des deux BDB utilisées. Puis, nous décrivons les étapes pour chacune des trois méthodes de mesure que nous utilisons dans les sous-sections 3.4.2, 3.4.3, et 3.4.4 dans l'ordre suivant : analyse des revues savantes, analyse des références et analyse des codirections.

3.4.1 Téléchargement des données

Comme nous l'avons représenté à la Figure 3.1, deux des trois méthodes de mesures, soit l'analyse des revues savantes et l'analyse des références reposent sur les métadonnées disponibles dans la BDB *WoS*. La troisième méthode, l'analyse des codirections, repose sur les métadonnées que nous retrouvons dans la BDI *PolyPublie*. Dans les deux sous-sections suivantes, nous décrivons les étapes à suivre pour télécharger les données, d'abord dans *WoS* (3.4.1.1) puis dans *PolyPublie* (3.4.1.2).

3.4.1.1 Téléchargement de Web of Science

Le téléchargement des métadonnées relatives aux publications scientifiques des professeurs-chercheurs de notre échantillon peut se faire directement sur le site Web de la BDB *WoS*.

1) La première étape consiste à identifier les publications scientifiques des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Dans la section 3.3, nous mentionnons que *WoS* ne dispose pas d'un algorithme de désambiguïsation automatique des noms d'auteurs. Ainsi, il faut identifier manuellement le profil qui correspond le mieux aux 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon. Pour faire cela, nous utilisons le moteur de recherche par auteurs. Sous l'onglet « RESEARCHER » nous sélectionnons « Name Search » puis entrons le prénom et le nom du premier professeur-chercheur de notre liste. Après avoir cliqué sur le bouton « Search », une nouvelle page Web apparaît. Sur cette page, nous retrouvons un ou plusieurs profils d'auteur (en anglais « Author Profile »). Seulement 7 des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon possèdent un *Researcher ID*.

2) La deuxième étape consiste à identifier le profil d'auteur qui correspond à celui du professeur-chercheur de notre échantillon. Pour l'identifier, nous portons attention à différents éléments. Par exemple, nous portons d'abord attention à l'affiliation institutionnelle des auteurs. Plus particulièrement aux profils qui sont affiliés à *Polytechnique Montréal* ou encore au département de mathématiques et de génie industriel de *Polytechnique Montréal*. Au besoin, pour valider notre approche, nous comparons la liste des publications que l'on retrouve dans les profils des professeurs-chercheurs sur *WoS* à la liste des publications de la bibliothèque scientifique *Louise-Lalonde-Lamarre* de *Polytechnique Montréal*. Cette liste, mise à jour régulièrement par le personnel de la bibliothèque, recense les publications scientifiques des professeurs-chercheurs de l'institution. Nous sommes ainsi capables de désambiguïser les noms des professeurs-chercheurs dans la BDB en plus de valider les publications identifiées dans *WoS*.

3) La troisième étape consiste à télécharger l'ensemble des métadonnées ainsi que les références relatives aux publications scientifiques qui sont associés au profil sélectionné. Pour faire cela, il faut d'abord modifier l'affichage du profil à l'écran en cliquant sur « View as set of results ». En cliquant sur « Export », un menu déroulant apparaît. Nous sélectionnons « Tab delimited file », « All records on page » puis dans le menu déroulant « Record Content », nous sélectionnons « Full Record and Cited References ». Le téléchargement d'un fichier en format .txt se fait automatiquement. Au terme de cette étape, nous obtenons 723 publications.

4) La quatrième étape consiste au traitement préliminaire et à la mise en forme des données téléchargées. Nous convertissons d'abord le fichier du format .txt vers le format .exc afin de pouvoir le traiter avec Microsoft Excel. Chaque fichier comprend 67 colonnes différentes. Chaque colonne correspond à une métadonnée particulière. La signification de l'en-tête de chacune des colonnes est présentée dans le Tableau C.1 de l'Annexe C⁷. À l'aide de l'option « Filter », appliquée à la colonne intitulée « PY », nous retirons les publications scientifiques qui ne sont pas comprises dans la période d'étude allant de 2009 à 2019. Toujours à l'aide de l'option « Filter » appliquée à la colonne « DT », nous retirons les types de publications scientifiques qui ne font pas partie de ceux spécifiés dans la section 3.2.2. Enfin, à l'aide de la fonction « Remove Duplicates », nous éliminons les publications scientifiques en double. Mentionnons que les étapes 2, 3, et 4 doivent être répétées pour chacun des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Au terme de cette étape, nous obtenons 546 publications.

5) Nous combinons les publications scientifiques de chacun des professeurs-chercheurs dans un seul fichier. À l'aide de la fonction « Remove Duplicates », nous éliminons les publications scientifiques en double. Nous obtenons alors une liste comprenant 479 publications scientifiques. Cette liste représente l'ensemble des publications scientifiques des professeurs-chercheurs de notre échantillon.

3.4.1.2 Téléchargement de PolyPublie

Le téléchargement des métadonnées relatives aux mémoires de maîtrise et aux thèses de doctorat dans lesquelles les professeurs-chercheurs de notre échantillon sont impliqués ne peut pas se faire directement sur le site Web de la BDI *PolyPublie*. Pour accéder aux données, nous devons demander l'aide au technicien du service informatique de la bibliothèque scientifique *Louise-Lalonde-Lamarre* de *Polytechnique Montréal*⁸. Le technicien nous fait parvenir un fichier

⁷ La liste des en-têtes est également disponible sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant : https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/hs_WoS_fieldtags.html

⁸ Nous tenons à remercier Monsieur Robin Sylvestre, technique au service informatique de la bibliothèque scientifique *Louise-Lalonde-Lamarre* de *Polytechnique Montréal* pour son aide relative aux téléchargements de données utilisées pour réaliser notre étude.

compatible avec Microsoft Excel dans lequel on retrouve les métadonnées de 4 922 travaux (mémoires et maîtrise et thèses de doctorat). Le fichier comprend 22 colonnes différentes. La signification de l'en-tête de chacune des colonnes est présentée dans le Tableau C.2 de l'Annexe C. Ce même technicien nous partage également une liste comportant le prénom, le nom, et le département d'appartenance de 489 professeurs-chercheurs ayant travaillé à *Polytechnique Montréal*⁹. Cette liste, nous l'utiliserons pour la méthode d'analyse des codirections décrite dans la sous-section 3.4.4.

Une fois le fichier téléchargé, nous procédons au traitement préliminaire et à la mise en forme des métadonnées. À l'aide de l'option « Filter », appliquée à la colonne intitulée « status_changed », nous retirons les travaux qui ne sont pas compris dans la période d'étude. Nous obtenons une liste de 4 579 travaux. Mentionnons que nous ne supprimons pas de tout de suite les doublons. En effet, nous constatons que les métadonnées des mémoires et des thèses réalisés en codirection sont répétées. En ce sens, toutes les métadonnées sont identiques à l'exception des colonnes intitulées « director_thesis.family » et « director_thesis.given » relatives aux prénoms et aux noms des professeurs-chercheurs qui ont participé à la réalisation du travail. Nous utiliserons les doublons pour l'analyse des codirections afin de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche.

3.4.2 Analyse des revues savantes

Dans la section 2.4.3 du Chapitre 2, nous présentons plusieurs méthodes différentes permettant de caractériser l'interdisciplinarité. Nous présentons notamment l'analyse des revues savantes, une méthode utilisée par Rinia et al. (2002) pour caractériser l'interdisciplinaire des programmes de recherche en sciences physiques des Pays-Bas. Rinia et al. (2002) s'intéressent aux disciplines des revues savantes dans lesquelles les chercheurs des programmes publient des articles scientifiques. Si les articles scientifiques paraissent dans des revues savantes dont l'affiliation disciplinaire n'est pas reliée à une discipline des sciences physiques, Rinia et al. (2002) considèrent que le programme de recherche est interdisciplinaire. Pour déterminer l'affiliation disciplinaire des revues savantes, les auteurs se basent sur le système de classification disciplinaire de la BDB *WoS*.

⁹ Pour des raisons de confidentialité, le nom et le prénom des professeurs-chercheurs figurant sur cette liste ne sont pas présentés.

Nous utilisons une approche semblable pour caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Nous déterminons d'abord dans quelles revues savantes paraissent les 479 publications scientifiques recensées dans la BDB *WoS*. Chacune des revues savantes indexées dans la collection centrale du *WoS* est associée à un ou plusieurs domaines de recherche (WC). En relevant les différents WC associés aux revues savantes dans lesquelles publient les professeurs-chercheurs, nous serons en mesure de déterminer dans quelles disciplines les professeurs-chercheurs contribuent au développement des connaissances.

3.4.2.1 Identification des revues savantes

Au terme de la section 3.1, nous avons obtenus un fichier en format Excel comportant la liste des 479 publications scientifiques auxquelles les professeurs-chercheurs de notre échantillon ont contribué. Pour l'analyse des revues savantes, nous portons attention aux métadonnées comprises dans les colonnes intitulées « PY », « SO » et « WC ». Dans le Tableau 3.2, nous présentons un exemple de l'information que nous retrouvons dans ces colonnes.

Tableau 3.2 : Métadonnées utilisées pour l'analyse des revues savantes.

| PY | SO | WC |
|-------------|---|---|
| 2017 | CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING | Engineering, Civil |
| 2015 | IFAC PAPERSONLINE | Automation & Control Systems |
| 2019 | FORESTS | Forestry |
| 2018 | SCIENTIFIC REPORTS | Multidisciplinary Sciences |
| 2010 | INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | Engineering, Environmental; Environmental Sciences |

Selon la liste présentée au Tableau A.1 de l'annexe A, la première colonne intitulée « PY » correspond à l'année de publication; la seconde « SO » correspond au titre de la revue savante et la troisième « WC » aux domaines de recherche associés à la revue savante dans laquelle paraît la publication. Nous regroupons les métadonnées de la colonne « SO » dans un tableau croisé dynamique ce qui permet d'identifier les revues savantes dans lesquelles les professeurs-chercheurs ont publié le plus souvent entre 2009 et 2019. Un extrait est présenté dans le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Identification du titre des revues savantes.

| SO | Nombre de publications |
|--|-------------------------------|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | 28 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | 23 |
| JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING | 16 |
| SAFETY SCIENCE | 15 |
| JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION | 13 |
| IFAC PAPERSONLINE | 13 |
| TRANSPORTATION RESEARCH RECORD | 13 |

Ainsi, les données présentées dans le Tableau 3.3 permettent de déterminer que 28 publications scientifiques paraissent dans la revue intitulée « INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT » sur la période d'étude.

3.4.2.2 Identification des domaines de recherche

Dans le Tableau 3.2, la dernière colonne intitulée « WC » permet d'obtenir le ou les domaines de recherche associés à la revue savante dans laquelle paraît la publication scientifique. Nous remarquons que la revue savante « INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT » est associée à deux WC : « Engineering, Environmental » et « Environmental Sciences ». Les deux WC sont séparés par un point-virgule. À l'aide de la fonction « Text to Columns » d'Excel, nous séparons les WC de chacune des 479 revues savantes. Nous obtenons ainsi une liste comportant 993 WC. Un extrait de cette liste reprenant les données des colonnes PY et WC du Tableau 3.2 est présenté dans le Tableau 3.4.

Tableau 3.4 : Extrait de la liste des WC associés aux revues savantes.

| PY | WC |
|-------------|-----------------------------------|
| 2017 | Engineering, Civil |
| 2015 | Automation & Control Systems |
| 2019 | Forestry |
| 2018 | Multidisciplinary Sciences |
| 2010 | Engineering, Environmental |
| 2010 | Environmental Sciences |

Dans le Tableau 3.4, les deux WC associés à la revue savante « INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT » sont maintenant séparés en deux rangées distinctes. À partir des données que l'on retrouve dans la liste des WC dont un extrait est présenté au Tableau 3.4, nous utilisons un tableau croisé dynamique afin de faire ressortir les WC qui sont le plus souvent associés aux revues savantes dans lesquelles les professeurs-chercheurs publient. Un extrait est présenté dans le Tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Identification des domaines de recherche (WC) associés aux publications.

| WC | Nombre de publications |
|--|-------------------------------|
| Engineering | 278 |
| Operations Research & Management Science | 117 |
| Computer Science | 105 |
| Environmental Sciences & Ecology | 85 |
| Business & Economics | 64 |
| Transportation | 39 |
| Science & Technology - Other Topics | 31 |

Les données présentées dans le Tableau 3.5 permettent de déterminer que 278 publications scientifiques paraissent dans des revues savantes associées au domaine de recherche « *Engineering* » sur la période d'étude.

3.4.2.3 Identification de l'index de citation des domaines de recherche

Nous pouvons déterminer à quel index de citation chacun des WC de notre liste est associé. Pour faire cela, nous utilisons la liste des WC compris dans le SCIE, le SSCI et le AHCI disponible sur le site Web de *Clarivate Analytics*¹⁰. L'information que l'on retrouve sur cette page n'est pas dans un format qui permet le traitement avec Microsoft Excel. Manuellement, nous concevons nos propres listes des WC compris dans le SCIE, le SSCI et le AHCI qui sont respectivement présentées dans le Tableau D.1, Tableau D.2, et Tableau D.3 de l'Annexe D. La liste du SCIE (Tableau D.1) comprend 178 domaines de recherche (WC); la liste du SSCI (Tableau D.2) comprend 58 disciplines tandis que celle du AHCI (Tableau D.3) comprend 28 disciplines. Dans nos listes, nous remarquons la présence de 9 doublons; c'est-à-dire qu'il y a 9 WC associés à plus d'un index de citation. Dans le Tableau 3.6, nous présentons les WC associés à plus d'un index de citation.

Tableau 3.6 : WC associés à plus d'un index de citation.

| WC | INDEX |
|---|--------------------------|
| Cultural Studies | SSCI / AHCI |
| Green & Sustainable Science & Technology | SCIE / SSCI |
| History | SSCI / AHCI |
| History & Philosophy of Science | SCIE / SSCI/ AHCI |
| Nursing | SCIE / SSCI |
| Psychiatry | SCIE / SSCI |
| Public, Environmental & Occupational Health | SCIE / SSCI |
| Rehabilitation | SCIE / SSCI |
| Substance Abuse | SCIE / SSCI |

En retirant les doublons du Tableau 3.6, nous obtenons une liste de 254 WC différents. Les index de citation surlignés d'une police en gras dans le Tableau 3.6 sont ceux que nous attribuons aux WC reliés à plus d'un index de citation.

¹⁰ La liste complète est également disponible sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant <https://mjl.clarivate.com/help-center>

3.4.3 Analyse des références

Dans la section 2.4.3, nous présentons l'analyse des références, une méthode bibliométrique utilisée par Porter et Chubin (1985) pour mesurer l'interdisciplinarité des revues savantes associées à trois domaines de recherche (WC) de la BDB *WoS* : la démographie, la recherche opérationnelle et la toxicologie. Pour mesurer l'interdisciplinarité, les auteurs déterminent la proportion des références qui proviennent de revues savantes associées à d'autres domaines de recherche.

Nous utilisons une approche semblable pour caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche reliée à la production de nouvelles connaissances des professeurs-chercheurs de notre échantillon. À partir de la liste des références des 479 publications scientifiques, nous déterminons la revue savante de laquelle provient chaque référence. À partir des revues savantes identifiées, nous déterminons les WC correspondants. Ceci permet de déterminer les domaines de recherche desquels proviennent les connaissances intégrées par les professeurs-chercheurs.

3.4.3.1 Séparation des références

Au terme de la section 3.4.1.1, nous avons obtenus un fichier en format Excel comportant la liste des 479 publications scientifiques. Pour l'analyse des références, nous portons attention aux métadonnées comprises dans les colonnes intitulées « PY », « CR » et « WC ». Dans le Tableau 3.7, nous présentons un exemple des métadonnées, en format brut, que nous retrouvons dans la colonne « CR » à la suite du téléchargement.

Tableau 3.7 : Format brut de la liste des références à la suite du téléchargement.

| CR |
|--|
| Alstrom P, 2001, INT J PROD ECON, V71, P235, DOI 10.1016/S0925-5273(00)00122-5; Ben-Daya M, 2006, COMPUT OPER RES, V33, P1625, DOI 10.1016/j.cor.2004.11.010; Bera UK, 2009, APPL MATH MODEL, V33, P4337, DOI 10.1016/j.apm.2009.03.025; Bookbinder JH, 1999, EUR J OPER RES, V115, P300, DOI 10.1016/S0377-2217(98)00304-X; Chang CT, 2005, INT J PROD ECON, V96, P263, DOI 10.1016/j.ijpe.2004.05.002; Chang HC, 2006, EUR J OPER RES, V169, P65, DOI 10.1016/j.ejor.2004.04.044; Gershwin S. B., MANUFACTURING SYSTEM; Gross D., 1969, MANAGE SCI, V16, P71; Hajji A, 2009, INT J PROD RES, V47, P3231, DOI 10.1080/00207540701805612; Hajji A, 2011, EUR J OPER RES, V208, P67, DOI 10.1016/j.ejor.2010.08.010; He XJ, 2005, INT J PROD ECON, V97, P130, DOI 10.1016/j.ijpe.2004.05.007; Khan M, 2011, INT J PROD ECON, V132, P1, DOI 10.1016/j.ijpe.2011.03.009; Lee H. L., 1993, HDB OPERATIONS RES M, P3; LIBERATORE MJ, 1979, OPER RES, V27, P391, DOI 10.1287/opre.27.2.391; Mhada F, 2011, ANN OPER RES, V182, P213, DOI 10.1007/s10479-010-0722-1; NAHMIAS S, 1997, PRODUCTION OPERATION; |

Dans le Tableau 3.7, l'ensemble des références d'une publication sont comprises dans une seule et même cellule du tableur Excel. La première tâche qui s'impose consiste à séparer les différentes références. Les références sont séparées par un point-virgule. Nous utilisons la fonction « Text to Columns » pour les isoler les unes des autres. Une fois les références séparées, nous associons, à chacune des références, l'année de parution de la publication savante dans laquelle elle est citée. Nous obtenons le format présenté à dans le Tableau 3.8.

Tableau 3.8 : Format des références après séparation manuelle.

| PY | CR |
|-----------|---|
| 2019 | Abramo G, 2009, TECHNOVATION, V29, P498, DOI 10.1016/j.technovation.2008.11.003 |

Dans la colonne « CR » du Tableau 3.8, nous retrouvons, dans l'ordre, le nom du premier auteur, l'année de publication de la référence ainsi que le titre court de la revue savante de laquelle provient la référence. Certaines références comprennent également l'identification électronique permanente de la publication savante (en anglais *Digital Object Identifier* (DOI)).

3.4.3.2 Identification du titre de la revue savante

Dans le Tableau 3.8 l'information qui nous intéresse, c'est le titre court de la revue savante. Dans l'exemple donné au Tableau 3.8, cette information correspond à « TECHNOVATION ». Il faut isoler cette information des autres. Pour faire cela, nous utilisons la fonction « Text to Columns » d'Excel puisque le nom du premier auteur, l'année de publication de la référence et le titre court de la revue savante sont séparés par une virgule. Dans le Tableau 3.9, nous présentons le format que nous obtenons au terme du traitement.

Tableau 3.9 : Séparation de l'information contenue dans les références individuelles.

| PY | Auteur | Année | Titre court | DOI |
|-----------|---------------|--------------|--------------------|------------------------------------|
| 2019 | Abramo G | 2009 | TECHNOVATION | 10.1016/j.technovation.2008.11.003 |

Dans le Tableau 3.9, l'information dont nous avons besoin, c'est le titre court. *WoS* fournit la liste complète des revues savantes indexées dans les trois index de sa collection centrale : le SCIE, le SSCI, et le AHCI. Sur le site Web de *Clarivate Analytics*¹¹, nous téléchargeons la liste complète des revues savantes indexées dans la collection centrale : le *Journal Citations Reports* (JCR). Le nom du fichier téléchargé est : *JCR 2021*. Cette liste contient le titre court et le titre long correspondant des 20 942 revues savantes indexées dans *WoS*. Dans le Tableau 3.10, nous présentons un extrait de l'information disponible à la suite du téléchargement.

Tableau 3.10 : Extrait de l'information contenue dans la liste JCR2021.

| Title | Title20 | SCIE | SSCI | AHCI | ESCI |
|------------------------|----------------|------|------|------|------|
| AAPS JOURNAL | AAPS J | X | | | |
| ACCOUNTING AND FINANCE | ACCOUNT FINANC | | X | | |
| ACOUSTICAL PHYSICS | ACOUST PHYS+ | X | | | |

Dans le Tableau 3.10, le titre long se trouve dans la colonne intitulée « Title » alors que le titre court se trouve dans la colonne intitulée « Title20 ». Les quatre dernières colonnes permettent de savoir dans quel index de citation est indexée la revue savante. À partir de cette liste, nous associons le titre court que l'on retrouve dans la liste des références des publications au titre long compris dans la liste. Pour faire cela, nous utilisons les fonctions « Index » et « Match » d'Excel. Dans le Tableau 3.11, nous présentons quelques exemples des associations que nous obtenons.

Tableau 3.11 : Exemple d'associations entre le titre court et le titre long des revues.

| Title20 | Title |
|-----------------|-------------------------------|
| ACAD MANAGE J | ACADEMY OF MANAGEMENT JOURNAL |
| ACAD MANAGE REV | ACADEMY OF MANAGEMENT REVIEW |
| ACCOUNT REV | ACCOUNTING REVIEW |

¹¹ Il est possible de télécharger la liste complète des revues savantes indexés dans Web of Science sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant: <https://mjl.clarivate.com/collection-list-downloads>

Le Tableau 3.11 est un extrait de la liste complète que nous obtenons. À partir de cette liste, nous utilisons un tableau croisé dynamique afin d'identifier les revues savantes qui sont citées le plus souvent par les professeurs-chercheurs. Un extrait est présenté au Tableau 3.12.

Tableau 3.12 : Extrait de la liste des revues les plus citées par les professeurs-chercheurs.

| SO | Nombre de citations |
|--|---------------------|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | 500 |
| EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH | 287 |
| ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 269 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | 267 |

Les données présentées dans le Tableau 3.12 montrent que la revue savante intitulée « INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT » est citée 500 fois par les professeurs-chercheurs de notre échantillon sur la période d'étude.

3.4.3.3 Identification des domaines de recherche

À partir du titre des revues savantes, nous pouvons déterminer les domaines de recherche (WC) qui y sont associés. Pour faire cela, nous téléchargeons la liste des revues savantes qui sont indexées dans le SCIE, le SSCI et le AHCI. Ces listes sont accessibles sur le site Web de *Clarivate Analytics*¹². En combinant la liste des revues indexées dans les trois index de citation, nous obtenons une liste de 23 047 revues savantes. La liste comporte cependant des doublons. En effet, certaines revues sont indexées dans plus d'un index de citation. Nous assignons manuellement un seul index de citation à ces revues savantes à partir des domaines de recherche qui y sont associés. En retirant les doublons, nous obtenons une liste comportant 21 895 revues savantes. Nous utilisons une liste différente que la JCR2021 utilisée précédemment puisque l'on retrouve des métadonnées supplémentaires dans les fichiers de chaque index de citation. Dans le Tableau 3.13, page suivante, nous présentons un exemple de l'information supplémentaire disponible.

¹² Il est possible de télécharger la liste complète des revues savantes indexés dans Web of Science sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant: <https://mjl.clarivate.com/collection-list-downloads>

Tableau 3.13 : Information disponible dans la liste des revues savantes indexées.

| Title | ISSN | eISSN | Publisher name | WC |
|-----------------|-------------|--------------|--|--|
| ACAROLOGIA | 0044-586X | 2107-7207 | ACAROLOGIA- UNIVERSITE PAUL VALERY | Entomology |
| ACS NANO | 1936-0851 | 1936-086X | AMER CHEMICAL SOC | Chemistry, Multidisciplinary Chemistry, Physical |
| ACTA CYTOLOGICA | 0001-5547 | 1938-2650 | KARGER | Pathology |

Dans le Tableau 3.13, nous retrouvons de l'information supplémentaire au sujet des revues savantes. Dans l'ordre : le titre de la revue, l'ISSN/eISSN, le nom et l'adresse de l'éditeur, la langue et les domaines de recherche qui y sont associés. L'information qui nous intéresse particulièrement se trouve dans la dernière colonne intitulée WC. Remarquons que la revue savante intitulée « ACS NANO » est associée à plusieurs WC. À partir de cette liste, nous déterminons les WC associés à chacune des références de notre liste. Dans le Tableau 3.14, nous présentons un extrait des résultats.

Tableau 3.14 : Association des revues savantes aux WC.

| PY | Titre long | WC |
|-----------|------------------------------|--|
| 2017 | ACADEMIC EMERGENCY MEDICINE | Emergency Medicine |
| 2016 | ACADEMIC MEDICINE | Education, Scientific Disciplines Health Care Sciences & Services |
| 2012 | ACADEMY OF MANAGEMENT ANNALS | Business Management |

Dans le Tableau 3.14, nous remarquons que les WC sont séparés à l'aide d'une barre verticale. Cette propriété nous permet de séparer les WC à l'aide de la fonction « Text to Columns » d'Excel. Nous obtenons ainsi une liste de l'ensemble des WC associés aux références. Un extrait de cette liste est présenté dans le Tableau 3.15 à la page suivante.

Tableau 3.15 : Extrait de la liste des WC associés aux références.

| PY | WC |
|------|------------------------------|
| 2018 | Automation & Control Systems |
| 2011 | Chemistry, Multidisciplinary |
| 2009 | Ergonomics |
| 2018 | Economics |

À partir des données que l'on retrouve au Tableau 3.15, nous utilisons un tableau croisé dynamique afin de faire ressortir les WC qui sont le plus souvent associés aux revues savantes dans lesquelles les professeurs-chercheurs publient sur la période d'étude.

3.4.4 Analyse des codirections

Dans la sous-section 2.4.3.1.5, nous présentons l'analyse des copublications, une méthode permettant de mesurer l'interdisciplinarité à partir de la liste des auteurs d'une publication scientifique. Cette méthode est notamment utilisée par Schummer (2004) et Abramo et al. (2018). Dans ses travaux, Schummer considère que la recherche est interdisciplinaire « si des chercheurs d'au moins deux disciplines différentes [...] sont impliqués » (Schummer, 2004, p. 437). Selon cette méthode, la publication qui résulte d'une collaboration entre plusieurs auteurs intègre une partie des connaissances de chacun des auteurs. Or, si les auteurs ont une appartenance disciplinaire distincte, la publication intègre donc des connaissances de plusieurs disciplines et peut donc être considérée comme étant interdisciplinaire.

Dans notre étude, nous proposons d'adapter l'analyse des copublications aux activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche. Plutôt que de s'intéresser à la liste des auteurs d'une publication scientifique, nous nous intéressons à la composition de la direction des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat réalisé en codirection. C'est ce que nous appelons l'analyse des codirections. En suivant un raisonnement analogue, nous considérons que si des professeurs-chercheurs d'appartenance disciplinaire différente collaborent à la réalisation d'un mémoire ou d'une thèse, alors le mémoire ou la thèse intègre des connaissances issues de plusieurs disciplines, et le travail est donc interdisciplinaire. Dans les sections ci-dessous, nous décrivons la méthodologie utilisée pour analyser les codirections à partir des données téléchargées de *PolyPublie*.

3.4.4.1 Identification des travaux

À partir des données de la BDI *PolyPublie*, nous identifions d’abord les travaux impliquant des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Pour faire cela, nous portons attention aux colonnes intitulées « *director_thesis.family* » et « *director_thesis.given* ». Ces colonnes contiennent respectivement le nom et le prénom des professeurs-chercheurs. Manuellement, et à l’aide de la fonction « filtre » d’Excel, nous identifions les travaux dans lesquels au moins un des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon s’est impliqué. Nous conservons l’information contenue dans les colonnes suivantes : *eprintid*, *divisions*, *director_thesis.family*, *director_thesis.given* et *datestamps*. Ces informations correspondent, dans l’ordre, à l’identifiant unique du travail, au département dans lequel le travail est publié, le nom de famille et le prénom du professeur-chercheur impliqué, ainsi que la date de remise du travail.

3.4.4.2 Identification des codirections

À la différence des données téléchargées de la BDB *WoS* qui regroupent les noms de tous les auteurs dans une même case, on ne retrouve qu’un seul nom par case dans les données de la BDI. Toutefois, les métadonnées des mémoires et des thèses réalisés en codirection sont répétées autant de fois qu’il y a de professeurs-chercheurs impliqués. Le Tableau 3.16 permet d’illustrer le propos.

Tableau 3.16 : Répétition de l’information relative aux travaux réalisés en codirection¹³.

| eprintid | thesis_type | division | director_thesis.family | director_thesis.given |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
| 308 | masters | elec | Nom de famille A | Prénom A |
| 312 | masters | chim | Nom de famille B | Prénom B |
| 312 | masters | chim | Nom de famille C | Prénom C |
| 312 | masters | chim | Nom de famille D | Prénom D |
| 313 | masters | elec | Nom de famille E | Prénom E |

Dans le Tableau 3.16, les données reliées au mémoire de maîtrise #312 sont répétées à trois reprises. Les différentes itérations se distinguent uniquement par le nom et le prénom des professeurs-

¹³ Pour des raisons de confidentialité, le nom de famille et le prénom des professeurs-chercheurs impliqués dans la codirection des travaux ne sont pas présentés dans le Tableau 3.16.

chercheurs impliqués. Ainsi, nous déterminons que le mémoire de maîtrise #312 impliquait la collaboration de trois professeurs-chercheurs. Ceci n'est pas le cas pour les mémoires #308 et #313 qui n'impliquent qu'un seul professeur-chercheur. À l'aide de la fonction de « formatage conditionnel » d'Excel, nous faisons ressortir les doublons dans la colonne « eprintid » et parvenons à identifier les travaux réalisés en codirection.

3.4.4.3 Déterminer l'appartenance disciplinaire

En combinant la liste de travaux impliquant au moins un professeur-chercheur de notre échantillon à celle des travaux réalisés en codirection, nous parvenons à déterminer l'ensemble des travaux dans lesquels sont impliqués les professeurs-chercheurs de notre échantillon. Nous constatons la présence de professeurs-chercheurs qui n'appartiennent pas à notre échantillon. Pour ces professeurs-chercheurs, nous déterminons leur appartenance disciplinaire en fonction de la discipline dans laquelle ils ont obtenu leur diplôme de doctorat. Nous regroupons les professeurs-chercheurs en deux catégories : les professeurs-chercheurs de génie (PCG) et les professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS).

3.4.4.4 Distinguer les types de codirections

Dans la liste des travaux réalisés en codirection, nous avons le nom et le prénom de l'ensemble des professeurs-chercheurs qui sont impliqués. En nous basant sur l'appartenance disciplinaire de ces derniers, nous obtenons trois cas de figure :

- 1) Une codirection impliquant deux professeurs-chercheurs possédant chacun un diplôme en ingénierie (PCG-PCG). Nous incluons dans ce cas de figure la collaboration entre trois PCG.
- 2) Une codirection impliquant un professeur-chercheur possédant un diplôme en ingénierie et un professeur-chercheur possédant un diplôme en sciences sociales (PCG-PCSS). Nous incluons dans ce cas de figure les collaborations entre deux PCG et un PCSS ainsi que deux PCSS et un PCG.
- 3) Une codirection impliquant deux professeurs-chercheurs possédant un diplôme en sciences sociales (PCSS-PCSS). Nous incluons dans ce cas de figure les codirections impliquant trois PCSS.

Nous considérons le second cas de figure, soit celui impliquant au moins un PCG et au moins un PCSS comme étant une activité de recherche interdisciplinaire. Dans le Chapitre 4, nous mettons en pratique la méthodologie décrite dans les sections précédentes.

CHAPITRE 4 ANALYSE DESCRIPTIVE DES RÉSULTATS

Dans le Chapitre 4, nous décrivons les résultats obtenus à l'aide des trois méthodes bibliométriques utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité. Nous divisons le Chapitre 4 en six sections. Il débute par une description des caractéristiques de l'échantillon utilisé (section 4.1) suivi d'une description quantitative des activités de production et de formation (section 4.2). Puis, dans les sections 4.3 et 4.4, nous présentons d'abord les résultats obtenus à l'aide de l'analyse des revues savantes dans lesquelles publient les professeurs-chercheurs de notre échantillon, puis à l'aide de l'analyse des références que l'on retrouve dans les publications scientifiques. Les résultats présentés dans les sections 4.3 et 4.4 permettent de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances. Dans la section 4.5, nous présentons les résultats obtenus à l'aide de l'analyse des codirections. Ces résultats permettent d'entamer une discussion préliminaire sur l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie à la section 4.6.

4.1 Caractéristiques de l'échantillon de professeurs-chercheurs

Notre échantillon se compose de 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*. Nous distinguons les 25 professeurs-chercheurs en deux catégories. Les professeurs-chercheurs possédant un doctorat dans une discipline de l'ingénierie, ou connexe, sont catégorisés comme « les professeurs-chercheurs de génie » (PCG). Les professeurs-chercheurs possédant un doctorat dans une discipline des sciences sociales sont catégorisés comme « les professeurs-chercheurs de sciences sociales » (PCSS). Dans le Tableau 4.1, nous indiquons le nombre de professeurs-chercheurs par catégorie en plus de préciser les disciplines des doctorats.

Tableau 4.1 : Catégorisation des professeurs-chercheurs selon la discipline de leur doctorat.

| Nombre de professeurs-chercheurs | Disciplines des diplômes de doctorat | Catégories |
|----------------------------------|---|------------|
| 18 | Génie industriel (9) Génie mécanique (6) Génie civil (1) Informatique industrielle (1) Sciences environnementales (1) | PCG |
| 7 | Sciences économiques (4) Sciences de la gestion (2) Ergonomie cognitive (1) | PCSS |

Dans le Tableau 4.1, 18 des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon (72 %) ont un doctorat dans une discipline de l'ingénierie ou connexe. À l'exception de deux professeurs-chercheurs possédant respectivement un doctorat en informatique industrielle et en sciences environnementales, les 16 autres professeurs-chercheurs catégorisés PCG possèdent un diplôme de doctorat en génie industriel, mécanique ou civil. Seulement 7 des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon (28 %) possèdent un doctorat dans une discipline des sciences sociales : 4 en sciences économiques, 2 en sciences de la gestion et 1 en ergonomie cognitive. À la Figure 4.1, nous illustrons, l'évolution du nombre de PCG et de PCSS par année, entre 2009 et 2019.

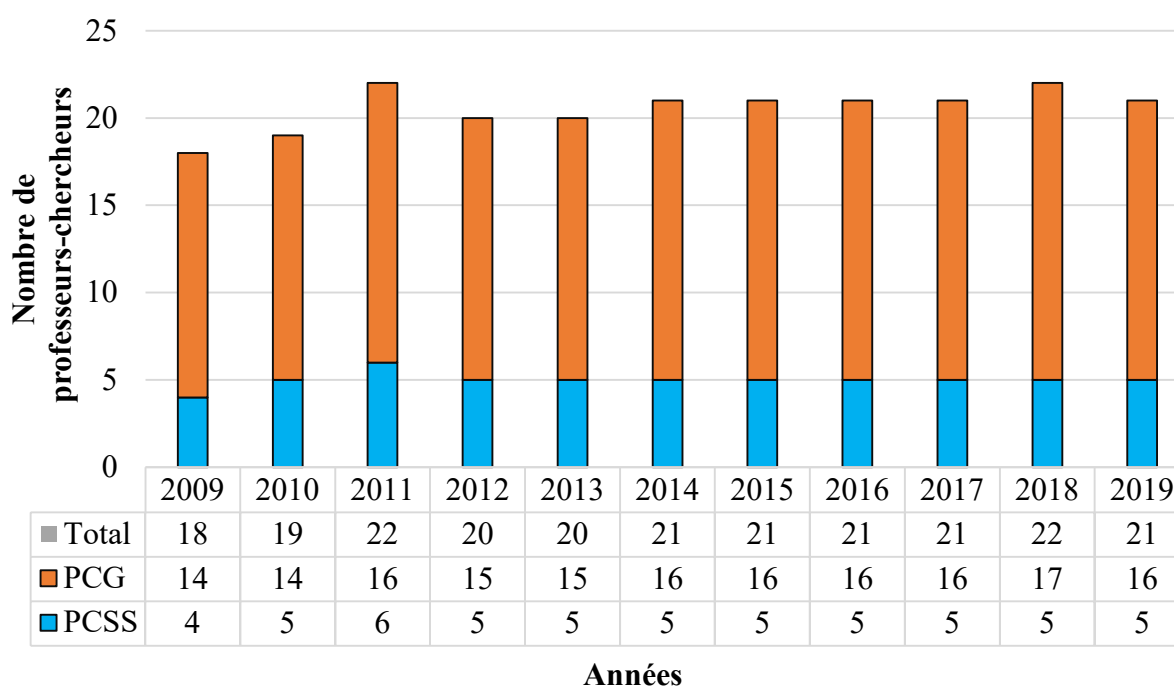


Figure 4.1 : Évolution du nombre de PCG et de PCSS sur la période d'étude.

À la Figure 4.1, le nombre minimum de PCSS s'élève à 4 alors que le nombre maximal s'élève à 6. En moyenne, le nombre de PCSS, sur la période d'étude, est de 5. Nous remarquons également que le nombre minimal de PCG est de 14 alors que le nombre maximal s'élève à 17. En combinant les deux effectifs, le nombre de professeurs-chercheurs atteint un maximum de 22 à deux reprises, soit en 2011 et en 2018. Il atteint son niveau le plus bas en 2009 avec 18 professeurs-chercheurs. À la Figure 4.2, page suivante, nous présentons l'évolution de la proportion des PCG et des PCSS sur la période d'étude.

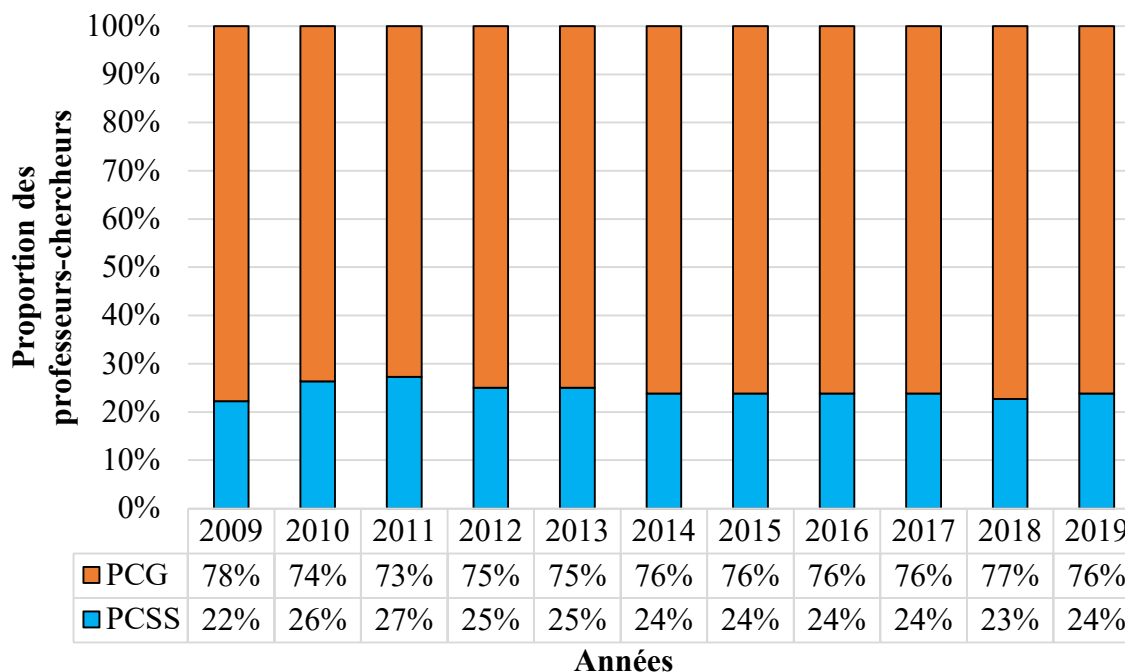


Figure 4.2 : Évolution de la proportion des PCG et des PCSS sur la période d'étude.

À la Figure 4.2, la proportion des PCG et des PCSS demeure stable sur la période d'étude. En moyenne, notre échantillon se compose annuellement de 76 % de PCG et de 24 % de PCSS.

4.2 Description quantitative des activités de recherche

Dans la section 4.2, nous décrivons quantitativement l'échantillon de données qui se compose de 479 publications scientifiques ainsi que de 319 travaux (mémoires et thèses). Notre objectif est de faire ressortir les habitudes de publication ainsi que les habitudes de travail (copublication et codirection) des professeurs-chercheurs de notre échantillon. La sous-section 4.2.1 porte sur la production de nouvelles connaissances scientifiques tandis que la sous-section 4.2.2 porte sur la formation de la relève en recherche.

4.2.1 Production de nouvelles connaissances

Pour quantifier la production des activités de recherche des PCG et des PCSS, nous pouvons utiliser deux méthodes : le comptage unitaire ou bien le comptage fractionné. La méthode du comptage unitaire repose sur le principe d'attribuer une publication à chacun des auteurs dont le nom est présent dans la liste des auteurs (Larivière & Sugimoto, 2018). En d'autres termes, nous

additionnons le nombre de publications dans lesquelles nous retrouvons l'un des 18 PCG ou encore l'un des 7 PCSS. Nous utilisons cette méthode à la Figure 4.3 pour illustrer la répartition annuelle des publications scientifiques selon la catégorie de professeurs-chercheurs.

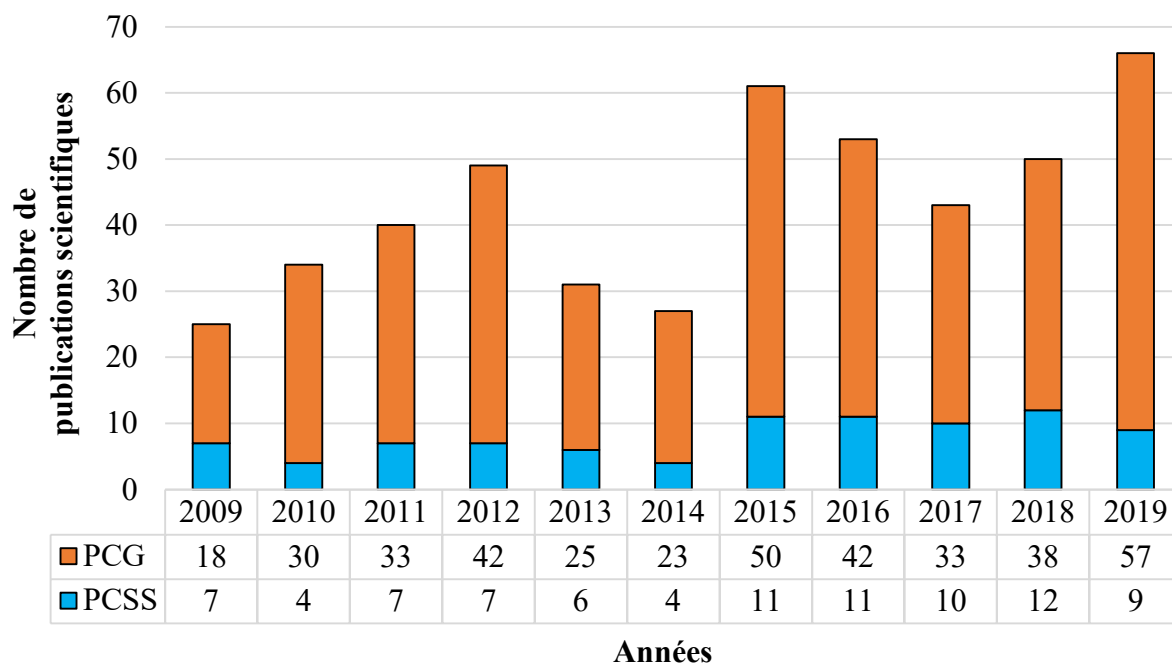


Figure 4.3 : Comptage unitaire des publications selon la catégorie de professeur-chercheur.

Les données de la Figure 4.3 suggèrent que la production des activités de recherche des PCG est plus élevée que celle des PCSS sur la période d'étude. En effet, en additionnant le nombre de publications tout au long de la période d'étude, nous constatons que 391 publications scientifiques sont attribuables aux PCG (81 %) tandis que 88 publications sont attribuables aux PCSS (19 %). Soulignons que la répartition des publications, en pourcentages, est similaire à la composition de notre échantillon composé à 72 % de PCG et à 28 %. Les données présentées à la Figure 4.3 ne sont pas surprenantes, car les PCG sont beaucoup plus nombreux que les PCSS.

Toutefois, la méthode de comptage unitaire est fortement influencée par la collaboration entre les chercheurs. En effet, en attribuant une publication à tous les auteurs, le nombre de publications va dépasser le nombre réellement publié, ce qui a « comme conséquence une exagération de la production » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 72). Ainsi, avant de quantifier la production des activités de recherche des PCG et des PCSS, nous croyons nécessaire de porter attention aux habitudes de travail des professeurs-chercheurs de notre échantillon.

Dans les métadonnées que nous avons téléchargées de la BDB *WoS*, nous avons accès à la liste des auteurs de chacune des 479 publications scientifiques de notre échantillon. Le nombre d'auteurs par publication scientifique est couramment utilisé comme indicateur de collaboration; c'est ce que Larivière et Sugimoto appellent la « copublication » (2018, p. 76). À la Figure 4.4 ci-dessous, nous représentons la répartition des publications scientifiques selon le nombre d'auteurs.

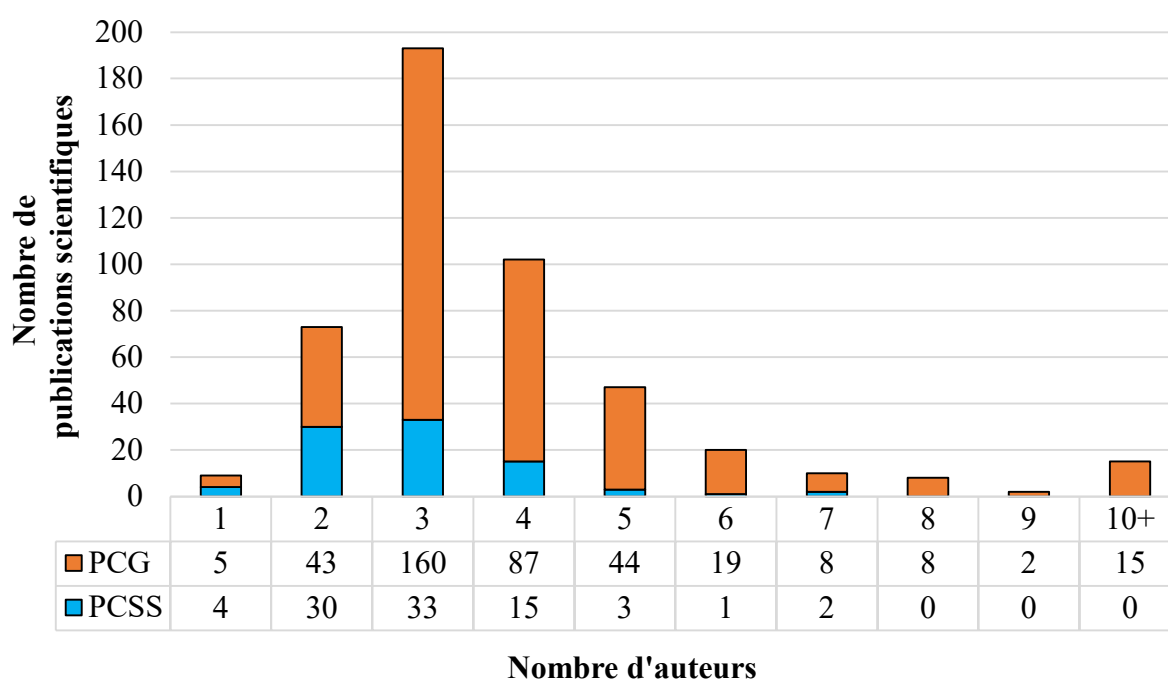


Figure 4.4 : Répartition des publications scientifiques selon le nombre d'auteurs.

Les données de la Figure 4.4 permettent d'en apprendre davantage sur les habitudes de travail des professeurs-chercheurs de notre échantillon. D'abord, seulement 9 des 479 publications scientifiques (2 %) reposent sur le travail d'un seul auteur. La copublication apparaît ainsi comme une pratique courante à la fois chez les PCG et les PCSS puisque seulement 2 % des publications des PCG et moins de 5 % des publications des PCSS reposent sur un travail individuel.

En revanche, le nombre d'auteurs dans les publications scientifiques attribuées aux PCG et aux PCSS varie. Le nombre maximal d'auteurs dans une publication scientifique attribuée aux PCSS s'élève à 7. Ce nombre est beaucoup moins élevé que chez les PCG. Le nombre maximal d'auteurs

dans une publication scientifique attribuée aux PCG s'élève à 43¹⁴. Ici, nous tenons à mentionner que le nombre de 43 auteurs n'est pas une donnée aberrante. En effet, les pratiques de reconnaissance du travail varient d'une discipline à l'autre. Par exemple, il est pratique courante, en physique des hautes énergies, d'inclure dans la liste des auteurs, le nom de « tous les chercheurs établis qui consacrent au moins 50 % de leur temps au *Centre européen pour la recherche nucléaire*» (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 68).

En analysant les données, nous constatons que le fait d'utiliser la méthode de comptage unitaire pour quantifier la production des activités de recherche des PCG et des PCSS n'est pas adéquate. En effet, les 391 publications scientifiques attribuées aux PCG reposent sur la contribution de 1654 auteurs tandis que les 88 publications scientifiques des PCSS reposent sur la contribution de 258 auteurs. Ce constat rejoint la mise en garde énoncé précédemment au sujet du fait que la méthode de comptage unitaire peut entraîner une exagération de la production (Larivière & Sugimoto, 2018). Ainsi, nous croyons que pour quantifier la production des activités de recherche des PCG et des PCSS, il est préférable d'utiliser la méthode de comptage fractionné.

La méthode de comptage fractionné repose sur l'idée d'attribuer, à chacun des individus dont le nom figure dans la liste des auteurs d'une publication, une fraction correspondante au nombre d'auteurs dans la liste. Par exemple, pour un article comportant quatre auteurs, chaque auteur se voit attribué une valeur d'un quart. Ainsi, « le nombre de publications de toutes les unités de recherche recensées est égal à la production réelle » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 73). Dans la Figure 4.5 présentée à la page suivante, nous effectuons le calcul de la somme de la contribution de chacun des PCG et des PCSS de notre échantillon dans les 479 publications de notre échantillon, et ce, à chaque année de 2009 à 2019.

¹⁴ Durant le traitement des données, nous parvenons à identifier le titre de l'article ainsi que la revue dans laquelle il a été publié. L'article intitulé : *Multiomics modeling of the immunome, transcriptome, microbiome, proteome and metabolome adaptations during human pregnancy* a été publié dans la revue intitulée *Bioinformatics* en 2019.

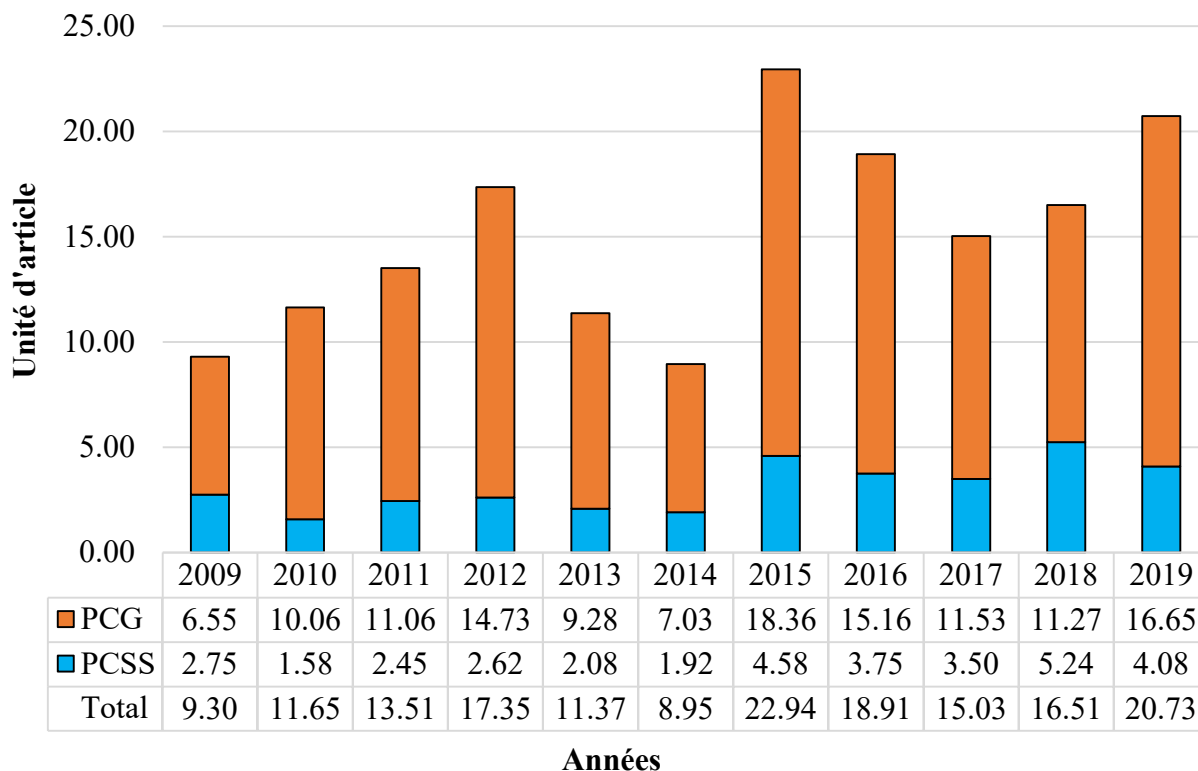


Figure 4.5 : Comptage fractionné de la contribution des PCG et des PCSS.

Les données présentées à la Figure 4.5 représentent la somme des contributions individuelles des PCG et des PCSS dans les 479 publications scientifiques recensées dans *WoS*. Pour comparer la production des activités de recherche des PCG et des PCSS, il faut d'abord relativiser l'influence du nombre plus élevé de PCG par rapport au nombre de PCSS. Pour faire cela, nous divisons la somme des contributions individuelles de la Figure 4.5 par le nombre de PCG et des PCSS dans la Figure 4.1. Par exemple, nous divisons la somme des contributions individuelles des PCG en 2011 (11,06) par le nombre de PCG en 2011 (16). Nous obtenons une valeur de 0,69. Les résultats des calculs pour les autres années sont présentés dans la Figure 4.6 de la page suivante.

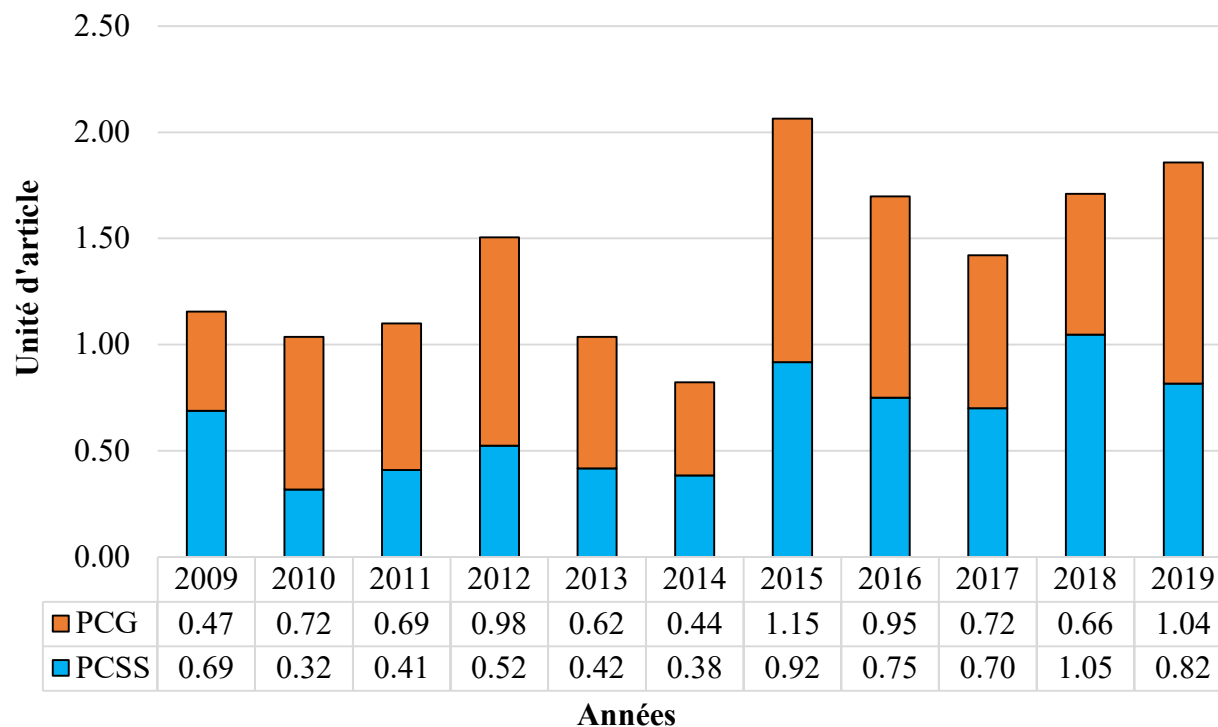


Figure 4.6 : Comptage fractionné de la production des PCG et des PCSS sur la période d'étude.

Les données de la Figure 4.6 permettent de comparer la production des PCG à celle des PCSS. La production des PCG est plus élevée que celle des PCSS à toutes les années à l'exception de 2018. Sur la période d'étude qui s'étend de 2009 à 2019, la production annuelle moyenne des PCG est se chiffre à 0,77 tandis que celle des PCSS est de 0,63 pour les PCSS. Nous observons un faible écart d'une valeur de 0,14.

Les résultats obtenus avec la méthode de comptage fractionné sont cohérents avec les habitudes de publication disciplinaire décrites dans la littérature. Dans leurs études, Archambault et al. (2006) et Larivière et Sugimoto (2018) mentionnent que les chercheurs ayant une appartenance disciplinaire à l'une des disciplines des sciences et technologies, comme le génie, publient plus que les professeurs-chercheurs ayant une appartenance disciplinaire à une discipline des sciences sociales. Les auteurs mentionnent également que les types de publications des chercheurs qui mènent des activités de recherche dans des disciplines des sciences sociales sont différents de ceux des chercheurs des sciences et technologies (Archambault et al., 2006; Larivière & Sugimoto, 2018). Les premiers publient plus souvent que les seconds dans des livres et de la littérature grise; deux types de publications que nous ne prenons pas en considération dans notre étude.

Dans les critères d'inclusion et d'exclusion présentés à la section 3.2.2, nous spécifions sélectionner uniquement les types de publications suivantes dans la BDB *WoS* : *Article*; *Proceedings Paper* et *Review*. À la Figure 4.7 de la page suivante, nous représentons la répartition des publications scientifiques, selon le type, et la catégorie de professeur-chercheur, sur la période d'étude.

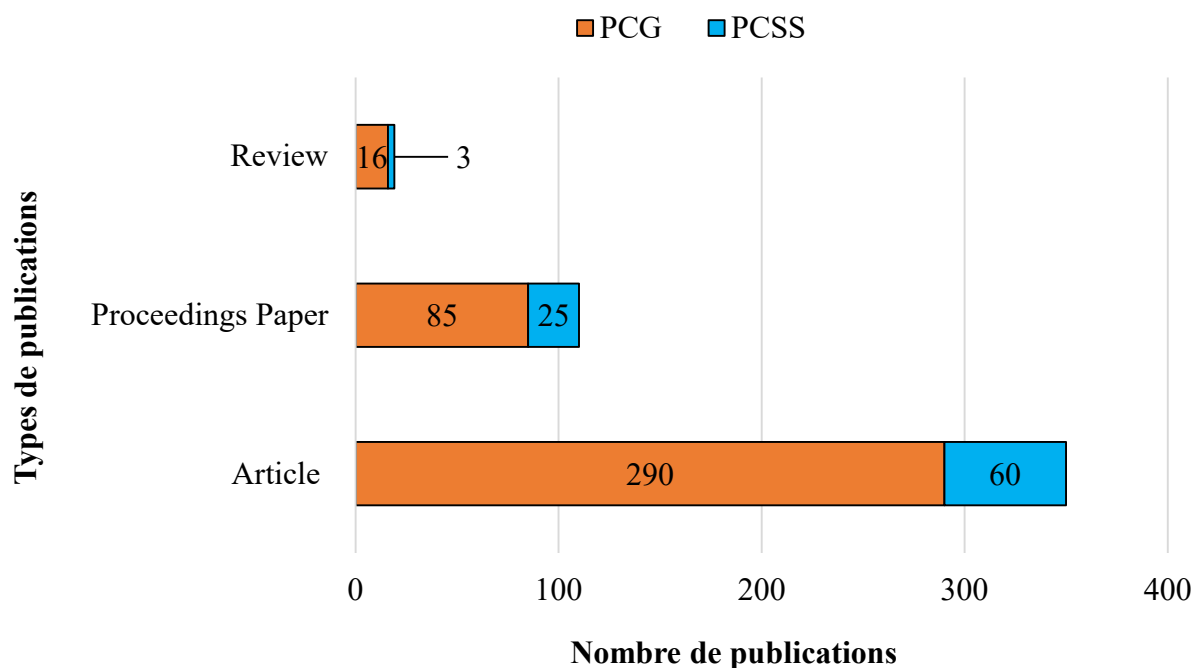


Figure 4.7 : Répartition des publications scientifiques, selon le type, sur la période d'étude.

À la Figure 4.7, 350 des 479 publications scientifiques (73 %) des professeurs-chercheurs de notre échantillon sont du type *Article*. Les proportions des publications scientifiques des types *Review* et *Proceedings Paper* réunies ne comptent que pour 27 % du nombre total de publications scientifiques. Mentionnons que 60 des 88 publications scientifiques des PCSS (68 %) et que 290 des 391 publications scientifiques des PCG (74 %) sont du type *Article*. Ainsi, la publication de travaux de recherche sous forme d'articles est le type de publications scientifiques le plus courant autant chez les PCG que chez les PCSS. Ce résultat est cohérent avec les tendances relevées dans la littérature scientifique (Archambault et al., 2006; Larivière & Sugimoto, 2018).

4.2.2 Formation de la relève en recherche

Dans la BDI *PolyPublie*, les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon sont impliqués dans la direction de 319 travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat) entre 2009 et 2019. Mentionnons que pour l'ensemble des figures de la section 4.2.2, nous décidons de retirer les données de l'année 2009. La couverture de la BDI *PolyPublie* ne comprend que les travaux remis après septembre 2009 ce qui fait en sorte qu'elle ne contient que 3 travaux. Les données étant incomplètes, nous préférons les retirer pour ne pas influencer les résultats. Mentionnons également que pour les activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche, nous utilisons une méthode de comptage unitaire. À la **Error! Reference source not found.**, nous représentons deux courbes : en noir, l'évolution du nombre de travaux, et en orange, l'évolution du nombre de professeurs-chercheurs sur la période d'étude.

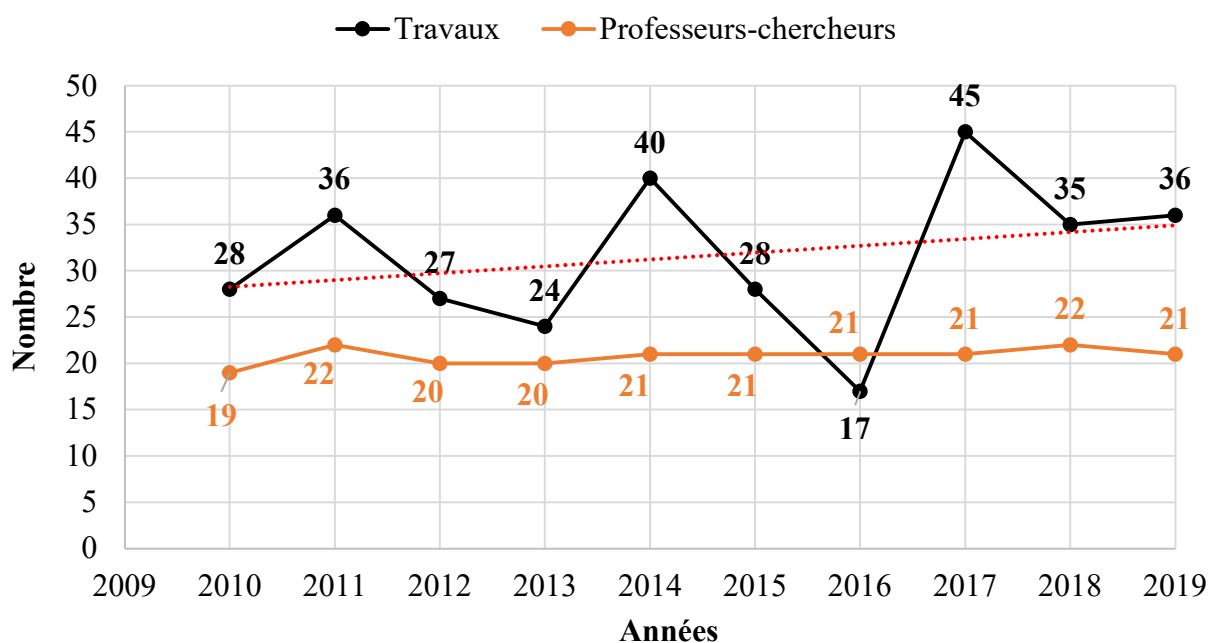


Figure 4.8 : Comparaison du nombre de travaux et du nombre de professeurs-chercheurs.

À la **Error! Reference source not found.**, la tendance du nombre de travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat) par année est à la hausse sur la période d'étude. L'année la plus productive correspond à l'année 2017 durant laquelle 45 travaux de maîtrise ou de doctorat sont remis. L'année la moins productive correspond à l'année 2016 durant laquelle seulement 17 travaux sont remis. Sur la période d'étude, le nombre moyen de travaux par année s'élève à 31,6.

À la Figure 4.9, page suivante, nous divisons le nombre total de travaux chaque année par le nombre de professeurs-chercheurs de l'année correspondante. Ainsi, nous pouvons déterminer si la tendance du nombre de travaux est influencée par la variation du nombre de professeurs-chercheurs.

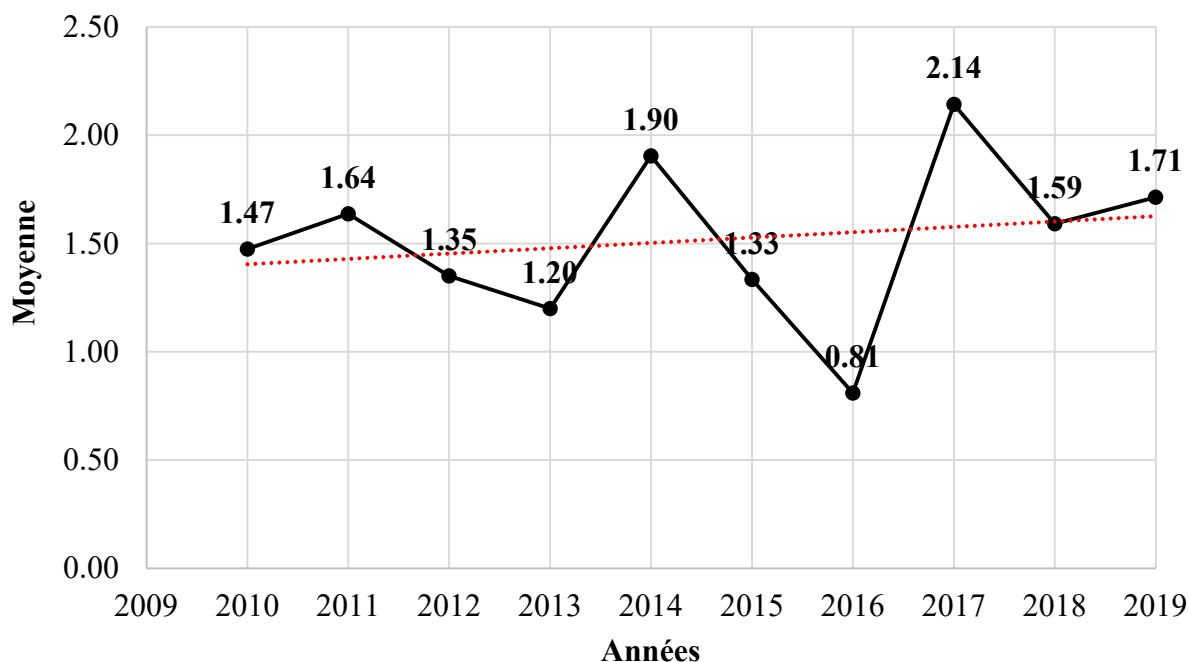


Figure 4.9 : Nombre annuel moyen de travaux par professeur-chercheur.

À la Figure 4.9, il y a une faible hausse de la moyenne des travaux par professeur-chercheur sur la période d'étude passant de 1,47 en 2009 à 1,71 en 2019. La moyenne annuelle se situe à 1,52. Cela permet de déterminer que l'augmentation du nombre de travaux observée à la **Error! Reference source not found.** n'est pas reliée à une augmentation du nombre de professeurs-chercheurs, mais plutôt à une augmentation de la productivité des professeurs-chercheurs.

Précédemment, nous avons catégorisé les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon en deux catégories, les PCG et les PCSS. À la Figure 4.13 de la page suivante, nous utilisons une méthode de comptage unitaire pour représenter les travaux entre les deux catégories de professeurs-chercheurs. C'est-à-dire que l'on attribue un travail à chacun des professeurs-chercheurs impliqués dans la direction.

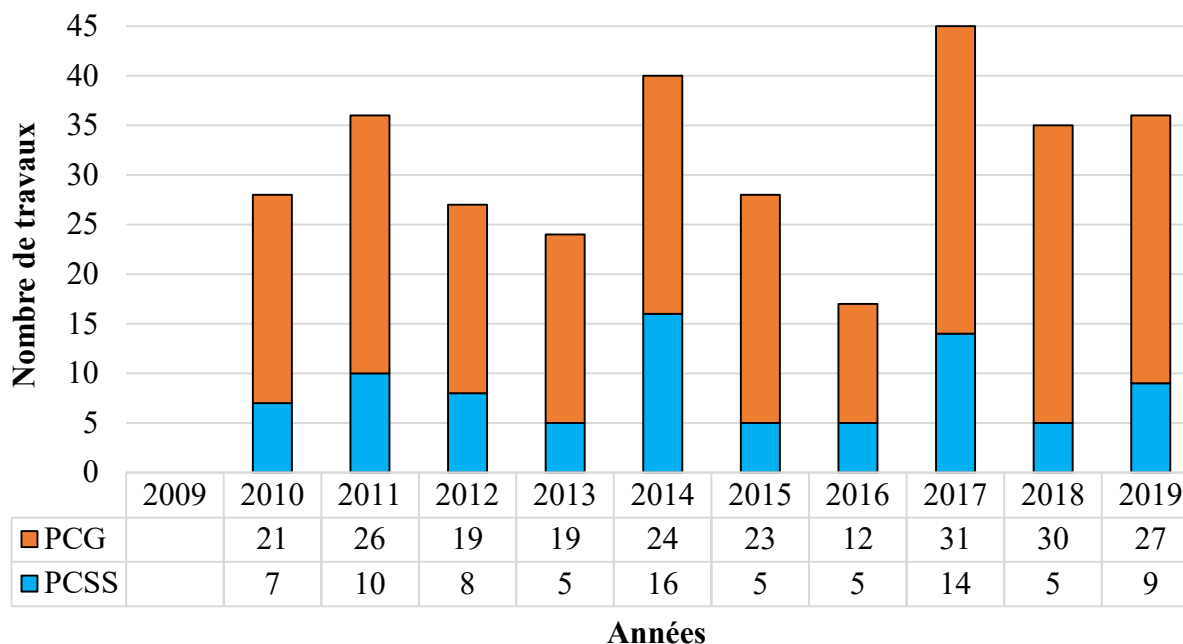


Figure 4.10 : Répartition des travaux entre les PCG et les PCSS¹⁵.

Les données de la Figure 4.10 montrent que les PCG sont impliqués dans la direction de 233 des 319 travaux à la maîtrise et au doctorat remis entre 2009 et 2019. De leur côté, les PCSS sont impliqués dans la direction de 86 travaux. Sans surprise, comme pour les publications scientifiques, les PCG, qui sont plus nombreux que les PCSS, dirigent davantage de travaux à la maîtrise et au doctorat. Les données de la Figure 4.12 montrent que les PCG ont dirigé 73 % des travaux tandis que les PCSS ont dirigé 27 % de ceux-ci. Nous remarquons que la répartition des travaux est pratiquement identique à la composition de notre échantillon composé à 72 % de PCG et à 28 % de PCSS. La proportion annuelle des travaux, selon l'appartenance disciplinaire, est présentée à la Figure 4.11, page suivante.

¹⁵ Les données présentées dans la Figure sont obtenues à l'aide d'une méthode de comptage unitaire. Nous n'utilisons pas la méthode de comptage fractionné.

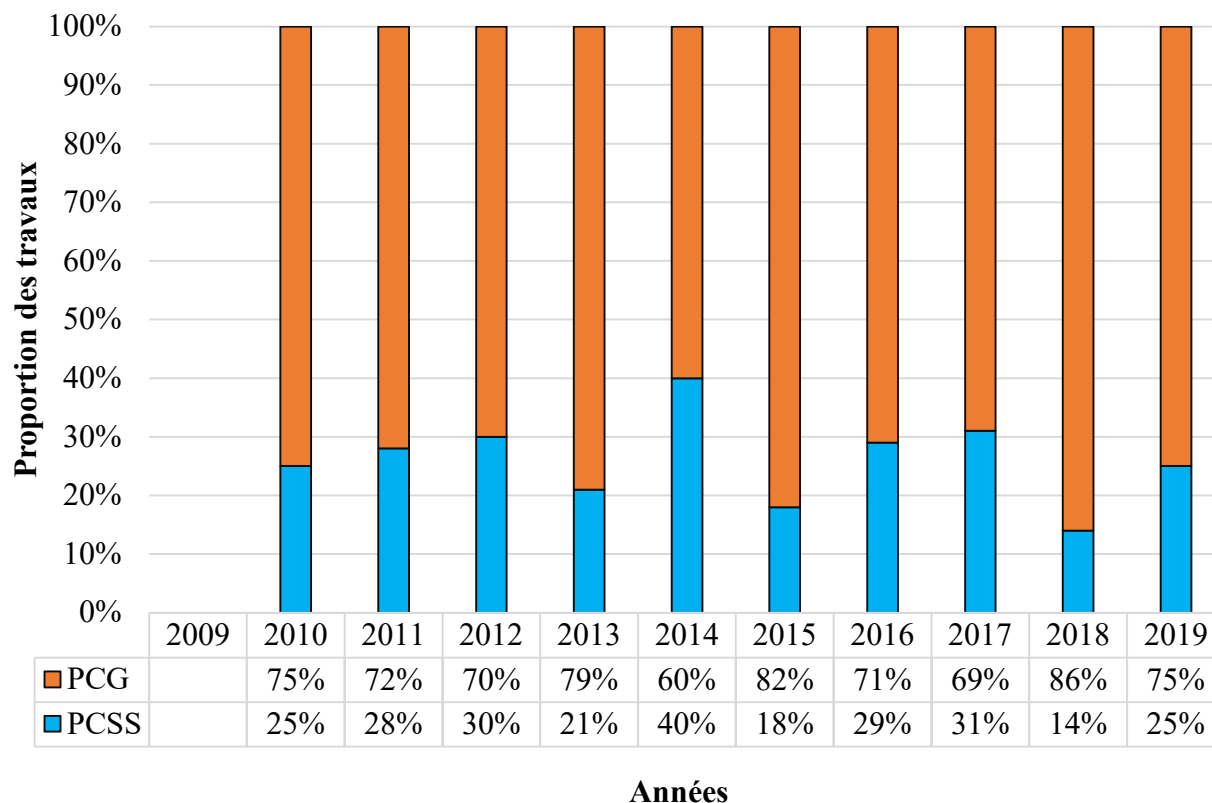


Figure 4.11 : Proportion annuelle des travaux des PCG et des PCSS.

À la Figure 4.11, la proportion annuelle des travaux apparaît stable pour les PCG et les PCSS sur la période d'étude se chiffrant respectivement à 74 % et 26 %. Ces proportions sont semblables à la composition de notre échantillon.

Précédemment, nous avons fait mention du fait que les activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche comprennent deux types de travaux : les mémoires de maîtrise (ci-après, noter « M. ») et les thèses de doctorat (ci-après, noter « D. »). À la Figure 4.12 de la page suivante, nous illustrons la répartition des activités de recherche reliées à la formation de la relève selon le type de travail. La répartition de ces travaux entre les PCG et les PCSS est également représentée.

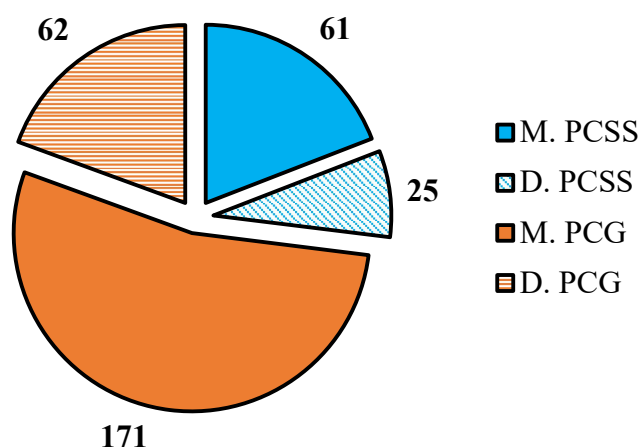


Figure 4.12 : Répartition des travaux entre les PCG et les PCSS selon le type de travail.

À la Figure 4.12, 232 des 319 travaux (73 %) sont des mémoires de maîtrise (M.) alors que 27 % sont des thèses de doctorat (D.). Les métadonnées que nous téléchargeons de *PolyPublie* permettent également de déterminer le nombre de travaux réalisés en codirection. Cette caractéristique nous intéresse puisque la collaboration entre professeurs-chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte peut être utilisée comme indicateur d'interdisciplinarité. À la Figure 4.13, nous illustrons la répartition des travaux selon le nombre de professeurs-chercheurs impliqués.

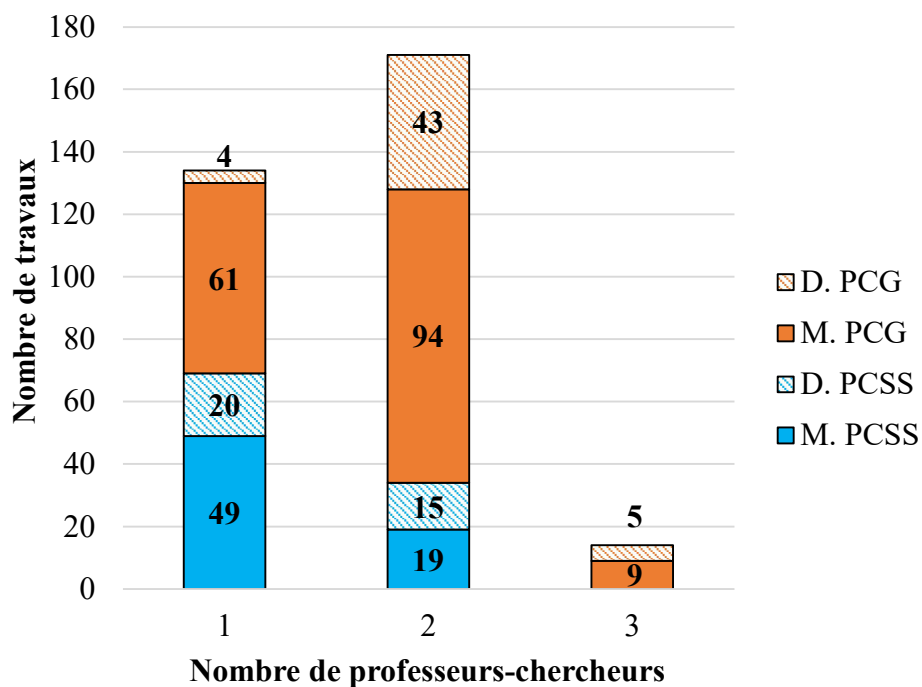


Figure 4.13 : Répartition des travaux selon le nombre de professeurs-chercheurs.

Sur la Figure 4.13, nous remarquons que 185 des 319 travaux d'encadrement (58 %) impliquent au moins deux professeurs-chercheurs. Soulignons que la majorité des thèses de doctorat (72 %) et des mémoires de maîtrise (53 %) impliquent au moins deux professeurs-chercheurs. Il semble pratique courante pour les PCG de collaborer pour encadrer des travaux à la maîtrise et au doctorat. En effet, 70 % des travaux dirigés par un PCG se font en codirection. Ce n'est pas le cas des PCSS. En effet, la majorité des travaux de maîtrise (72 %) et des travaux de doctorat (57 %) sont encadrés par un seul PCSS selon les données de la Figure 4.13. En somme, seulement 33 % des travaux menés par les PCSS sont en codirection. Cela signifie que la codirection est une pratique plus répandue chez les PCG que chez les PCSS.

En combinant les données relatives au nombre de travaux réalisés en codirection et de l'année de remise, nous illustrons, à la Figure 4.14, la proportion annuelle des travaux réalisés en codirection sur la période d'étude.

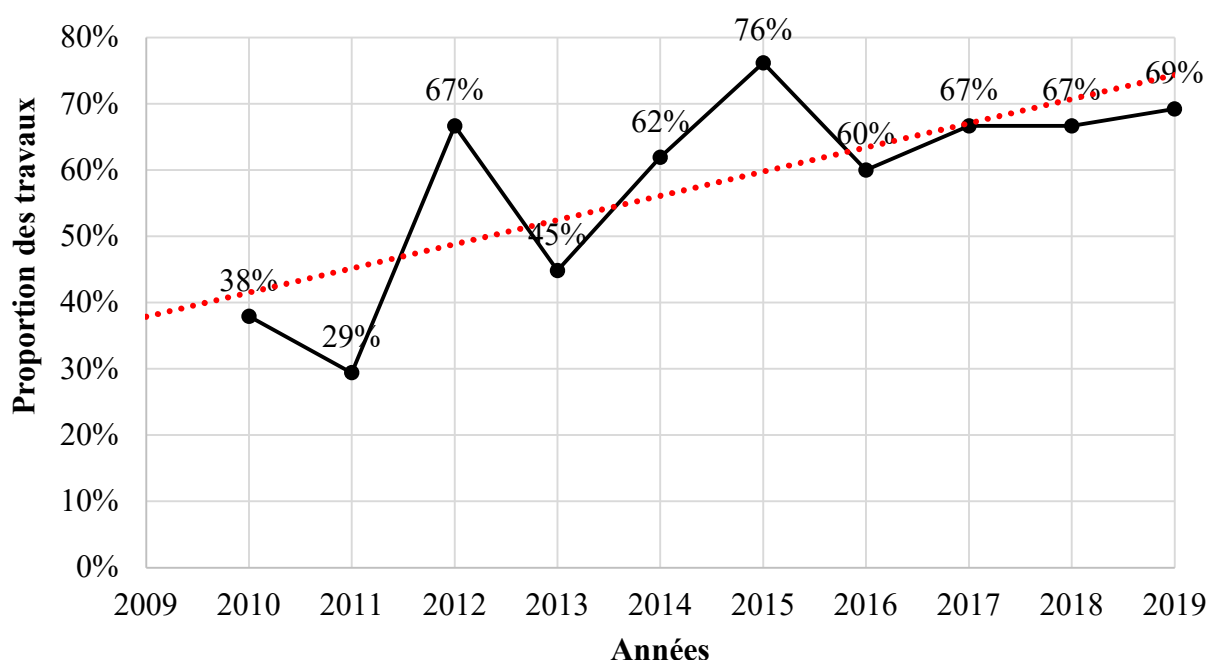


Figure 4.14 : Proportion annuelle des travaux réalisés en codirection.

À la Figure 4.14, nous observons que la tendance de la proportion des travaux réalisés en codirection est à la hausse sur la période d'étude. Selon notre interprétation, ces résultats suggèrent que les professeurs-chercheurs de notre échantillon collaborent de plus en plus pour mener les activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche.

4.2.3 Résumé des habitudes de publication et de travail

La section 4.1 nous permet d'en apprendre davantage sur les caractéristiques de notre échantillon. En nous basant sur la discipline du diplôme de doctorat des 25 professeurs-chercheurs qui composent notre échantillon, nous parvenons à les séparer en deux catégories : les professeurs-chercheurs de génie (PCG) et les professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS). Nous dénombrons 18 PCG et 7 PCSS. Sur la période d'étude, le nombre de professeurs-chercheurs varie entre 18 et 22. Toutefois, la proportion des PCG et des PCSS demeure relativement stable sur la période d'étude. En moyenne, notre échantillon se compose annuellement de 76 % de PCG et de 24 % de PCSS.

Dans la section 4.2, nous analysons les données relatives aux 479 publications scientifiques ainsi qu'aux 319 travaux de maîtrise et de doctorat afin d'en apprendre davantage sur les habitudes de publication et les habitudes de travail des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Pour les publications scientifiques, nous remarquons que la copublication est une pratique courante à la fois chez les PCG que les PCSS. En effet, seulement 9 des 479 publications scientifiques reposent sur un effort individuel. En revanche, le nombre d'auteurs qui ont contribué aux publications scientifiques des PCG est beaucoup plus élevé que celui des PCSS. Pour quantifier la production en regard des publications scientifiques, nous devons donc utiliser une méthode de comptage fractionné. Cette méthode montre que la production des PCG est légèrement supérieure à celle des PCSS sur la période d'étude. Une observation cohérente avec les habitudes de publication disciplinaire décrites dans la littérature.

Pour les travaux de maîtrise et de doctorat, les données montrent que la codirection est une pratique plus répandue chez les PCG que chez les PCSS. En effet, 70 % des travaux dirigés par un PCG se font en codirection comparativement à 33 % pour les PCSS. Pour quantifier la contribution des PCG et des PCSS, nous utilisons le comptage unitaire. Les résultats montrent que les PCG ont dirigé 73 % et les PCSS en ont dirigé 27 %. Une répartition pratiquement identique à la composition de notre échantillon composé à 72 % de PCG et à 28 % de PCSS. Un résultat qui nous apparaît peu surprenant.

4.3 Méthode d'analyse des revues savantes

La première méthode bibliométrique que nous utilisons pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances consiste en l'analyse des revues savantes. Selon cette méthode décrite en détail dans la sous-section 3.4.1 du Chapitre 3, les activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs sont interdisciplinaires si leurs publications scientifiques se retrouvent dans une revue savante dont la discipline est différente de leur discipline d'appartenance. Rappelons que nous catégorisons les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon en deux catégories selon la discipline de leur diplôme de doctorat : les professeurs-chercheurs de génie (PCG), et les professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS). Pour déterminer la discipline des revues savantes, nous utilisons le système de classification par domaines de recherche (en anglais *Web of Science Categories*), ci-après « WC » de la BDB *WoS*. Le WC de la revue savante est attribué aux publications scientifiques qui y paraissent.

L'analyse des revues savantes se limite aux 479 publications scientifiques recensées dans l'un des trois index de citation (SCIE, SSCI, AHCI) qui composent la collection centrale de la BDB *WoS*. La BDB *WoS* attribue un ou plusieurs WC à chacune des revues savantes indexées. La classification par domaines de recherche comprend 254 WC différents. Chaque WC est associé à l'un des trois index de citation. À titre d'exemple, le WC *Engineering, Industrial* est associé à l'index de citation SCIE. Le ou les WC de chaque revue savante est indiqué dans la colonne intitulée « WC » lorsque nous téléchargeons les métadonnées.

4.3.1 Identification des revues savantes

L'échantillon que nous analysons se compose de 479 publications scientifiques. À la Figure 4.5, nous déterminons que 88 publications scientifiques sont attribuables aux PCSS tandis que 391 sont attribuables aux PCG. Dans les métadonnées téléchargées de la BDB *WoS*, nous portons attention à l'information contenue dans la colonne intitulée « SO ». Dans cette colonne, nous retrouvons le titre de la revue savante dans laquelle paraît la publication scientifique. Chaque revue savante est indexée dans l'un des trois index de citation de la collection centrale de la BDB *WoS* (SCIE, SSCI, AHCI). À la Figure 4.15, page suivante, nous présentons la répartition des revues savantes dans lesquelles les PCG et les PCSS publient, selon l'index de citation.



Figure 4.15 : Répartition des publications entre les PCG et les PCSS selon l'index de citation.

Les données de la Figure 4.13, montrent que 341 des 479 publications scientifiques (72 %) paraissent dans une revue savante indexée dans le SCIE ou le SSCI. 4 % des publications paraissent dans des revues savantes indexées dans le ESCI et aucune publication ne paraît dans une revue savante indexée dans le AHCI. Nous ne parvenons pas à identifier la revue savante de parution de 115 des 479 publications scientifiques (24 %). Le taux d'identification de 72 % que nous obtenons est cohérent avec les types de publications de notre échantillon. À la Figure 4.7, nous montrons que 350 des 479 publications scientifiques (73 %) sont du type *Article* et que les types *Review* et *Proceedings Paper* réunies ne comptent que pour 27 %. Or, puisque les revues savantes comprennent majoritairement des publications scientifiques sous forme d'article, nous nous attendions à ce que le taux d'identification ne soit pas de 100 %.

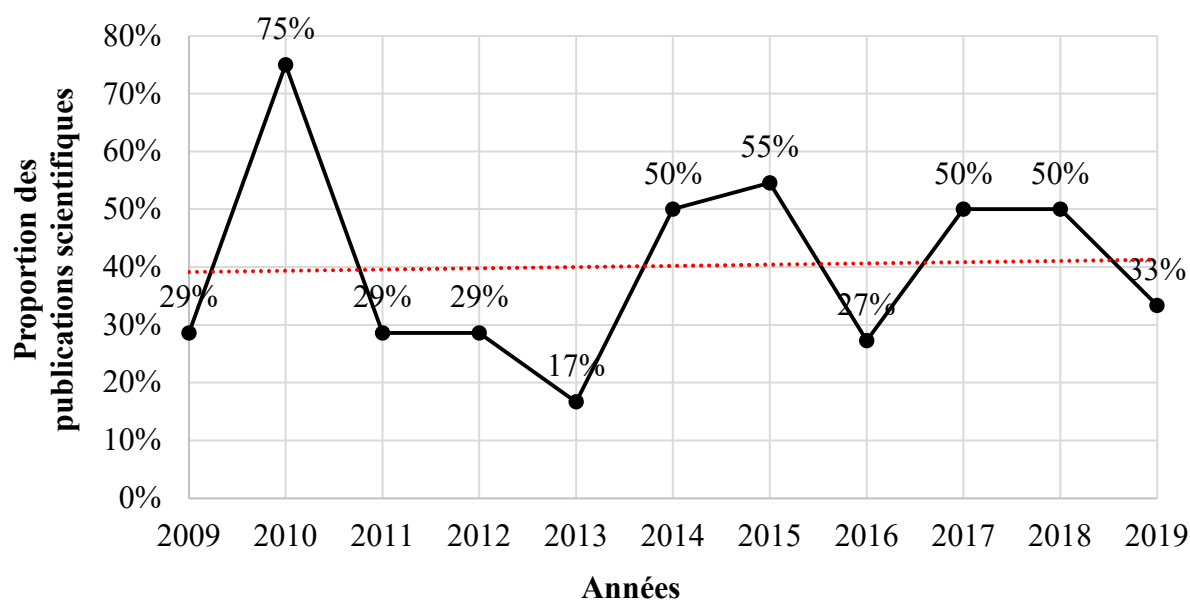
4.3.1.1 Professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS)

À la Figure 4.15, nous parvenons à identifier la revue savante dans laquelle paraissent 53 des 88 (60 %) publications scientifiques attribuables aux PCSS. Sur ces 53 publications, 35 paraissent dans des revues savantes indexées dans le SSCI et 18 dans des revues savantes indexées dans le SCIE. Selon la méthode d'analyse des revues savantes, les 18 publications qui se retrouvent dans des revues savantes du SCIE sont interdisciplinaires. Dans le Tableau 4.2, nous présentons le titre des revues savantes dans lesquelles les PCSS ont publié le plus souvent sur la période d'étude.

Tableau 4.2 : Titre des revues savantes dans lesquelles les PCSS publient le plus souvent¹⁶.

| Titre des revues savantes | Index | Nb |
|---|-----------|----|
| SCIENTOMETRICS | SSCI/SCIE | 4 |
| RESEARCH POLICY | SSCI | 3 |
| JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION | SCIE | 3 |
| JOURNAL OF TECHNOLOGY TRANSFER | SSCI | 2 |
| APPLIED ERGONOMICS | SSCI/SCIE | 2 |
| JOURNAL OF PREVENTION ASSESSMENT & REHABILITATION | SSCI | 2 |
| JOURNAL OF SAFETY RESEARCH | SSCI | 2 |
| INDUSTRY AND INNOVATION | SSCI | 2 |

Dans le Tableau 4.2, une seule revue savante indexée dans le SCIE, la JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, fait partie des revues savantes dans lesquelles les PCSS publient le plus souvent. Dans cette revue, nous retrouvons 3 des 88 publications des PCSS sur la période d'étude. Deux revues savantes, « SCIENTOMETRICS » et « APPLIED ERGONOMICS » sont indexées à la fois dans le SSCI et le SCIE. En nous basant sur les WC associés à ces revues, nous leur attribuons un seul index, le SSCI. À la Figure 4.16, nous présentons la proportion annuelle des publications scientifiques des PCSS qui paraissent dans des revues indexées dans le SCIE.

**Figure 4.16** : Proportion annuelle des publications des PCSS indexées dans le SCIE.

¹⁶ Nous indiquons le titre des revues savantes dont la somme des publications représente 20 % du nombre total.

À la Figure 4.16, la proportion des publications scientifiques attribuables aux PCSS qui paraissent dans des revues savantes indexées dans le SCIE est variable d'une année à l'autre. Rappelons que sur la période d'étude, 18 des 88 publications paraissent dans des revues du SCIE sur la période d'étude. Le pourcentage le plus bas de 17 % suggère que chaque année, au moins une publication paraît dans une revue savante indexée dans le SCIE. Ainsi, selon la méthode d'analyse des revues savantes, au moins une publication des PCSS est interdisciplinaire chaque année.

4.3.1.2 Professeurs-chercheurs de génie (PCG)

À la Figure 4.15, nous identifions les revues savantes dans lesquelles sont publiées 301 des 391 (77 %) des publications scientifiques attribuables aux PCG. Nous ne parvenons pas à identifier la revue savante de 80 des 391 publications (20 %). Sur les 301 publications, 244 paraissent dans des revues savantes indexées dans le SCIE (81 %), et 44 dans des revues savantes indexées dans le SSCI (15 %). Selon la méthode d'analyse des revues savantes, les 44 publications qui se retrouvent dans des revues savantes indexées dans le SSCI sont interdisciplinaires. Dans le Tableau 4.3, nous présentons le titre des revues savantes dans lesquelles les PCG ont publié le plus souvent.

Tableau 4.3 : Titre des revues savantes dans lesquelles les PCG publient le plus souvent¹⁷.

| Titre des revues savantes | Index | Nb |
|--|-------|----|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | SCIE | 28 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | SCIE | 23 |
| JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING | SCIE | 15 |
| SAFETY SCIENCE | SCIE | 15 |
| TRANSPORTATION RESEARCH RECORD | SCIE | 13 |

Dans le Tableau 4.3, l'ensemble des revues savantes sont indexées dans le SCIE. La revue indexée dans le SSCI dans laquelle les PCG publient le plus souvent s'intitule INTERNATIONAL JOURNAL OF PROJECT MANAGEMENT. 3 publications y paraissent sur la période d'étude. L'absence de revues savantes du SSCI dans le Tableau 4.3 nous amène à observer l'évolution de la proportion annuelle des publications scientifiques des PCG qui paraissent dans des revues indexées dans le SSCI à la Figure 4.17.

¹⁷ Nous indiquons le titre des revues savantes dont la somme des publications représente 20 % du nombre total.

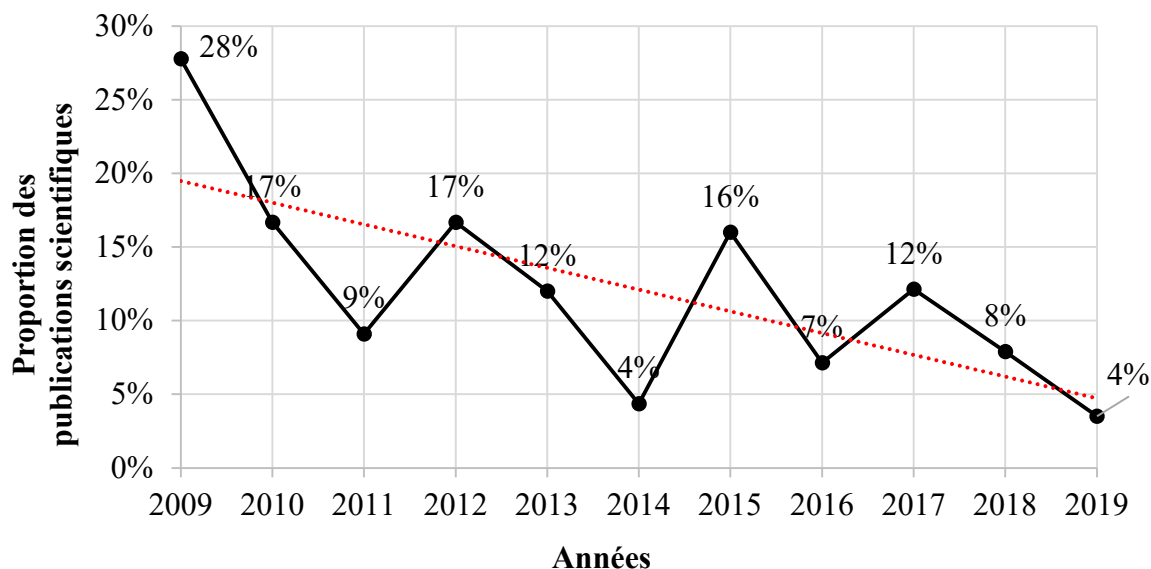


Figure 4.17 : Proportion annuelle des publications des PCG indexées dans le SSCI.

À la Figure 4.17, la proportion des publications scientifiques des PCG indexées dans SSCI est à la baisse sur la période d'étude. Rappelons que sur la période d'étude, 44 des 381 publications attribuables aux PCG paraissent dans des revues du SSCI. Malgré l'importante diminution, la proportion n'atteint jamais une valeur nulle. Ainsi, selon la méthode d'analyse des revues savantes, les PCG sont impliqués dans des activités de recherche interdisciplinaire chaque année sur la période d'étude.

4.3.2 Identification des domaines de recherche

Dans les métadonnées téléchargées de la BDB *WoS*, nous portons attention à l'information contenue dans la colonne intitulée «WC». On retrouve dans cette colonne, pour chacune des 479 publications scientifiques, le ou les WC qui sont associés à la revue savante dans laquelle la publication paraît. Nous attribuons le WC des revues savantes aux publications scientifiques. Lors du traitement des métadonnées, nous constatons que 356 publications scientifiques (74 %) sont associées à plus d'un WC. En chiffres : 213 publications scientifiques sont associées à deux WC, 130 publications sont associées à trois WC et seulement 2 publications sont associées à 4 WC. Le nombre total de WC s'élève à 993. Chaque WC peut être associé à l'un des trois index de citation de la collection centrale (SCIE, SSCI, AHCI). À la Figure 4.18, nous présentons la répartition des WC associés aux publications scientifiques des PCG et des PCSS selon l'index de citation.

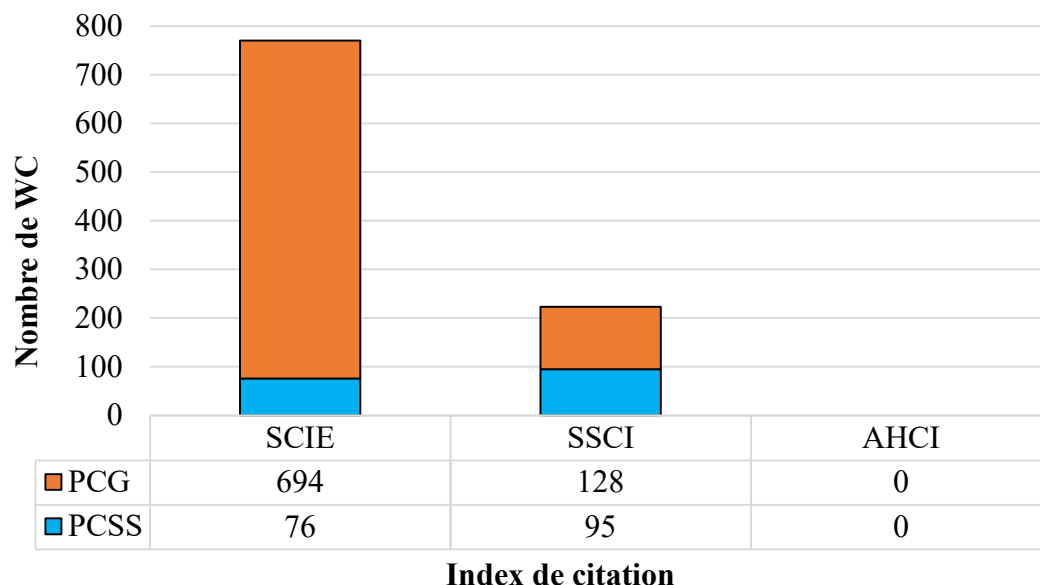


Figure 4.18 : Répartition des WC associés aux publications scientifiques selon l'index de citation.

Les données présentées à la Figure 4.18, montrent que 78 % des WC associés aux publications scientifiques des professeurs-chercheurs de notre échantillon sont reliés à l'index de citation SCIE et que 22 % des WC associés aux publications scientifiques des professeurs-chercheurs sont reliés à l'index de citation SSCI. Aucun des WC n'est associé à l'index de citation AHCI.

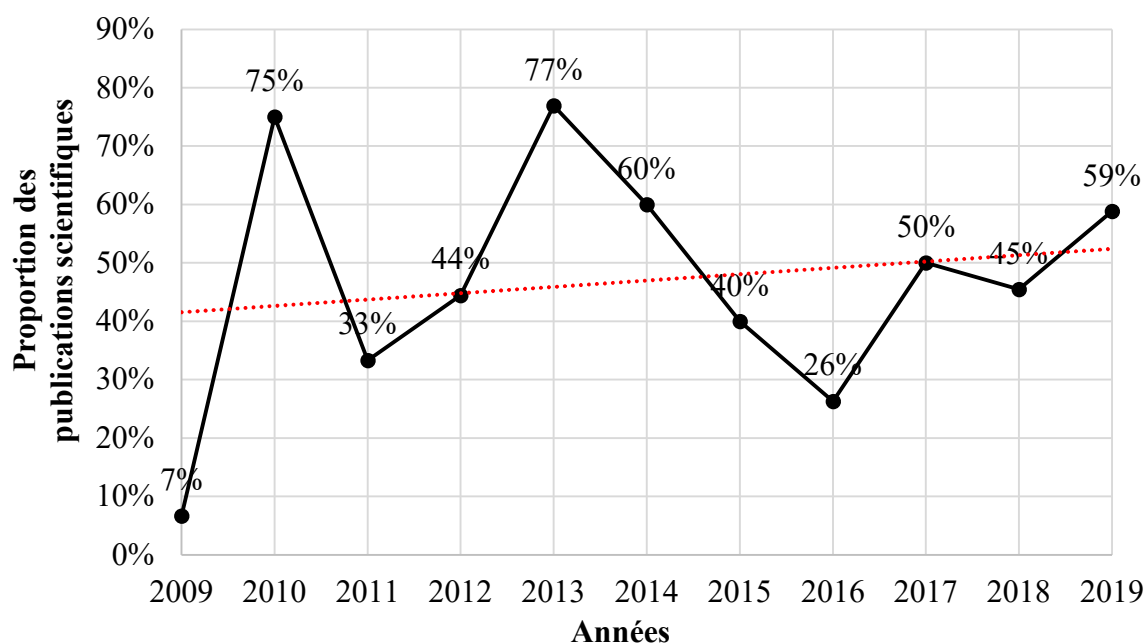
4.3.2.1 Professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS)

À la Figure 4.18, la majorité (56 %) des WC associés aux publications scientifiques des PCSS sont reliés à l'index de citation SSCI. Soulignons toutefois que 44 % des WC associés aux publications des PCSS sont reliés au SCIE. Or, selon la méthode d'analyse des revues savantes, les publications associées à un WC du SCIE sont interdisciplinaires. Dans le Tableau 4.4 de la page suivante, nous présentons les principaux domaines de recherche (WC) associés aux publications des PCSS.

Tableau 4.4 : Principaux WC associés aux publications scientifiques des PCSS¹⁸.

| Domaines de recherche (WC) | Index | Nb |
|--|-------|----|
| Management | SSCI | 20 |
| Economics | SSCI | 13 |
| Business | SSCI | 10 |
| Engineering, Industrial | SCIE | 10 |
| Computer Science, Interdisciplinary Applications | SCIE | 9 |
| Computer Science, Theory & Methods | SCIE | 7 |
| Ergonomics | SSCI | 7 |

Dans le Tableau 4.4, les trois principaux WC sont reliés à l'index de citation des sciences sociales. Lorsque nous comparons les WC avec les disciplines des diplômes de doctorat des PCSS présentés dans le Tableau 4.1, nous constatons des similitudes : sciences économiques avec « *Economics* »; sciences de la gestion avec « *Management* » et ergonomie avec « *ergonomics* ». Ce résultat suggère que les PCSS continuent de mener des activités de recherche dans une discipline semblable à celle de leur diplôme de doctorat. 3 des 7 principaux WC sont reliés au SCIE. À la Figure 4.19, nous traçons la courbe de proportion des WC du SCIE associés aux publications des PCSS.

**Figure 4.19** : Proportion des publications des PCSS associées à un WC du SCIE.

¹⁸ Nous indiquons les domaines de recherche dont la somme représente 20 % du nombre total.

À la Figure 4.19, la proportion annuelle des publications scientifiques des PCSS associées à un WC du SCIE est à la hausse sur la période d'étude. La proportion annuelle moyenne se chiffre aux environs de 47 %. Selon la méthode d'analyse des publications, ce résultat suggère que chaque année, des activités de recherche menée par les PCSS sont interdisciplinaires puisqu'elles portent sur des disciplines des sciences naturelles comme : *Engineering, Industrial; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, Theory & Methods*.

4.3.2.2 Professeurs-chercheurs de génie (PCG)

À la Figure 4.18, la majorité (84 %) des WC associés aux publications scientifiques des PCG sont reliés à l'index de citation SCIE. De même, 16 % des WC associés aux publications scientifiques des PCG sont reliés à l'index de citation SSCI. Dans le Tableau 4.5, nous présentons les principaux domaines de recherche (WC) associés aux publications des PCG.

Tableau 4.5 : Principaux WC associés aux publications scientifiques des PCG¹⁹.

| Domaines de recherche (WC) | Index | Nb |
|---|-------|-----|
| Operations Research & Management Science | SCIE | 114 |
| Engineering, Industrial | SCIE | 114 |
| Environmental Sciences | SCIE | 69 |
| Engineering, Manufacturing | SCIE | 64 |
| Engineering, Environmental | SCIE | 56 |
| Computer Science, Artificial Intelligence | SCIE | 36 |
| Engineering, Electrical & Electronic | SCIE | 30 |
| Transportation | SSCI | 30 |

Dans le Tableau 4.5, les 7 principaux WC associés aux publications des PCG sont reliés au SCIE. Lorsque nous comparons avec les disciplines des diplômes de doctorat des PCG présentés dans le Tableau 4.1, nous constatons une concordance entre le génie industriel et « *Engineering, Industrial* », les sciences environnementales et « *Environmental Sciences* » ainsi que l'informatique industrielle et « *engineering, electrical & electronics* ». Un seul des WC relié aux publications des PCG provient du SSCI : « *Transportation* ».

¹⁹ Nous indiquons les domaines de recherche dont la somme représente 20 % du nombre total.

À la Figure 4.20, nous représentons la proportion annuelle des WC du SSCI associés aux publications des PCG sur la période d'étude.

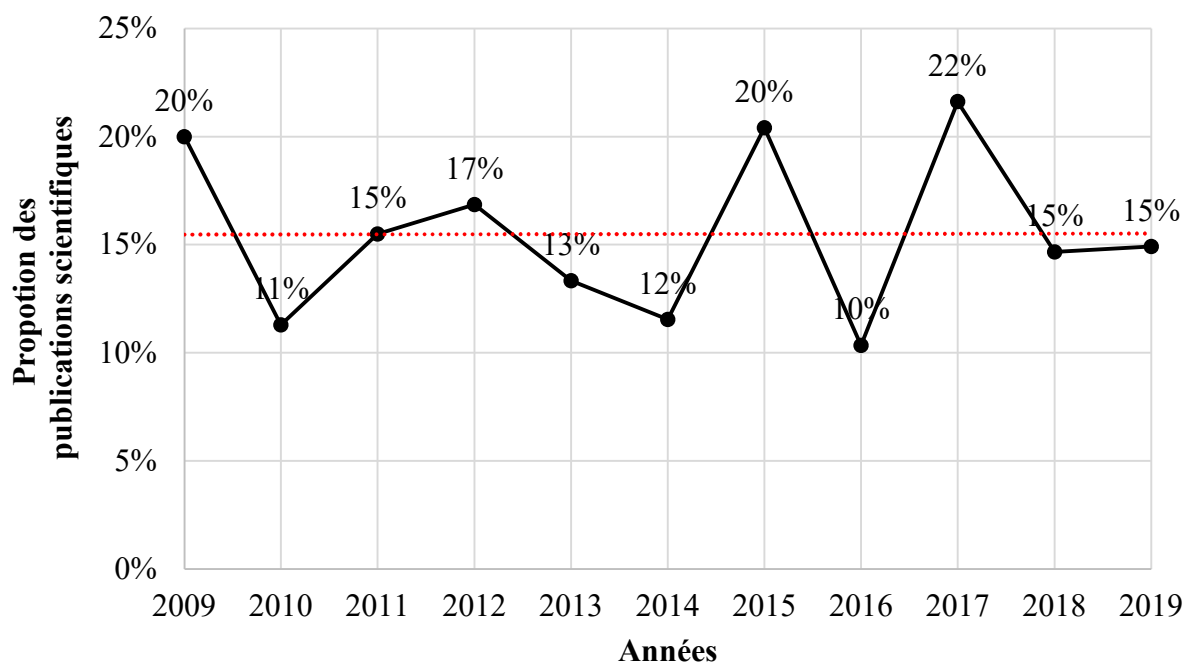


Figure 4.20 : Proportion des publications des PCG associés à un WC du SSCI.

À la Figure 4.20, la proportion annuelle des publications scientifiques des PCG qui sont associées à un WC du SSCI varie tout au long de la période d'étude. La plus haute proportion, qui se chiffre à 22 %, remonte à 2017. La plus basse proportion, qui se chiffre à 10 %, remonte à 2016. La proportion annuelle moyenne se chiffre aux environs de 15 %. Ainsi, conformément à la méthode d'analyse des publications, les résultats du Tableau 4.5 et de la Figure 4.20 suggèrent que chaque année, une faible proportion, variant entre 10 % et 22 % des activités de recherche menée par les PCG sont interdisciplinaires puisqu'elles portent sur des disciplines des sciences sociales, notamment aux transports que nous associons au WC *Transportation*.

4.4 Méthode d'analyse des références

L'analyse des références constitue la seconde méthode bibliométrique proposée pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances. Selon cette méthode décrite en détail dans la section 3.4.2 du Chapitre 3, les activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs sont interdisciplinaires si l'on retrouve, dans la liste des références de leurs publications scientifiques, des citations provenant de revues savantes qui ne sont pas reliées à leur discipline d'appartenance. Pour déterminer la discipline des revues savantes, nous utilisons, comme pour l'analyse des publications scientifiques, le système de classification par domaines de recherche de la BDB *WoS*. Le WC de la référence est associé à celui de la revue savante qui publie la publication scientifique citée. Dans le Tableau 4.6, nous détaillons la répartition des références ainsi que le nombre que nous parvenons à associer à des revues savantes.

Tableau 4.6 : Répartition des références associées à des revues savantes.

| | Nombre de publications | Nombre de références | Nombre de revues identifiées |
|--------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| PCSS | 88 | 3 634 | 2 147 |
| PCG | 391 | 14 579 | 8 001 |
| Total | 479 | 18 213 | 10 148 |

À partir des données présentées au Tableau 4.6, nous déterminons que le taux d'association des références s'élève à 59 % et à 55 % respectivement pour les PCG et les PCSS. Dans leurs travaux, Larivière et Sugimoto (2018) discutent du pourcentage de documents cités dans une publication scientifique que l'on retrouve dans les index de citation de la BDB *WoS*. Ces derniers déterminent « qu'environ 85 % du contenu cité par les articles publiés en sciences médicales renvoie à des documents recensés par la base de données, cela tombe à moins de 75 % en sciences naturelles et à juste au-dessus de 50 % en sciences sociales » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 42). Pour les PCG, le taux d'association des références se chiffre à 54 % ce qui est un peu plus bas que ce que l'on pourrait s'attendre pour des travaux de recherche reliés aux sciences naturelles. Pour les PCSS, le taux d'association des références se chiffre à 59 % ce qui est plus élevé que la tendance observée par Larivière et Sugimoto (2018).

Le fait que le taux d'association des références citées par les PCSS soit inférieur à celui des PCG est cohérent avec les habitudes de citations que nous retrouvons dans la littérature. En effet, dans leurs travaux, Archambault et al. (2006) comparent les habitudes de citations en ingénierie et en sciences sociales. Les résultats de l'étude montrent qu'au début des années 2000, 68 % des citations dans les publications scientifiques en ingénierie proviennent de revues savantes. À l'opposé, moins de 50 % des citations dans les publications scientifiques en sciences sociales proviennent de revues savantes. Ainsi, les auteurs recommandent de faire preuve de prudence « en construisant des indicateurs sur la seule base des publications scientifiques que l'on retrouve dans des revues savantes pour les disciplines des sciences sociales » (Archambault et al., 2006, p. 997). Ainsi, le taux d'association plus bas des PCSS peut être relié au fait que les chercheurs en sciences sociales citent régulièrement des publications scientifiques sous forme de livres et de monographies, et que ces types de publications ne sont pas compris dans les index de citation que nous utilisons.

4.4.1 Identification des revues savantes

À la Figure 4.21, le diagramme en bâton illustre la répartition des revues savantes, selon l'index de citation, desquelles proviennent les références que l'on retrouve dans les publications des PCG et des PCSS.

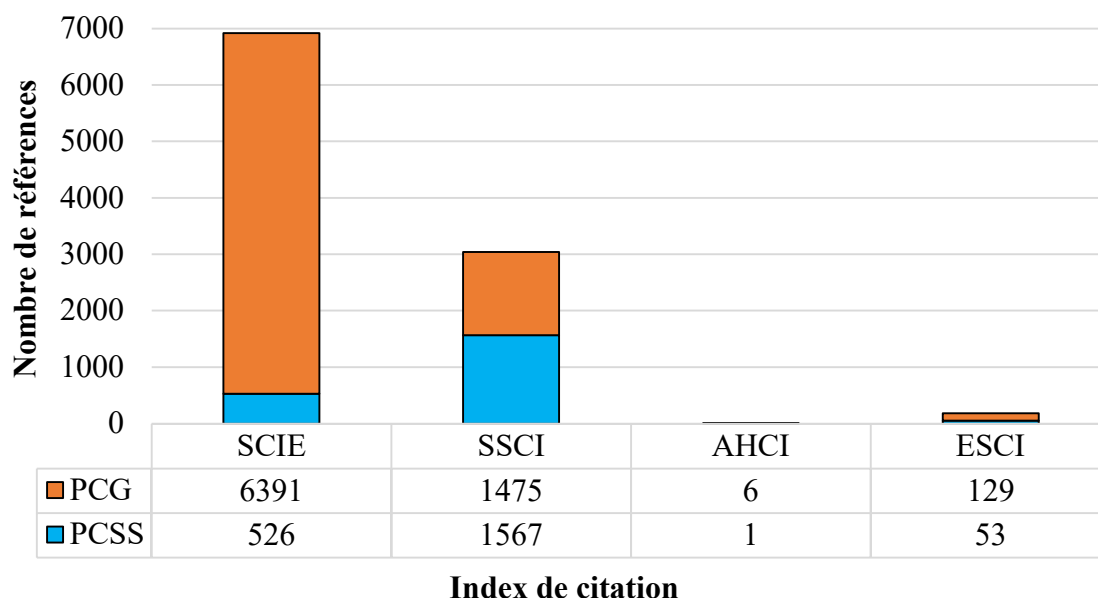


Figure 4.21 : Répartition des références selon l'index de citation.

Les données présentées à la Figure 4.21 montrent que 68 % des références proviennent de revues savantes indexées dans le SCIE, 30 % sont indexées dans le SSCI, moins de 1 % dans le AHCI, et tout juste 2 % dans le ESCI.

4.4.1.1 Professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS)

À la Figure 4.21, les données montrent que les PCSS citent majoritairement (73 %) des publications scientifiques provenant de revues savantes indexées dans le SSCI. 24 % des références proviennent de revues savantes indexées dans le SCIE. Dans le Tableau 4.7, nous présentons le titre des revues savantes citées le plus souvent par les PCSS durant la période d'étude.

Tableau 4.7 : Titre des revues savantes les plus citées par les PCSS²⁰.

| Titre des revues savantes | Index | Nb |
|----------------------------------|-----------|-----|
| RESEARCH POLICY | SSCI | 239 |
| SCIENTOMETRICS | SSCI/SCIE | 109 |
| AMERICAN ECONOMIC REVIEW | SSCI | 46 |
| MANAGEMENT SCIENCE | SSCI | 39 |
| JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION | SCIE | 36 |
| JOURNAL OF NANOPARTICLE RESEARCH | SCIE | 31 |
| RAND JOURNAL OF ECONOMICS | SSCI | 27 |
| TECHNOVATION | SSCI | 27 |

Dans le Tableau 4.7, seulement deux des revues savantes les plus citées par les PCSS sont indexées dans le SCIE. Cette faible proportion nous amène à nous interroger sur la proportion annuelle des références citées par les PCSS qui proviennent de revues savantes indexées dans le SCIE qui est illustrée à la Figure 4.22.

²⁰ Nous indiquons le titre des revues savantes dont la somme des citations représente 20 % du nombre total.

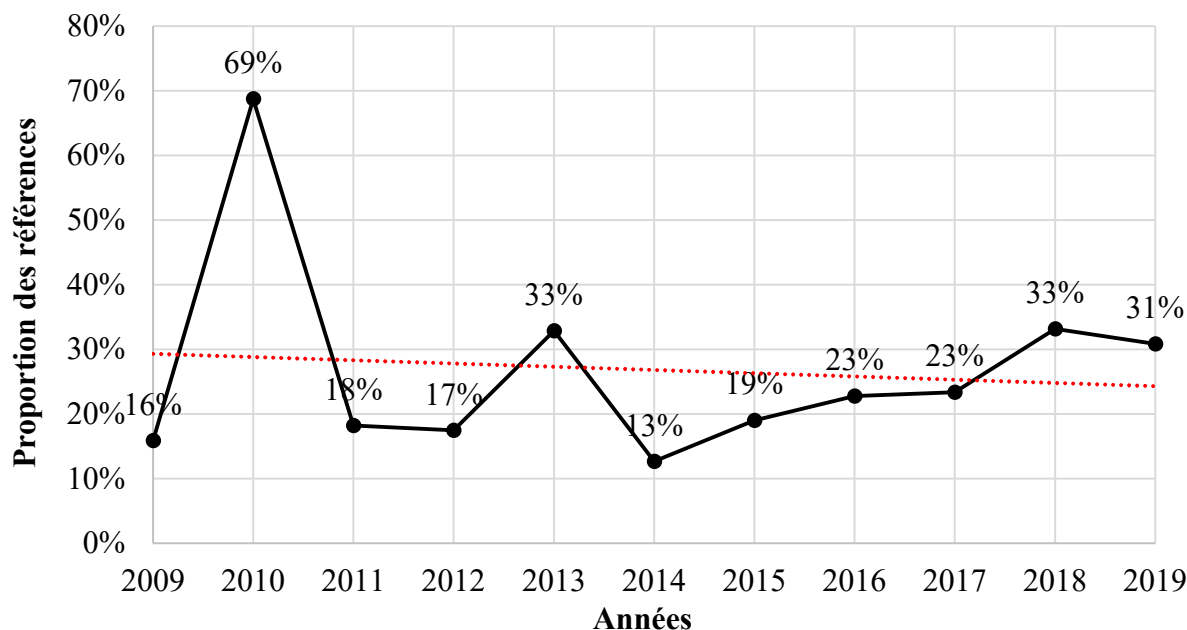


Figure 4.22 : Proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes du SCIE.

À la Figure 4.22, la proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes indexées dans le SCIE est légèrement à la baisse sur la période d'étude. Malgré cette diminution, chaque année, au minimum 13 % des références proviennent de revues savantes du SCIE tout au long de la période d'étude. Ainsi, selon la méthode d'analyse des références, les PCSS mènent des activités de recherche interdisciplinaire.

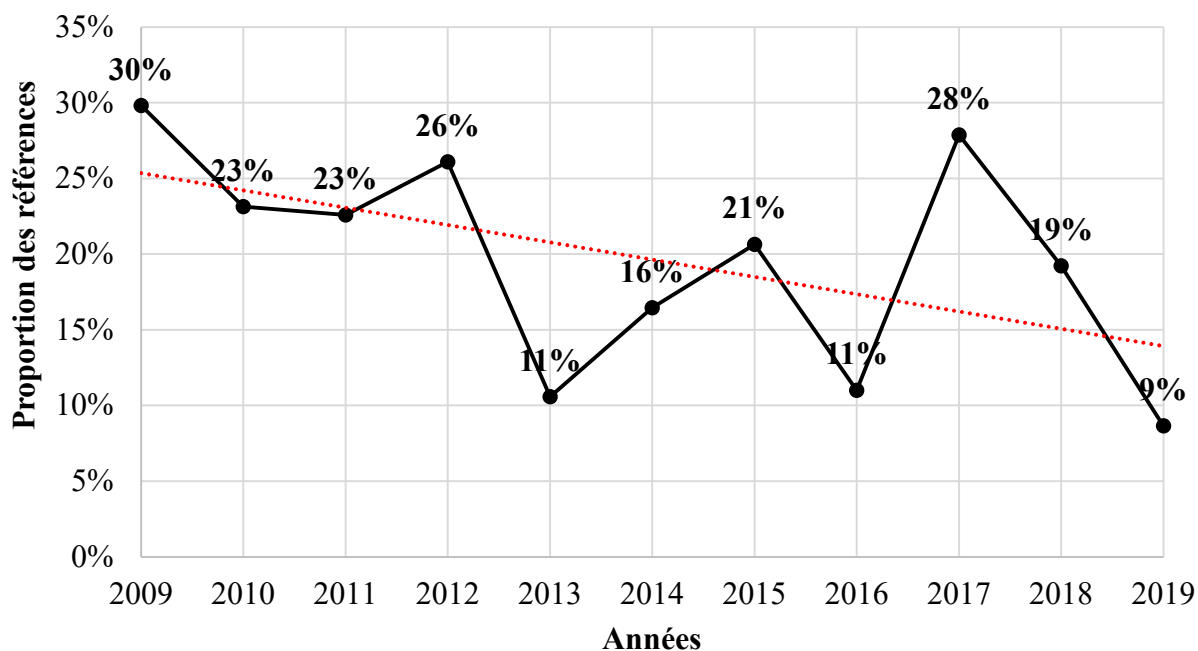
4.4.1.2 Professeurs-chercheurs de génie (PCG)

Les données de la Figure 4.21, montrent que les PCG citent majoritairement (80 %) des publications scientifiques provenant de revues savantes indexées dans le SCIE. 18% des références proviennent de revues savantes indexées dans le SSCI. Or, selon la méthode d'analyse des références, les références provenant de revues indexées dans le SSCI suggèrent des activités de recherche interdisciplinaire. Dans le Tableau 4.8, nous présentons le titre des revues savantes citées le plus souvent par les PCG durant la période d'étude.

Tableau 4.8 : Titre des revues savantes les plus citées par les PCG²¹.

| Titre des revues savantes | Index | Nb |
|--|-------|-----|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | SCIE | 497 |
| EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH | SCIE | 287 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | SCIE | 264 |
| ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | SCIE | 263 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS | SCIE | 190 |
| JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION | SCIE | 158 |
| SAFETY SCIENCE | SCIE | 137 |
| JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING | SCIE | 117 |
| MANAGEMENT SCIENCE | SSCI | 99 |

Dans le Tableau 4.8, nous remarquons que la revue savante indexée dans le SSCI la plus citée par les PCG s'intitule MANAGEMENT SCIENCE. Elle est citée à 99 reprises sur la période d'étude. La présence d'une seule revue savante du SSCI dans le Tableau 4.8 nous amène à nous interroger sur la proportion annuelle des références des PCG qui proviennent de revues savantes indexées dans le SSCI présentée à la Figure 4.23.

**Figure 4.23** : Proportion annuelle des citations des PCG provenant des revues savantes du SSCI.

²¹ Nous indiquons le titre des revues savantes dont la somme des citations représente 20 % du nombre total.

La proportion annuelle des citations des PCG provenant de revues savantes indexées dans le SSCI est à la baisse sur la Figure 4.23. La proportion annuelle la plus haute remonte au tout début de la période d'étude alors que la plus basse est en 2019. Malgré cette diminution, les données de la Figure 4.23 montrent qu'au minimum 9 % des citations des PCG proviennent annuellement de revues savantes indexées dans le SSCI. Ainsi, selon la méthode d'analyse des références, une partie des activités de recherche menées par les PCG sont interdisciplinaires tout au long de la période d'étude.

4.4.2 Identification des domaines de recherche

La BDB *WoS* fournit une liste des WC associés à chaque revue savante indexée dans le SCIE, SSCI, et le AHCI. À partir du titre des revues savantes de laquelle proviennent les 10 148 références, nous déterminons le ou les WC de chacune d'entre elles. Nous attribuons le WC de la revue savante à la référence. Durant le traitement des données, nous constatons que 5921 références (58%) sont associées à plus d'un WC. En chiffres : 3885 références sont associées à deux WC, 1817 références sont associées à trois WC, 198 références sont associées à quatre WC, 7 références sont associées à cinq WC et 5 références sont associées à 6 WC différents. Ainsi, le nombre total de domaines de recherche associés aux 10 148 références s'élèvent à 18 305. La répartition WC associés aux références des publications des PCG et des PCSS selon l'index de citation est illustrée à l'aide d'un diagramme en bâtons à la Figure 4.24.

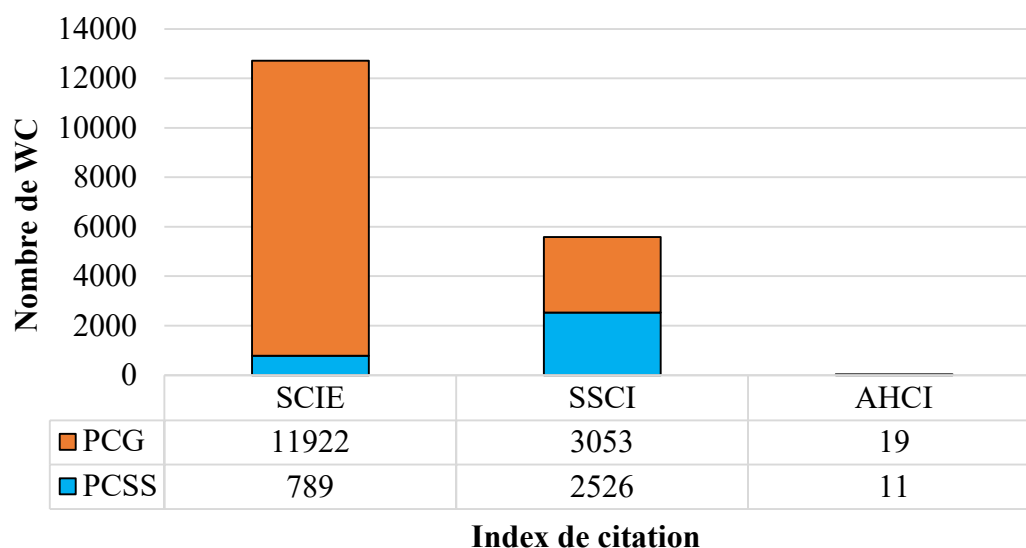


Figure 4.24 : Répartition des WC associés aux références selon l'index de citation.

À la Figure 4.24, 69 % des WC associés aux revues savantes citées par les professeurs-chercheurs de notre échantillon sont reliés à l'index de citation SCIE. 30 % des WC associés aux revues savantes citées par les professeurs-chercheurs de notre échantillon sont reliés à l'index de citation SSCI, et moins de 1% des WC sont associés à des revues savantes de AHCI.

4.4.2.1 Professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS)

À la Figure 4.24, la majorité (76 %) des WC associés aux revues savantes citées par les PCSS sont reliés au SSCI. 24 % des WC associés aux revues savantes citées par les PCSS sont reliés au SCIE. Dans le Tableau 4.9, nous présentons les principaux domaines de recherche (WC) associés aux références que l'on retrouve dans les publications des PCSS.

Tableau 4.9 : Principaux WC associés aux revues savantes citées par les PCSS²².

| Domaines de recherche (WC) | Index | Nb |
|---------------------------------------|-------|-----|
| Management | SSCI | 583 |
| Economics | SSCI | 537 |
| Business | SSCI | 227 |
| Information Science & Library Science | SSCI | 162 |
| Environmental Studies | SSCI | 112 |
| Environmental Sciences | SCIE | 105 |
| Engineering, Environmental | SCIE | 82 |

Conformément aux données du Tableau 4.9, cinq des principaux WC associés aux revues savantes citées par les PCSS sont reliés à l'index de citation des sciences sociales. En comparant les WC avec les disciplines des diplômes de doctorat des PCSS au Tableau 4.1, nous constatons des similitudes entre les sciences économiques et *economics* ainsi que les sciences de la gestion avec *management* ou encore *business*. Ce résultat suggère que les PCSS continuent d'utiliser des connaissances reliées à leur diplôme de doctorat pour mener des activités de recherche. Deux des WC présentés au Tableau 4.9 sont reliés à au SCIE : *Environmental Sciences* et *Engineering, Environmental*. La courbe de proportion annuelle des citations provenant de revues savantes associées à un WC du SCIE est présentée à la Figure 4.25, page suivante.

²² Nous indiquons les domaines de recherche dont la somme représente 20 % du nombre total.

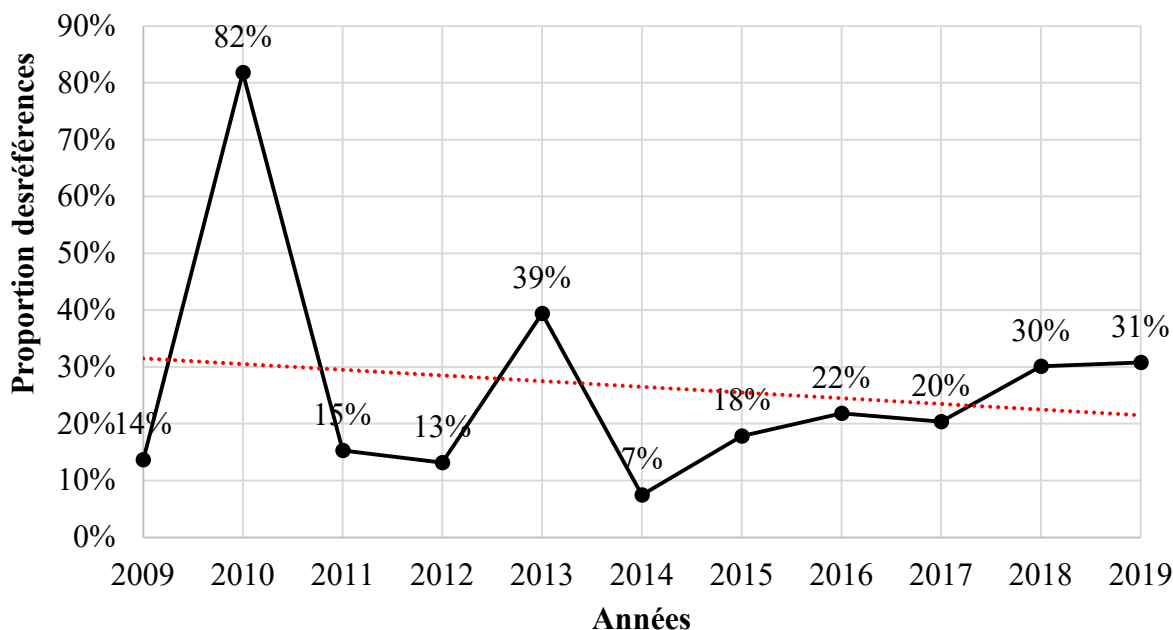


Figure 4.25 : Proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes du SCIE.

La proportion annuelle des citations des PCSS provenant de revues savantes indexées dans le SCIE est à la baisse à la Figure 4.25. Malgré cette tendance, la proportion annuelle demeure toujours au-dessus de 7 % sur la période d'étude. Ainsi, selon la méthode d'analyse des références, les PCSS s'impliquent dans des activités de recherche interdisciplinaire entre 2009 et 2019. Selon les données du Tableau 4.9, ces activités de recherche interdisciplinaire portent notamment sur *Environmental Sciences et Engineering, Environmental*.

4.4.2.2 Professeurs-chercheurs de génie (PCG)

À la Figure 4.24, nous remarquons que la majorité (80%) des WC associés aux revues savantes citées par les PCG sont reliés au SCIE. Soulignons toutefois que 20% des WC associés aux revues savantes citées par les PCG sont reliés au SSCI. Selon notre interprétation, cela suggère qu'une partie des activités de recherche menées par les PCG sont interdisciplinaires. Dans le Tableau 4.10, nous présentons les principaux domaines de recherche (WC) associés aux références que l'on retrouve dans les publications des PCG.

Tableau 4.10 : Principaux WC associés aux revues savantes citées par les PCG²³.

| Domaines de recherche (WC) | Index | Nb |
|--|-------|------|
| Operations Research & Management Science | SCIE | 1533 |
| Environmental Sciences | SCIE | 1502 |
| Engineering, Environmental | SCIE | 1164 |
| Engineering, Industrial | SCIE | 1043 |
| Engineering, Manufacturing | SCIE | 918 |
| Management | SSCI | 798 |
| Computer Science, Artificial Intelligence | SCIE | 520 |
| Computer Science, Interdisciplinary Applications | SCIE | 474 |

Dans le Tableau 4.10, 7 des 8 principaux WC sont reliés à l'index de citation des sciences naturelles. En comparant avec les disciplines des diplômes de doctorat des PCG du Tableau 4.1, nous constatons des similitudes. Nous associons le génie industriel avec le domaine de recherche *engineering, industrial* et sciences environnementales avec *environmental sciences*. Un seul des principaux WC est relié à l'index des sciences sociales : *management*. À la Figure 4.26, nous traçons la courbe de proportion des WC du SSCI associés aux références des publications des PCG sur la période d'étude.

²³ Nous indiquons les domaines de recherche dont la somme représente 20 % du nombre total.

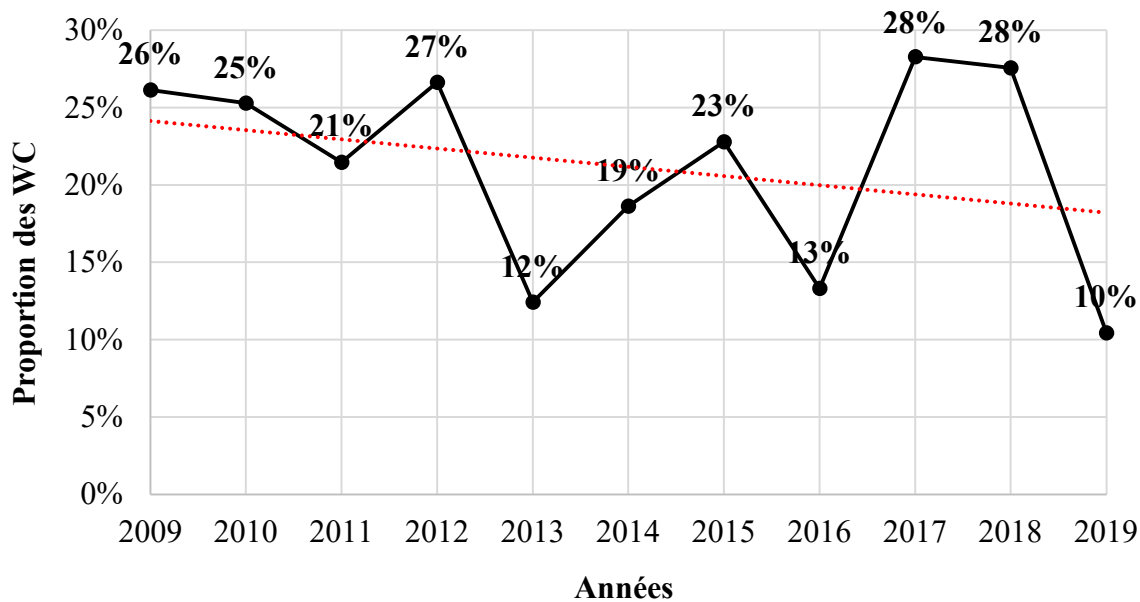


Figure 4.26 : Proportion annuelle des citations des PCG provenant de revues savantes du SSCI.

À la Figure 4.26, la proportion annuelle des citations des PCG provenant de revues savantes indexées dans le SSCI est sujette à d'importantes variations tout au long de la période d'étude. La proportion semble cependant à la baisse. Malgré ces variations, la proportion annuelle des citations provenant de revues savantes indexées dans le SSCI demeure toujours supérieure à 10 % entre 2009 et 2019. Ce résultat suggère que tout au long de la période d'étude, les PCG intègrent des connaissances provenant de disciplines des sciences sociales dans leurs travaux de recherche. Une condition nécessaire et suffisante selon la méthode d'analyse des références pour avancer qu'une partie des activités de recherche des PCG sont interdisciplinaires.

4.5 Méthode d'analyse des codirections

L'analyse des codirections est la méthode bibliométrique utilisée pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche. Selon cette méthode, un mémoire de maîtrise ou une thèse de doctorat est interdisciplinaire si des professeurs-chercheurs d'appartenance disciplinaire distincte sont impliqués dans son encadrement. Pour déterminer l'appartenance disciplinaire des professeurs-chercheurs, nous nous basons sur la discipline de leur diplôme de doctorat. Dans le Tableau 4.1, nous avons séparé les 25 professeurs-chercheurs en deux catégories : les PCG possédant un diplôme dans une discipline de l'ingénierie ou connexe et les PCSS possédant un diplôme dans une discipline des sciences sociales.

À la Figure 4.13, nous avons mis en évidence le fait que les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon sont impliqués dans l'encadrement de 319 travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat compris). Sur ces 319 travaux, 185 reposent sur une codirection entre au moins deux professeurs-chercheurs. À la Figure 4.27, nous présentons la répartition des travaux réalisés en codirection entre les PCG et les PCSS.

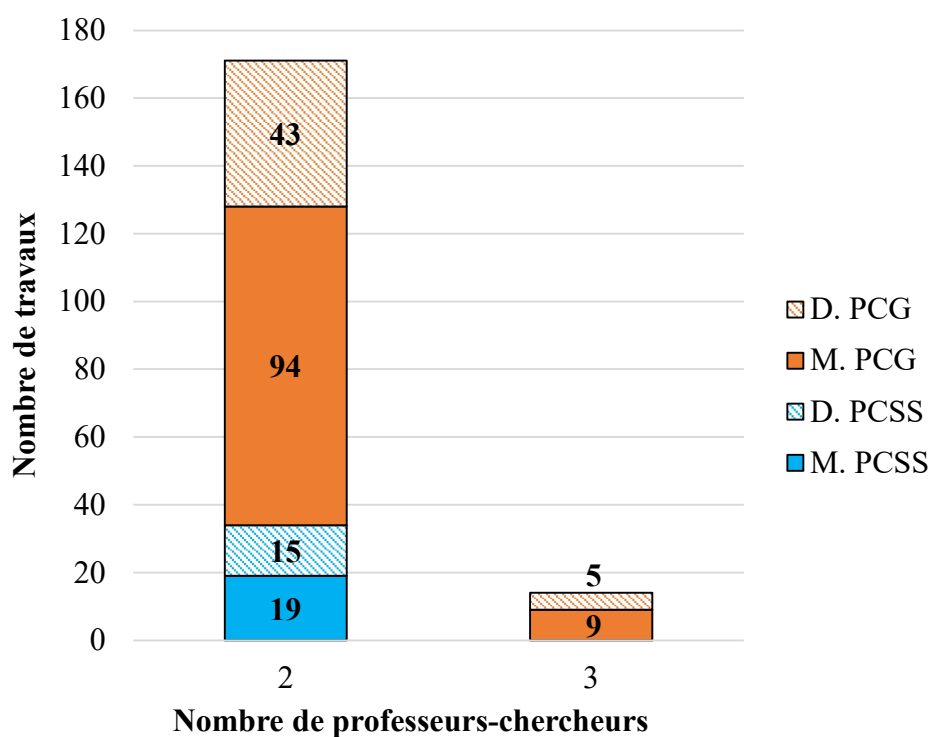


Figure 4.27 : Répartition des travaux en codirection selon le nombre de professeurs-chercheurs.

À la Figure 4.27, 92 % des travaux réalisés en codirection reposent sur l'implication de deux professeurs-chercheurs. Seulement 14 travaux impliquent 3 professeurs-chercheurs. Dans la BDI *PolyPublie*, nous déterminons le prénom et le nom de chacun des professeurs-chercheurs impliqués dans les 185 travaux réalisés en codirection. Cette information est disponible dans les colonnes intitulées *director_thesis.family* et *director_thesis.given*. Nous obtenons une liste de 96 professeurs-chercheurs différents. Dans cette liste, nous retrouvons les 25 noms des professeurs-chercheurs de notre échantillon. Nous déterminons la discipline du doctorat des 71 autres professeurs-chercheurs à partir de la liste fournie par l'équipe de la bibliothèque scientifique de *Polytechnique Montréal*²⁴ ou bien à l'aide de sources de données publiques. Nous regroupons les professeurs-chercheurs au sein des deux catégories précédentes : PCG et PCSS. Dans le Tableau 4.11, nous présentons la répartition des professeurs-chercheurs.

Tableau 4.11 : Répartition des professeurs-chercheurs impliqués dans les codirections.

| Nombre de professeurs-chercheurs | Disciplines des diplômes de doctorat | Catégories |
|----------------------------------|---|-------------|
| 75 | Génie industriel (9) Génie mécanique (6) Génie civil (1) Informatique industrielle (1) Sciences environnementales (1) | PCG |
| 21 | Sciences de la gestion (8) Sciences économiques (6) Psychologie (5) Esthétique (1) Ergonomie cognitive (1) | PCSS |

Les données présentées dans le Tableau 4.11 montrent que 75 des 96 professeurs-chercheurs possèdent un diplôme de doctorat dans une discipline reliée à l'ingénierie alors que les 21 autres possèdent un doctorat en sciences sociales. Les proportions sont respectivement de 78 % et de 22 %. À partir des données présentées à la Tableau 4.11, nous déterminons trois cas de figure possibles pour les codirections :

²⁴ Nous avons fait mention de cette liste comprenant 489 professeurs-chercheurs ayant travaillé à *Polytechnique Montréal* dans la section 3.4.1.2.

1) Une codirection impliquant deux professeurs-chercheurs possédant chacun un diplôme en ingénierie (PCG-PCG). Nous incluons dans ce cas de figure la possible collaboration entre trois PCG.

2) Une codirection impliquant un professeur-chercheur possédant un diplôme en ingénierie et un professeur-chercheur possédant un diplôme en sciences sociales (PCG-PCSS). Nous incluons dans ce cas de figure les collaborations entre deux PCG et un PCSS ainsi que deux PCSS et un PCG.

3) Une codirection impliquant deux professeurs-chercheurs possédant un diplôme en sciences sociales (PCSS-PCSS). Nous incluons également dans ce cas de figure les codirections impliquant trois PCSS.

Dans le Tableau 4.12, nous présentons la répartition des codirections selon les trois types de collaborations identifiés.

Tableau 4.12 : Répartition des travaux en codirection selon les trois cas de figure.

| Types de codirection | Nombre de travaux | Proportion |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| PCG – PCG | 138 | 75 % |
| PCG – PCSS | 22 | 12 % |
| PCSS – PCSS | 25 | 14 % |
| Total | 185 | 100 % |

Dans le Tableau 4.12, la majorité des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat (75 %) implique deux professeurs-chercheurs possédant une formation dans une discipline de l'ingénierie. Nous tenons toutefois à souligner que 12 % des 185 travaux en codirection impliquent une collaboration interdisciplinaire entre un professeur-chercheur possédant une formation en ingénierie et un professeur-chercheur possédant une formation dans une discipline des sciences sociales. Enfin, 14% des travaux impliquent une collaboration entre deux professeurs-chercheurs possédant une formation en sciences sociales. Selon notre interprétation, certaines activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche sont interdisciplinaires.

En combinant l'information relative à l'année de remise des travaux, nous illustrons l'évolution de la proportion des travaux interdisciplinaires reposant sur le génie et les sciences sociales sur la période d'étude. Cette évolution est présentée à la Figure 4.28 de la page suivante.

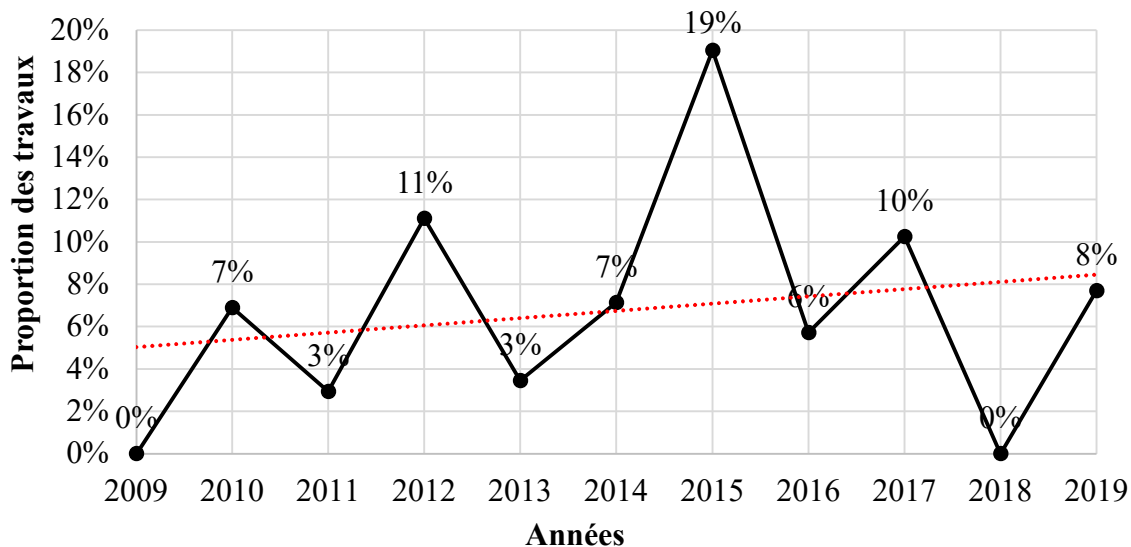


Figure 4.28 : Proportion annuelle des travaux interdisciplinaires sur la période d'étude.

Sur la Figure 4.28 nous observons que la tendance de la proportion des travaux interdisciplinaires est à la hausse pour les professeurs-chercheurs de génie industriel sur la période d'étude. La plus haute proportion, qui se chiffre à 19 %, est observée en 2015. Selon nos résultats, aucun travail interdisciplinaire n'est réalisé en 2009 et 2018. La proportion moyenne des travaux interdisciplinaires s'élève à 7 % sur la période d'étude. Selon notre interprétation, ces résultats suggèrent que les professeurs-chercheurs du département de génie industriel de *Polytechnique Montréal* collaborent de plus en plus avec des professeurs-chercheurs de sciences sociales pour encadrer des projets à la maîtrise et au doctorat, un indicateur d'une hausse de l'interdisciplinarité.

4.6 Comparaison des résultats

Dans le Chapitre 4, nous présentons les résultats obtenus à l'aide des trois méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche. Pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances, nous utilisons deux méthodes : l'analyse des revues savantes, et l'analyse des références. Pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève, nous utilisons l'analyse des codirections. Dans les sous-sections 4.6.1 à 4.6.3, nous faisons un retour sur les résultats obtenus à l'aide de chacune des méthodes. Ces sous-sections comprennent également une interprétation des résultats.

4.6.1 Méthode d'analyse des revues savantes

L'analyse des revues savantes permet de déterminer dans quelles revues savantes sont publiées les activités de recherche des professeurs-chercheurs. Selon cette méthode, les activités de recherche sont considérées comme étant interdisciplinaires si les professeurs-chercheurs de génie (PCG) publient dans des revues savantes de sciences sociales indexées dans le SSCI ou encore si les professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS) publient dans des revues savantes de sciences naturelles indexées dans le SCIE. Précédemment, dans la section 4.3.1, nous avons fait mention du fait que nous parvenons à identifier la revue savante dans laquelle sont publiés 341 des 479 publications scientifiques (72 %). Le taux d'identification de 72 % est cohérent avec les types de publications de notre échantillon qui se compose de 73 % d'articles. Puisque les revues savantes comprennent majoritairement des publications scientifiques sous forme d'articles, nous ne nous attendions pas à ce que le taux d'identification soit de 100 %. Dans le Tableau 4.13, nous comparons les résultats obtenus à l'aide de l'analyse des revues savantes pour les activités de recherche des PCG et des PCSS.

Tableau 4.13 : L'interdisciplinarité des activités de recherche des PCG et des PCSS.

| | PCG | PCSS |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| Nombre de publications ²⁵ | 391 | 88 |
| SCIE | 244 | 18 |
| SSCI | 44 | 35 |
| N/A | 103 | 35 |
| Interdisciplinarité | 11 % * | 20 %* |

*Nous divisons le nombre de publications des PCG qui se retrouvent dans des revues savantes indexées dans le SSCI par le nombre total de publications des PCG. Calcul analogue pour les PCSS. Toutefois nous prenons le nombre de publications qui paraissent dans des revues savantes du SCIE plutôt que du SSCI.

²⁵ Pour déterminer le nombre de publications des PCG et des PCSS, nous utilisons une méthode de comptage unitaire. Ce choix méthodologique fait l'objet d'une réflexion dans la section 5.1.1.

Au Tableau 4.13, nous constatons que les PCG publient majoritairement dans les revues savantes de sciences naturelles indexées dans le SCIE. Ces activités de recherche ne sont donc pas considérées comme étant interdisciplinaires. Nous obtenons un constat semblable pour les PCSS qui publient majoritairement dans des revues savantes des sciences sociales indexées dans le SSCI. Toutefois, sur les 88 publications scientifiques attribuables aux PCSS, 18 paraissent dans des revues savantes indexées dans le SCIE. De même, 44 des 391 publications scientifiques des PCG se retrouvent dans des revues savantes indexées dans le SSCI. Ainsi, 11 % des publications des PCG et 20 % des publications des PCSS sont interdisciplinaires. Toutefois, considérant que seulement 72 % des publications paraissent dans des revues savantes indexées dans la BDB *WoS*, il est possible que les résultats soient sous-évalués. Cette remarque fait l'objet d'une réflexion dans la section 5.3.2. Somme toute, 62 des 479 publications scientifiques de notre échantillon (13 %) sont interdisciplinaires selon les postulats de l'analyse des revues savantes. De plus, l'analyse des revues savantes montre que les PCSS sont davantage impliqués que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire.

Dans le Tableau 4.14, nous regroupons les données du Tableau 4.2 et du Tableau 4.3 afin de comparer les revues savantes dans lesquelles les PCG et les PCSS publient le plus souvent.

Tableau 4.14 : Comparaison des revues savantes de publication des PCG et des PCSS.

| PCG | PCSS |
|--|---|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | JOURNAL OF PREVENTION ASSESSMENT & REHABILITATION |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | RESEARCH POLICY |
| JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING | JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION |
| SAFETY SCIENCE | JOURNAL OF TECHNOLOGY TRANSFER |
| | APPLIED ERGONOMICS |
| | SCIENTOMETRICS |
| | JOURNAL OF SAFETY RESEARCH |
| | INDUSTRY AND INNOVATION |

Dans le Tableau 4.14, les revues savantes de publication sont distinctes pour les deux catégories de professeurs-chercheurs. Dans le même ordre d'idées, nous regroupons les données du Tableau 4.4 et du Tableau 4.5 dans le Tableau 4.15 à la page suivante afin de comparer les WC associés aux revues savantes dans lesquelles les PCG et les PCSS publient le plus souvent.

Tableau 4.15 : Comparaison des WC associés aux revues savantes de publication.

| PCG | PCSS |
|---|------------------------------------|
| Operations Research & Management Science | Management |
| Engineering, Industrial | Economics |
| Environmental Sciences | Business |
| Engineering, Manufacturing | Engineering, Industrial |
| Computer Science, Artificial Intelligence | Computer Science, Theory & Methods |
| Engineering, Electrical & Electronic | Social Sciences, Interdisciplinary |
| Transportation | Ergonomics |

Dans le Tableau 4.15, nous constatons qu'un seul domaine de recherche est commun aux PCG et aux PCSS : « *Engineering, Industrial* ». Ce résultat est cohérent puisque les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon appartiennent à la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*. En vérifiant l'index de citation relié aux WC associés aux revues savantes dans lesquelles publient les PCSS, nous déterminons que les PCSS contribuent au développement des connaissances dans une seule discipline du génie : *Engineering, Industrial*. De même, nous déterminons que les PCSS contribuent au développement des connaissances dans une seule discipline des sciences sociales : *Transportation*. Les activités de recherche interdisciplinaire sont donc distinctes pour les PCG et les PCSS.

4.6.2 Méthode d'analyse des références

L'analyse des références permet de déterminer de quelles disciplines proviennent les connaissances intégrées par les professeurs-chercheurs dans leurs activités de recherche. Selon cette méthode, les activités de recherche sont considérées comme étant interdisciplinaires si les professeurs-chercheurs de génie (PCG) citent des revues savantes de sciences sociales indexées dans le SSCI ou encore si les professeurs-chercheurs de sciences sociales (PCSS) citent des revues savantes de science naturelle indexées dans le SCIE. Dans le Tableau 4.16, nous comparons les résultats obtenus à l'aide de l'analyse des références pour les activités de recherche des PCG et des PCSS. Rappelons que nous ne parvenons à identifier les revues savantes de laquelle proviennent seulement 10 148 des 18 213 références (56 %).

Tableau 4.16 : Comparaison de l'interdisciplinarité des références des PCG et des PCSS.

| | PCG | PCSS |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Nombre de références | 14 579 | 3 634 |
| SCIE | 6 391 | 526 |
| SSCI | 1 475 | 1 567 |
| AHCI & ESCI | 135 | 54 |
| Interdisciplinarité | 10 % | 14 % |

Au Tableau 4.16, nous constatons que les PCG citent majoritairement des revues savantes de sciences naturelles indexées dans le SCIE. Ces activités de recherche ne sont donc pas considérées comme étant interdisciplinaires. Nous obtenons le même constat pour les PCSS qui citent majoritairement des revues savantes des sciences sociales indexées dans le SSCI. Toutefois, sur les 3 634 références que l'on retrouve dans les publications scientifiques des PCSS, 526 proviennent de revues savantes indexées dans le SCIE. De même, 1 475 des 14 579 références que l'on retrouve dans les publications scientifiques des PCG se proviennent de revues savantes indexées dans le SSCI. Respectivement 10 % et 14 % des références des PCG et des PCSS sont interdisciplinaires. Considérant que nous ne parvenons à déterminer la revue savante que de 56 % des références, il est possible que les résultats soient sous-évalués. Cette remarque fait l'objet d'une réflexion dans la section 5.3.2. Somme toute, 2001 des 18 213 références de notre échantillon (11 %) sont interdisciplinaires selon les postulats de l'analyse des références. De plus, l'analyse des références montre que les PCSS sont davantage impliqués que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire.

Dans le Tableau 4.17, nous regroupons les données du Tableau 4.7 et du Tableau 4.8 afin de comparer les revues savantes citées les plus souvent par les PCG et les PCSS.

Tableau 4.17 : Comparaison des revues savantes les plus citées par les PCG et les PCSS.

| PCG | PCSS |
|--|--------------------------------------|
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | RESEARCH POLICY |
| EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH | SCIENTOMETRICS |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH | AMERICAN ECONOMIC REVIEW |
| ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | MANAGEMENT SCIENCE |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS | JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION |
| JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION | JOURNAL OF NANOPARTICLE RESEARCH |
| SAFETY SCIENCE | RAND JOURNAL OF ECONOMICS |
| JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING | TECHNOVATION |

Dans le Tableau 4.17, nous constatons qu'une seule revue savante intitulée : « JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION » se retrouve à la fois parmi les revues les plus citées par les PCG et les PCSS. Dans le Tableau 4.18 présenté à la page suivante, nous regroupons les données du Tableau 4.9 et du Tableau 4.10 pour comparer les WC associés aux revues savantes les plus citées par les PCG et les PCSS.

Tableau 4.18 : Comparaison des WC associés aux revues savantes de publication.

| PCG | PCSS |
|---|---|
| Operations Research & Management Science | Management |
| Environmental Sciences | Economics |
| Engineering, Environmental | Business |
| Engineering, Industrial | Information Science & Library Science |
| Engineering, Manufacturing | Environmental Studies |
| Management | Environmental Sciences |
| Computer Science, Artificial Intelligence | Public, Environmental & Occupational Health |
| Computer Science, Inter. Application | Engineering, Environmental |

Dans le Tableau 4.18, nous constatons que deux domaines de recherche sont communs aux PCG et aux PCSS : *Environmental Sciences* et *Engineering, Environmental*. En associant les WC aux différents index de citation, nous pouvons déterminer que les PCSS intègrent des connaissances d'une seule discipline de l'ingénierie dans leurs travaux de recherche : *Engineering, Environmental*. De même, nous déterminons que les PCG intègrent des connaissances provenant d'une seule discipline des sciences sociales : *Management*.

4.6.3 Méthode d'analyse des codirections

L'analyse des codirections permet de déterminer si les PCG et les PCSS collaborent dans le cadre d'activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche. Selon cette méthode, les activités de recherche sont considérées comme étant interdisciplinaires si au moins un PCG collabore avec au moins un PCSS pour encadrer la réalisation d'un mémoire de maîtrise ou d'une thèse de doctorat. Nous constatons que sur le 319 des travaux de maîtrise et de doctorat, 22 reposent sur une codirection interdisciplinaire impliquant interdisciplinaire entre un PCG et un PCSS. Nous observons une augmentation de la proportion des travaux interdisciplinaires sur la période d'étude.

4.6.4 Comparaison des méthodes bibliométriques

Dans le Tableau 4.19, nous comparons les résultats obtenus à l'aide des trois méthodes bibliométriques utilisées. Plus particulièrement, nous comparons la proportion des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances ainsi que la proportion des activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche que nous considérons comme étant interdisciplinaires sur la période d'étude.

Tableau 4.19 : Comparaison des résultats interdisciplinaires pour les trois méthodes.

| | Formation | Production | |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Méthodes | Analyse des codirections | Analyse des revues savantes | Analyse des références |
| Échantillon | 319 | 479 | 18 213 |
| Nombre int. | 22 | 62 | 2 001 |
| Proportion | 7 % | 13 % | 11 % |
| Tendance de 2009 et 2019 | ↑ | ↓ | ↓ |

À partir des résultats présentés dans le Tableau 4.19, nous pouvons conclure qu'une partie des activités de recherche menées par les professeurs-chercheurs de la section de génie industriel de *Polytechnique Montréal* sont interdisciplinaires. Au niveau des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances, l'analyse des revues savantes montre que 13 % des publications scientifiques contribuent au rapprochement du génie et des sciences sociales. De même, l'analyse des références montre que 11 % des citations assurent le maillage entre les connaissances du génie et des sciences sociales. L'analyse des revues savantes et l'analyse des références montrent que les PCSS sont davantage impliqués que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire. Au niveau des activités de recherche reliées à la formation des étudiants-chercheurs, l'analyse des codirections montre que les PCG collaborent avec les PCSS pour assurer la formation de relève en recherche en ingénierie. En effet, l'analyse des codirections montre que 7 % des travaux de maîtrise et de doctorat sont interdisciplinaires. Dans le Chapitre 5 qui débute à la page suivante, nous discutons de la portée des résultats obtenus.

CHAPITRE 5 DISCUSSION

Ce cinquième et avant-dernier chapitre de notre étude se divise en quatre sections. Dans la section 5.1, nous posons un regard critique sur les résultats présentés dans le chapitre précédent. Dans la section 5.2, nous distinguons les contributions empiriques, théoriques et méthodologiques de ce mémoire. Dans la section 5.3, nous abordons les limites de notre étude en discutant notamment des implications reliées à l'utilisation des métadonnées de la BDB *WoS*. Enfin, le Chapitre 5 se termine par la présentation d'avenues de recherche futures dans la section 5.4.

5.1 Analyse des résultats

Dans cette première section, nous discutons des résultats obtenus à l'aide des trois méthodes bibliométriques : l'analyse des revues savantes, de l'analyse des références, et de l'analyse des codirections. Nous prenons soin de comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres études similaires recensées dans la littérature. Enfin, nous posons également un regard critique sur l'adéquation entre les méthodes utilisées et les objectifs poursuivis. Rappelons que notre objectif principal consistait à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales.

5.1.1 Méthode d'analyse des revues savantes

Dans notre étude, nous déterminons que 11 % des publications des PCG, et 20 % des publications des PCSS sont interdisciplinaires. L'analyse des revues savantes montre que les PCSS sont davantage impliqués que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire. En combinant les deux catégories de professeurs-chercheurs, nous déterminons que 62 des 479 publications scientifiques de notre échantillon (13 %) sont interdisciplinaires. En d'autres termes, 13 % des activités de recherche menées par les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon permettent le partage de connaissances entre le génie et les sciences sociales sur la période d'étude.

Toutefois, nous devons tenir compte du fait que la méthodologie que nous avons utilisée pour la méthode d'analyse des revues savantes repose sur un comptage unitaire des publications scientifiques. En ce sens, dès que le nom d'un professeur-chercheur de notre échantillon figure parmi la liste des auteurs d'une publication dans *WoS*, nous lui attribuons une publication complète.

Or, les données de la Figure 4.4. montrent que seulement 9 des 479 publications scientifiques (2 %) reposent sur le travail d'un seul auteur.

Nous aurions pu tenter de caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche de l'ensemble des chercheurs dont le nom figure dans la liste des auteurs des publications. Toutefois, cela aurait nécessité un important travail de désambiguïsation qui dépasse largement le cadre de cette maîtrise. De ce fait, l'analyse de nos résultats doit tenir compte que la méthode d'analyse des revues savantes permet uniquement de caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon, et non pas de l'ensemble des auteurs dont le nom figure parmi la liste des autres des 479 publications recensées. Ce choix s'est imposé afin de pouvoir comparer les méthodes entre-elles.

Tel que nous l'avions mentionné dans la sous-section 2.4.3.1.2, Rinia et al. (2002) avait mesuré l'interdisciplinarité des programmes de recherche en sciences physiques des Pays-Bas à l'aide l'analyse des revues savantes. L'échantillon utilisé par Rinia et al. (2002) est d'un ordre de grandeur différent du nôtre, puisqu'il comprend plus de 15 000 publications scientifiques. La durée de la période d'étude est identique; l'étude de Rinia et al. (2002) s'étend sur une période de 10 ans entre 1985 et 1994. Les résultats montrent que 33 % des publications scientifiques découlant des programmes de recherche en sciences physiques paraissent dans des revues savantes dans un domaine de recherche (WC) différent selon le système de classification de la BDB *WoS*. Le degré d'interdisciplinarité des 185 programmes est donc évalué à 33 % (Rinia et al., 2002). Dans cette étude, soulignons que l'analyse des revues savantes est utilisée pour comparer l'interdisciplinarité des programmes entre eux; une avenue de recherche discutée dans la section 5.4.

Comme le mentionnent Rafols et Meyer (2008), l'analyse des revues savantes repose sur le postulat selon lequel « un article scientifique hérite de la discipline de la revue savante qui le publie » (Rafols & Meyer, 2008, p. 23). Dans notre étude, ce postulat est difficile à opérationnaliser. Le système de classification par domaines de recherche de *WoS* accorde plus d'un WC à 74 % des publications scientifiques de notre échantillon. Il devient difficile, pour ces publications, de déterminer avec précision la discipline. Pour illustrer le propos, Larrivière et Sugimoto donnent l'exemple « des revues phares *Science* et *Nature* [...] classées parmi les revues multidisciplinaires dans *WoS* » (Larivière & Sugimoto, 2018, p. 63). Le fait de classer ces revues comme étant « multidisciplinaires » ne donne pas d'information sur la discipline qui y est reliée.

5.1.2 Méthode d'analyse des références

Les 479 publications scientifiques de notre échantillon comprennent 18 213 références. Nous parvenons à déterminer la revue savante, et par extension, la discipline, de 10 148 d'entre-elles. Dans notre étude, nous déterminons que 10 % des références que l'on retrouve dans les publications PCG, et 14 % des références des PCSS sont interdisciplinaires. L'analyse des références montre que les PCSS sont davantage impliqués que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire. En combinant les deux catégories, 2 001 des 18 213 références (11 %) contenues dans les publications scientifiques des professeurs-chercheurs de notre échantillon sont interdisciplinaires. En d'autres termes, les professeurs-chercheurs de notre échantillon mènent des activités de recherche intégrant à la fois des connaissances en génie et de différentes disciplines des sciences sociales.

Parmi les études similaires recensées dans la sous-section 2.4.3.1.1, mentionnons les résultats de l'étude de Porter et Chubin (1985) qui mesurent l'interdisciplinarité des revues savantes de trois disciplines différentes : la démographie, la recherche opérationnelle, et la toxicologie. À l'aide de l'analyse des références, les auteurs déterminent que 46% des références contenues dans les revues savantes associées à la démographie proviennent de revues savantes n'appartenant pas à cette catégorie, 44% pour les références des revues savantes de recherche opérationnelle, et 84% pour les références dans les revues savantes de toxicologie.

Porter et Chubin (1985), Larivière et Sugimoto (2018) et Wang et Schneider (2020) s'entendent sur le fait que l'analyse des références repose sur le postulat selon lequel les références représentent les connaissances intégrées par les professeurs-chercheurs dans leurs activités de recherche. Wallace et Van Fleet (2012), citant Smith (1981), ajoutaient également 3 postulats supplémentaires, soit que la citation implique l'utilisation, que la publication citée et le document citant sont reliés, et que toutes les citations ont la même valeur. Toutefois, Larivière et Sugimoto (2018) nuancent l'applicabilité de ces postulats en pratique. S'il est vrai que la citation « peut servir, entre autres, à mettre un travail de recherche en contexte, à comparer des résultats, à justifier l'emploi d'une méthode » ou encore « à étayer un argument », la citation peut également, au contraire, le réfuter (Larivière & Sugimoto, 2018, pp. 83-84). Ainsi, « toute mesure qui inclut les citations/références doit traiter le problème de la raison pour laquelle on cite, y compris les préférences pour certaines revues et/ou langues » (Rousseau et al., 2019, p. 75).

À cela, il faut également ajouter le postulat selon lequel la discipline de la référence correspond à celle de la revue savante qui publie l'article cité. Comme pour l'analyse des revues savantes, ce postulat est difficile à opérationnaliser durant notre analyse. Dans la section 4.3.2 du Chapitre 4, nous constatons que 5 921 références (58 %) sont associées à plus d'un WC. Certaines références sont associées jusqu'à six domaines de recherche différents. Ainsi, il devient difficile de déterminer avec précision la discipline de chacune des références.

5.1.3 Méthode d'analyse des codirections

La méthode d'analyse des codirections permet de mettre en évidence le fait que 22 des 319 travaux de maîtrise et de doctorat recensés dans la BDI *PolyPublie* reposent sur une collaboration interdisciplinaire entre un PCG et un PCSS. C'est donc dire que 7 % des activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche contribuent au rapprochement des connaissances du génie et des sciences sociales. Le fait d'analyser les codirections plutôt que les copublications pour mesurer l'interdisciplinarité est l'une des principales contributions de notre étude. Nous y reviendrons dans la section 5.2. Dans la présente section, nous comparons nos résultats avec des études utilisant l'analyse des copublications.

Dans ses travaux, Qiu (1992) mesure l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées aux sciences de l'information. Pour faire cela, Qiu (1992) utilise un échantillon de 11 865 articles publiés dans 24 revues savantes indexées le SSCI de la BDB *WoS*. Sur les 11 865 articles, moins de 3 % impliquent la collaboration entre un auteur des sciences de l'information, et un auteur d'une autre discipline. De son côté, tel que nous l'avions mentionné dans la sous-section 2.4.3.1.5, Schummer (2004), avait mesuré l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées au développement des nanotechnologies à l'aide de l'analyse des copublications. Entre 2002 et 2003, la proportion d'articles interdisciplinaires comprenant deux auteurs s'élève à 36,5 % et celle comprenant trois auteurs à 5.7% (dans l'article, l'indicateur de proportion est noté I^2 s'il comprend deux auteurs, I^3 s'il comprend 3 auteurs) (Schummer, 2004).

L'analyse des codirections repose sur des postulats semblables à l'analyse des copublications. Cette dernière repose sur le postulat selon lequel « la contribution des auteurs est reliée aux connaissances de sa discipline d'appartenance » (Schummer, 2004, p. 438). De manière analogue, nous considérons que la contribution des professeurs-chercheurs est reliée à la discipline de son diplôme de doctorat dans l'analyse des codirections. Cette affirmation repose sur un second

postulat : celui selon lequel les professeurs-chercheurs poursuivent des activités de recherche dans la même discipline que celle de leur diplôme de doctorat. Ce postulat s'avère discutable pour les professeurs-chercheurs de notre échantillon. En effet, nous constatons que certains professeurs-chercheurs possédant un diplôme en ingénierie poursuivent des activités de recherche dans des disciplines des sciences sociales, notamment en sciences de la gestion. Dans le Tableau 5.1 nous résumons la comparaison de nos résultats avec ceux des études mentionnées précédemment.

Tableau 5.1 : Comparaison de nos résultats avec des études similaires.

| Méthodes | Notre étude | Autres études |
|-----------------------------|-------------|---|
| Analyse des revues savantes | 13 % | 33 % (Rinia et al., 2002). |
| Analyse des références | 11 % | 44 % Porter et Chubin (1985) 46 % Porter et Chubin (1985) 84% Porter et Chubin (1985) |
| Analyse des codirections | 7 % | 3 % Qiu (1992) 36,5 % (Schummer, 2004) |

Les résultats présentés dans le Tableau 5.1 montrent que les pourcentages obtenus varient beaucoup d'une étude à l'autre. Les résultats que nous obtenons avec l'analyse des revues savantes et de l'analyse des références sont inférieurs à ceux d'études similaires, mais dont l'échantillon de données était beaucoup plus important. L'une des avenues de recherche future discutée dans la section 5.4.2 consiste d'ailleurs à augmenter la taille de notre échantillon.

5.1.4 Le génie et les sciences sociales

L'objectif principal de notre étude consistait à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales. Cet objectif est atteint. En effet, en portant attention aux domaines de recherche (WC) associés aux revues savantes et aux références de notre échantillon, nous déterminons les disciplines des activités de recherche dans lesquelles sont impliqués les professeurs-chercheurs de notre échantillon. Les activités de recherche interdisciplinaire impliquent deux disciplines de l'ingénierie: le génie industriel (*Engineering, Industrial*) et le génie environnemental (*Engineering, Environmental*) ainsi que deux disciplines des sciences sociales : la gestion (*Management*) et le transport (*Transportation*).

Parmi les 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal* qui composent notre échantillon, nous déterminons au Tableau 4.1 que 7 professeurs-chercheurs possèdent un doctorat dans une discipline des sciences sociales (PCSS) et 18 dans une discipline du génie ou connexe (PCG). L'analyse des résultats permet de mettre en évidence que les PCSS s'engagent davantage que les PCG dans des activités de recherche interdisciplinaire. En effet, en combinant les données du Tableau 4.14 et du Tableau 4.16 du Chapitre 4, nous constatons que 20 % des publications scientifiques des PCSS sont interdisciplinaires comparativement à 11 % pour les PCG. De même, 14 % des références contenues dans les publications des PCSS intègrent des connaissances du génie alors que 10 % des références des PCG intègrent des connaissances des sciences sociales. L'un des facteurs qui peuvent expliquer ces résultats est le fait que les professeurs-chercheurs de sciences sociales de *Polytechnique Montréal* sont recrutés par l'institution, car leur expertise est complémentaire à des enjeux relatifs à l'ingénierie. Ainsi, les PCSS sont placés dans un environnement de travail propice aux collaborations interdisciplinaires. Soulignons toutefois que les résultats montrent que les deux catégories de professeurs-chercheurs s'impliquent dans des activités de recherche interdisciplinaire.

En somme, l'objectif de notre étude est atteint. Nous avons caractérisé le concept d'interdisciplinarité dans le milieu de la recherche universitaire en faisant ressortir le besoin de mesurer non seulement l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances, mais aussi reliées à la formation de la relève en recherche. Pour faire cela, nous avons utilisé trois méthodes bibliométriques permettant de quantifier le pourcentage de publications, des références et de travaux de formation qui sont interdisciplinaires. De plus, nous parvenons à identifier les disciplines des sciences sociales et de l'ingénierie que l'on retrouve dans les activités de recherche interdisciplinaires menées par les professeurs-chercheurs de notre échantillon.

5.2 Contributions de l'étude

Dans la section 5.2, nous discutons des trois types de contributions de notre étude. Nous distinguons notamment une contribution empirique reliée au fait de mesurer l'interdisciplinarité entre le génie et les sciences sociales. Nous distinguons également une contribution théorique reliée à la caractérisation de l'interdisciplinarité dans le contexte des activités de recherche menées en milieu universitaire. Enfin, nous mettons en évidence une contribution méthodologique reliée à

l'utilisation d'une base de données institutionnelles; plus particulièrement à l'utilisation des métadonnées relatives aux mémoires de maîtrise et aux thèses de doctorat pour mesurer l'interdisciplinarité.

5.2.1 Contributions empiriques

La première contribution de notre étude est au niveau empirique. À notre connaissance, aucune autre étude bibliométrique ne porte sur le partage de connaissances entre le génie et les sciences sociales au niveau des activités de recherche. Or, l'importance des connaissances tirées des sciences sociales en ingénierie est de plus en plus reconnue. Dans le Chapitre 1, nous avons fait mention que les programmes canadiens de premier cycle en ingénierie ont été revus, en 2014, afin d'assurer, chez la relève en ingénierie, le développement de compétences tirées des sciences sociales. De plus, dans un récent rapport, l'*Ordre des Ingénieurs du Québec* (OIQ) insiste sur l'importance des compétences « non-techniques » tirées des sciences sociales dans le cadre de l'exercice de la profession. L'OIQ affirme notamment que la gestion du changement, l'intelligence émotionnelle, la créativité et le travail en équipe sont des « compétences d'avenir » en ingénierie (OIQ, 2021, p. 91). Ainsi, notre étude permet d'en apprendre davantage sur la place qu'occupent les connaissances tirées des sciences sociales dans les activités de recherche en ingénierie.

Pour mieux comprendre le lien entre le génie et les sciences sociales, nous nous intéressons aux activités de recherche en ingénierie menées au sein de « l'un des plus importants établissements d'enseignement et de recherche en génie au Canada » selon le site Web de *Polytechnique Montréal* (2022b). Nous définissons un échantillon composé de 25 professeurs-chercheurs appartenant à la section de génie industriel de l'établissement. Le génie industriel présente une particularité qui s'est révélée être un avantage important pour notre étude. Dans la section génie industriel, nous retrouvons à la fois des professeurs-chercheurs possédant une formation en ingénierie et des professeurs-chercheurs possédant une formation en sciences sociales. Plutôt que de devoir comparer les activités de recherche de deux facultés différentes (facultés de génie et faculté de sciences sociales), nous pouvions utiliser un seul échantillon ce qui a grandement facilité la collecte et le traitement des données.

Notre étude permet de rapprocher le génie et les sciences, deux disciplines qui sont parfois placées aux antipodes : la première permettant de développer des compétences « dures » (en anglais *hard skills*) alors que la seconde permettant de développer des compétences « molles » (en anglais *soft*

skills). Ce rapprochement entre génie et sciences sociales s'inscrit dans l'une des recommandations des *Fonds de Recherche du Québec* (FRQ) qui cherchent à « faire le point sur l'interdisciplinarité dans les programmes de formation universitaire » (FRQ, 2020, p. 80). Cette recommandation rejoint l'objectif de « dresser un état des lieux sur l'interdisciplinarité dans les programmes de formation universitaire et explorer la possibilité d'associer plus étroitement des disciplines distinctes dans l'offre de programmes et de cours pouvant bénéficier d'une telle association » (FRQ, 2020, p. 94). Le génie et les sciences sociales bénéficient d'une telle association à notre avis.

5.2.2 Contributions théoriques

La seconde contribution de notre étude est au niveau théorique. Dans la revue de la littérature présentée au Chapitre 2, nous faisons ressortir le fait que la majorité des méthodes bibliométriques permettant de mesurer l'interdisciplinarité utilisent les métadonnées des publications scientifiques que l'on retrouve dans les BDB. Des auteurs comme Rousseau et al. (2019), et Wagner et al. (2011) insistent sur le fait que l'utilisation de ces méthodes ne permet que d'obtenir une mesure partielle de l'interdisciplinarité des activités de recherche. En effet, ces méthodes ne mesurent l'interdisciplinarité que des activités de recherche qui comprennent la publication d'un article dans une revue savante indexée dans une BDB. C'est pourquoi, dans la revue de la littérature, nous prenons soin de contextualiser l'interdisciplinarité dans le milieu de la recherche universitaire.

Dans la section 2.1.6 du Chapitre 2, nous mettons en évidence le fait que les activités de recherche menées dans les universités comprennent non seulement la production de nouvelles connaissances, mais aussi la formation de la relève en recherche. Si l'extrait de la première activité peut prendre la forme d'une publication scientifique, l'extrait du second se compose des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat qui ne s'y prêtent pas nécessairement. Ainsi, pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche menées en milieu universitaire, nous utilisons une méthode qui tient compte des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat. À notre connaissance, les études bibliométriques ont porté, jusqu'à présent, sur la mesure de l'interdisciplinarité des activités de recherche dans les universités, qui ne tiennent pas compte de ces travaux.

5.2.3 Contributions méthodologiques

La troisième contribution de notre étude est au niveau méthodologie. Pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche, nous utilisons une méthode originale inspirée de l'analyse des copublications: l'analyse des codirections. Plus précisément, nous proposons d'analyser la composition disciplinaire des équipes d'encadrement des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat réalisés en codirection. Pour faire cela, nous utilisons les données disponibles dans la base de données institutionnelles de *Polytechnique Montréal*. À notre connaissance, aucune étude bibliométrique n'utilise les métadonnées relatives aux mémoires de maîtrise et aux thèses de doctorat pour mesurer l'interdisciplinarité.

Pour opérationnaliser cette méthode, nous utilisons un échantillon de petite taille composé de 25 professeurs-chercheurs, et d'un peu moins de 800 publications et travaux. Le fait d'utiliser un échantillon de petite taille nous permet d'effectuer le traitement des données manuellement. Nous sommes ainsi en mesure de jeter un regard critique sur certains éléments. Par exemple, dans le système de classification par domaines de recherche proposé par la BDB *WoS*, nous constatons que certaines disciplines, comme l'ergonomie, sont classifiées dans les disciplines des sciences sociales alors que nous nous attendions à ce qu'elle fasse partie des disciplines des sciences naturelles. En effet, à *Polytechnique Montréal*, l'ergonomie étudie les interactions humain-ordinateur ou encore sur la conception des espaces de travail. Une réflexion semblable peut s'appliquer sur le fait que le domaine de recherche (WC) *Transportation* soit classifié dans l'index de citation des sciences sociales plutôt que sciences naturelles.

La classification de certaines revues savantes soulève également des interrogations. Par exemple, la revue intitulée *Management Science* est indexée en sciences sociales. Cette revue fait partie des revues savantes les plus citées par les PCSS selon les données du Tableau 4.7. Or, en consultant les articles publiés dans cette revue, nous constatons qu'elle contient plusieurs articles exploitant des méthodes et des outils tirés de la recherche opérationnelle, une discipline qui s'ancre dans les sciences naturelles. Ces remarques au sujet du système de classification disciplinaire de *WoS* font l'objet d'une réflexion plus approfondie dans la prochaine section qui porte sur les limites de l'étude.

5.3 Limites de l'étude

Notre étude comporte des limites dont nous devons tenir compte. D'une part, la qualité des méthodes de mesure actuellement utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité fait l'objet de certaines critiques. Ces critiques sont notamment reliées à la couverture des BDB ainsi qu'aux systèmes de classification disciplinaire qui divise les connaissances scientifiques. D'autre part, les choix que nous avons faits au niveau de la méthodologique ont un impact sur la portée des résultats. Dans l'ensemble, la section 5.3, permet de discuter des limites de notre étude de leur impact sur nos résultats.

5.3.1 Deux méthodes, deux résultats

D'emblée, nous remarquons que les deux méthodes bibliométriques utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances brossent un portrait différent de la situation. L'analyse des revues savantes fait état du fait que 13 % des activités de recherche sont interdisciplinaires tandis que l'analyse des références fait état du fait que 11 % des activités de recherche le sont. Un résultat qui nous apparaît surprenant lorsque l'on considère que les deux méthodes utilisent le même échantillon comprenant 479 publications.

Notre constat se retrouve également dans l'étude menée par Wang et Schneider (2020). Ces auteurs comparent l'interdisciplinarité d'un échantillon de publications à l'aide de différentes méthodes bibliométriques. Ils obtiennent des résultats différents avec chaque méthode. Ceci les amène à remettre en question les méthodes actuellement utilisées pour mesurer l'interdisciplinarité en mentionnant que « nous n'avons pas besoin de plus de la même chose [même méthode de mesure], mais plutôt de quelque chose de différent afin de pouvoir mesurer la construction multidimensionnelle et complexe de l'interdisciplinarité » (Wang & Schneider, 2020, p. 239).

D'autres auteurs comme Wagner et al. (2011) et Zwanenburg et al. (2022) tentent, dans leurs travaux, de déterminer quelle méthode de mesure est la plus adaptée pour mesurer l'interdisciplinarité. Dans sa revue de la littérature sur la recherche interdisciplinaire (en anglais *interdisciplinary scientific research*) Wagner et al. (2011) défendent l'idée selon laquelle un bon indicateur d'interdisciplinarité doit permettre de tenir compte à la fois de l'intégration comme un processus intellectuel individuel et collectif. Dès lors, au terme de sa revue de la littérature, Wagner et al. (2011) concluent qu'aucune méthode ne permet actuellement de le faire.

Le constat de Wagner et al. (2011) est semblable à celui de l'équipe de Zwanenburg et al. (2022) dix ans plus tard. Dans leur étude Zwanenburg et al. (2022) proposent d'élaborer différents critères d'évaluation pour déterminer la qualité des méthodes ayant pour but de mesurer l'interdisciplinarité. Parmi les critères, mentionnons : **1)** le critère selon lequel la méthode peut être utilisée à différents niveaux d'agrégation (article, chercheur, revue), et **2)** le critère selon lequel la méthode repose sur un système de classification disciplinaire reconnu. Zwanenburg et al. (2022) concluent qu'aucune méthode ne permet de satisfaire l'ensemble de ces critères actuellement.

De plus, Abramo et al. (2018) posent un regard critique sur la capacité des méthodes bibliométriques à distinguer les types de collaboration disciplinaires et vont même jusqu'à avancer que ces méthodes ne permettent pas de distinguer la recherche interdisciplinaire de la recherche multidisciplinaire. Selon eux, « les méthodes bibliométriques peuvent démontrer une certaine forme d'intégration des connaissances, mais elles ne révèlent en aucun cas la modalité et le niveau d'intégration disciplinaire » Abramo et al. (2018, pp. 1183-1184).

5.3.2 Limites des bases de données bibliographiques

Deux des méthodes bibliométriques que nous utilisons reposent sur les métadonnées comprises dans la BDB *WoS*. L'utilisation des données comprises dans cette BDB comporte des limites ayant un impact sur nos résultats. Nous en discutons dans les sous-sections 5.3.2.1 et 5.3.2.2.

5.3.2.1 La couverture de *WoS*

Les études comparatives sur la couverture des différentes BDB réalisées par Mongeon et Paul-Hus (2016), Singh et al. (2021), Visser et al. (2021) et Waltman et Larivière (2020) se rejoignent sur le fait que l'étendue de la couverture des BDB a une influence non négligeable sur la qualité des analyses bibliométriques. En ce sens, malgré l'imposant volume de publications scientifiques que l'on retrouve dans les trois index de citation qui composent la collection centrale de la BDB *WoS*, la couverture n'est pas exhaustive ce qui fait en sorte que l'ensemble des publications scientifiques de notre échantillon ne s'y retrouvent pas. D'ailleurs, dans la section 4.3.1 nous ne parvenons pas à identifier le titre de la revue savante dans lesquelles paraissent 341 des 489 publications scientifiques (74 %) des professeurs-chercheurs de notre échantillon. De même, dans la section 4.4, nous ne sommes en mesure que d'identifier la revue savante d'origine de 10 148 des 18 213

références (56 %) de notre échantillon. Dans les deux cas, il est donc possible que l'évaluation de l'interdisciplinarité des activités de recherche soit actuellement sous-évaluée ou encore surévaluée.

5.3.2.2 Le système de classification disciplinaire

Les index de citation de la collection centrale de la BDB *WoS* n'ont pas été conçus pour mener des analyses bibliométriques ayant pour objectif de mesurer l'interdisciplinarité (Birkle et al., 2020). Pour illustrer ce point, Birkle et al. (2020) donnent l'exemple du système de classification disciplinaire basé sur les domaines de recherche (WC) proposés par la BDB *WoS*. Ce système de classification permet de classer les différentes revues savantes. Pour faciliter la recherche d'information par domaines de recherche, la BDB *WoS* assigne plusieurs WC à chaque revue. Or, « pour une analyse quantitative, il serait cependant nécessaire d'ajuster les comptages pour éviter la duplication des données » selon Birkle et al. (2020, p. 368).

Bordons et al. (2001) avancent que l'une des limites des méthodes bibliométriques est reliée au fait qu'elles reposent sur une délimitation arbitraire des connaissances en disciplines scientifiques. De leur côté, Larivière et Gingras (2014) font remarquer que les systèmes de classification disciplinaire utilisés par les BDB sont généralement fixes dans le temps, ce qui n'est pas le cas des activités de recherche qui modifient sans cesse les frontières disciplinaires dès que de nouvelles connaissances sont créées. À ce propos, Schummer mentionne qu'il est probable que « pour des raisons pratiques » (Schummer, 2004, p. 437), des disciplines soient conservées ou retirées du système disciplinaire des BDB ce qui fait en sorte que ces systèmes ne sont pas nécessairement représentatifs des disciplines de recherche contemporaine. Ces remarques amènent Wang et Schneider (2020) à mentionner « qu'aucun système de classification ne peut être considéré comme la « vérité », car différents systèmes peuvent servir des objectifs différents et, en ce sens, le choix d'un système doit être considéré par rapport à l'objectif d'une étude » (Wang & Schneider, 2020, p. 241).

Dans la section 2.2.2 du Chapitre 2, nous faisons mention du fait que plusieurs systèmes de classification disciplinaire avec un nombre variable de disciplines scientifiques coexistent actuellement. La présence d'un nombre différent de disciplines est l'une des raisons pour quoi Wang et Schneider (2020) obtiennent des résultats différents malgré l'utilisation d'une même méthode sur un même échantillon. Les auteurs donnent l'exemple du système de classification de l'OCDE qui compte une quarantaine de disciplines comparativement au système de classification

par domaines de recherche de *WoS* qui en compte plus de 250 (Wang & Schneider, 2020). Ce constat est également appuyé par les résultats de l'étude comparative des méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité réalisée par Adams et al. (2016). Ces derniers font ressortir une corrélation entre le nombre élevé de disciplines que l'on retrouve dans un système de classification disciplinaire et la probabilité d'observer des échanges de connaissances interdisciplinaires. Ainsi, plus il y a des disciplines dans un système de classification, et plus il y a de chance que des connaissances soient partagées entre les disciplines (Adams et al., 2016).

5.3.3 Limites de la taille de l'échantillon

Dans la section 5.2, nous avons spécifié qu'utiliser un échantillon de petite taille permet de porter un regard critique sur les résultats obtenus à l'aide des différentes méthodes. Ainsi, nous contribuons à l'identification de certains points faibles en lien avec les méthodes de mesure utilisées. Dès lors, l'utilisation d'un échantillon de petite taille limite la portée de nos résultats. Notre objectif initial consistait à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales. L'échantillon utilisé permet de caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche des 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon, mais ne permet pas de caractériser l'interdisciplinarité de l'ensemble des activités de recherche menées à *Polytechnique Montréal*.

5.4 Avenues de recherche futures

Dans la dernière section du Chapitre 5, nous présentons des avenues de recherche futures reliées avec les méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche, les caractéristiques de notre échantillon ainsi que de la méthode d'analyse des codirections. Ces avenues de recherche alignées avec les limites mises en évidence dans la section précédente.

5.4.1 Au niveau des méthodes

Dans le Tableau 2.3 de la section 2.4.1 de la revue de la littérature, nous recensons plusieurs définitions différentes du concept d'interdisciplinarité. Ces définitions se concentrent sur le nombre de disciplines impliquées, sur les connaissances partagées entre les disciplines ou encore sur la finalité des activités de recherche interdisciplinaire. L'absence de consensus sur l'interdisciplinarité au niveau conceptuel entraîne le développement d'une myriade de méthodes

de mesure permettant de l'examiner. Si ces méthodes permettent de mesurer différents aspects du concept, aucune ne fait consensus. C'est pourquoi certains auteurs insistent sur l'importance de développer de nouvelles méthodes de mesure. La méthode d'analyse des codirections et la valorisation des données comprises dans la BDI *PolyPublie* s'inscrivent dans ce besoin d'explorer de nouvelles façons de mesurer l'interdisciplinarité.

Parmi les autres méthodes que nous aurions pu utiliser pour mesurer l'interdisciplinarité, mentionnons l'analyse des réseaux que nous présentons sommairement dans la sous-section 2.4.3.1.3. Cette méthode permet d'obtenir une représentation visuelle en deux dimensions représentant à la fois les échanges de connaissances entre les disciplines ainsi que l'importance relative de chacune. À la Figure E.1 présentée dans l'Annexe E, nous proposons une représentation visuelle des relations de notre échantillon. L'utilisation de la méthode d'analyse des réseaux pour mesurer l'interdisciplinarité nécessitait une manipulation de données hors de notre champ de compétence. Toutefois, nous considérons que son utilisation fait partie des avenues de recherche future. Somme toute, nous devons collectivement poursuivre nos efforts afin de perfectionner les méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité.

5.4.2 Au niveau de l'échantillon

Notre étude permet de brosser un portrait partiel de l'interdisciplinarité entre le génie et les sciences sociales. L'une des avenues de recherche future consiste à étendre notre méthodologie à un échantillon plus vaste, et à une variété de disciplines. Par exemple, en s'inspirant de l'étude de Rinia et al. (2002) qui comparent l'interdisciplinarité de plusieurs programmes de recherche, nous croyons intéressant de comparer l'interdisciplinarité des activités de recherche des différents départements de *Polytechnique Montréal* ou encore de comparer l'interdisciplinarité des activités de recherche du département de génie industriel de *Polytechnique Montréal* avec le département de génie industriel de l'*Université Laval* ou encore de l'*École de technologie supérieure* (ÉTS). Ce genre d'étude permettrait d'identifier les pôles d'expertise des universités impliquant le génie et les sciences sociales.

Notre étude porte sur les activités de recherche menées en milieu universitaire. Dès lors, l'une de nos contributions consiste à mesurer l'interdisciplinarité à l'aide d'un type de publication scientifique différent: les mémoires de maîtrise et les thèses de doctorat. Considérant que le concept d'interdisciplinarité ne se limite pas au milieu académique, nous croyons que l'une des avenues de

recherche future consiste à diversifier les échantillons et de s'intéresser à d'autres milieux comme celui de la recherche menée dans l'industrie. L'analyse des brevets d'invention fait partie de ces données actuellement sous-exploitées du point de vue de l'interdisciplinarité. Considérant que le concept d'interdisciplinarité s'inscrit dans l'idée de rapprocher science et société, il pourrait être porteur de valider l'applicabilité des méthodes bibliométriques en regard d'autres types de publications scientifiques.

5.4.3 Au niveau de l'analyse des codirections

La méthode d'analyse des codirections que nous proposons d'utiliser pour mesurer l'interdisciplinarité peut être améliorée. Précédemment, nous soulevons le fait que les activités de recherche actuellement menées par certains professeurs-chercheurs s'inscrivent dans des disciplines différentes de celle dans laquelle ils ont obtenu leur diplôme de doctorat. Ainsi, plutôt que de définir l'appartenance disciplinaire des professeurs-chercheurs en fonction de la discipline de leur diplôme de doctorat, nous proposons d'utiliser des entrevues ou des questionnaires afin de déterminer l'appartenance disciplinaire des professeurs-chercheurs comme avenue de recherche future. De plus, considérant que les résultats obtenus à l'aide de l'analyse des codirections sont prometteurs et nous croyons que l'une des avenues de recherche future consiste à valider son applicabilité sur les BDI d'autres établissements de recherche. Notre étude permet également de proposer des améliorations à la BDI actuellement utilisée par *Polytechnique Montréal* afin de faciliter la réalisation d'études bibliométriques exploitant les données qu'elle contient.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans les dernières années, l'engouement entourant le concept d'interdisciplinarité entraîne une remise en question des frontières disciplinaires. En ingénierie, il devient nécessaire d'intégrer les connaissances de différentes disciplines des sciences sociales afin de proposer des pistes de solutions qui tiennent compte non seulement des enjeux techniques, mais aussi des enjeux socio-économiques. Depuis 2014, les programmes canadiens de premier cycle en ingénierie s'adaptent en intégrant graduellement des connaissances issues des sciences sociales dans la formation de la relève en ingénierie (BCAPG, 2019). Mais qu'en est-il des programmes de second et de troisième cycle ? Cette interrogation nous a amenés à répondre à la question de recherche suivante : l'interdisciplinarité entre génie et sciences sociales : quelle est-elle et comment la caractériser ?

Ainsi, l'objectif de notre étude consistait à caractériser l'interdisciplinarité des activités de recherche en ingénierie, en ciblant spécifiquement la relation avec les sciences sociales. Pour atteindre cet objectif, nous avons d'abord contextualisé le concept d'interdisciplinarité dans l'environnement des universités de recherche. Nous parvenons ainsi à mettre en évidence le fait que les activités de recherche en milieu universitaire reposent non seulement sur la production de nouvelles connaissances scientifiques, mais aussi sur la formation de la relève en recherche. Une contribution théorique de notre étude. Cette contextualisation nous a amenés à proposer notre propre définition de la recherche interdisciplinaire en milieu universitaire comme un mode de production de connaissances scientifiques sur une base individuelle ou collective qui repose sur l'intégration de connaissances issues de plusieurs disciplines scientifiques.

Notre revue de la littérature sur les différents types de méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité fait ressortir le fait que la majorité utilise les métadonnées relatives aux publications scientifiques disponibles dans les bases de données bibliographiques. À notre avis, ces méthodes ne permettent d'obtenir qu'une mesure partielle de l'interdisciplinarité des activités de recherche en milieu universitaire puisqu'elles ne tiennent pas compte des activités reliées à la formation de la relève en recherche. Ainsi, pour atteindre notre objectif, nous proposons d'utiliser trois méthodes bibliométriques différentes. L'analyse des revues savantes et l'analyse des références pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances. L'analyse des codirections, pour mesurer l'interdisciplinarité des activités de recherche reliées à la formation de la relève en recherche.

Dans notre étude, nous utilisons un échantillon comprenant 25 professeurs-chercheurs de la section génie industriel de *Polytechnique Montréal*. Cet échantillon se compose de 7 professeurs-chercheurs possédant un doctorat dans une discipline des sciences sociales (PCSS) ainsi que de 18 professeurs-chercheurs possédant un doctorat dans une discipline de l'ingénierie ou connexe (PCG). Sur une période de dix ans, entre 2009 et 2019, les 25 professeurs-chercheurs de notre échantillon contribuent à 479 publications scientifiques ainsi qu'à 319 travaux (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat). En somme, 62 des 479 publications scientifiques de notre échantillon (13 %) sont interdisciplinaires, 2001 des 18 213 références de notre échantillon (11 %) sont interdisciplinaires et 22 des 319 travaux de maîtrise et de doctorat (7 %) reposent sur une collaboration interdisciplinaire entre un PCG et un PCSS.

Les résultats de notre étude montrent que les activités de recherche reliées à la production de nouvelles connaissances ainsi qu'à la formation de la relève en recherche en ingénierie sont interdisciplinaires. De plus, nous parvenons à identifier que deux disciplines de l'ingénierie: le génie industriel (*Engineering, Industrial*) et le génie environnemental (*Engineering, Environmental*) ainsi que deux disciplines des sciences sociales : la gestion (*Management*) et les transports (*Transportation*) se retrouvent le plus souvent dans les travaux des PCSS et des PCG. Ces résultats représentent la principale contribution empirique de notre étude. Ils permettent de démontrer que les connaissances issues des sciences sociales sont mobilisées dans les activités de recherche en ingénierie. Les résultats que nous obtenons apparaissent prometteurs et suggèrent d'étendre la méthodologie à un échantillon plus vaste, et à une variété de disciplines.

Enfin, au niveau méthodologique, notre étude contribue à l'avancement des connaissances relatives aux méthodes permettant de mesurer l'interdisciplinarité. La méthode d'analyse des codirections que nous utilisons démontre le potentiel inexploité des bases de données institutionnelles comme sources de données pour mesurer l'interdisciplinarité. Dès lors, au terme de notre étude, nous constatons qu'il est nécessaire de poursuivre la recherche afin de développer une compréhension commune du concept d'interdisciplinarité et de développer des méthodes de mesure supplémentaires tenant compte de ses différentes facettes. En effet, il est à se demander si nous allons continuer d'observer une tendance à la hausse de l'interdisciplinarité dans le milieu de la recherche afin de répondre aux enjeux complexes de la société ?

RÉFÉRENCES

- Abramo, G., D'Angelo, C. A., & Di Costa, F. (2012). Identifying interdisciplinarity through the disciplinary classification of coauthors of scientific publications. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(11), 2206-2222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.22647>
- Abramo, G., D'Angelo, C. A., & Zhang, L. (2018). A comparison of two approaches for measuring interdisciplinary research output: The disciplinary diversity of authors vs the disciplinary diversity of the reference list. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1182-1193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.001>
- ACS. (2022). *Bourse Fernand-Seguin*. <https://www.acs.qc.ca/bourse-fernand-seguin.html>
- Adams, J., Loach, T., & Szomszor, M. (2016). Interdisciplinary Research - Methodologies for Identification and Assessment. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4270289>
- Apostel, L. o. (1972). *L'interdisciplinarité : problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités*. OCDE - Centre pour la recherche et l'innovation dans, l'enseignement. .
- Archambault, É., Gingras, Y., Vignola-Gagné, É., & Larivière, V. (2006). The place of serials in referencing practices: Comparing natural sciences and engineering with social sciences and humanities. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(8), 997-1004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.20349>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377-386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- BCAPG. (2019). *Normes et procédures d'agrément 2019*. Bureau canadien d'agrément des programmes de génie. <https://engineerscanada.ca/sites/default/files/accreditation/Accreditation-Criteria-Procedures-2019.pdf>
- Bellotti, E., Kronegger, L., & Guadalupi, L. (2016). The evolution of research collaboration within and across disciplines in Italian Academia. *Scientometrics*, 109(2), 783-811. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2068-1>
- Berger, G. (1972). Opinions et réalités. Dans L. o. Apostel (édit.), *L'interdisciplinarité : problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités* (p. 21-24). OCDE - Centre pour la recherche et l'innovation dans, l'enseignement. .
- Bernier, I. (2020). *La naissance des universités au Moyen Âge*. Futura Science. <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/moyen-age-naissance-universites-moyen-age-13120/>
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363-376. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018
- Bodelle, J., & Nicolaon, G. (1985). *Les universités américaines : dynamisme et traditions*. Technique & documentation Lavoisier.

- Boden, M. A. (1999). What is Interdisciplinarity ? Dans R. Cunningham (édit.), *Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe* (p. 13-24). Office for Official Publications of the European Communities.
- Bordons, M., Zulueta García, M. A., & Sanz-Menéndez, L. (2001). Interdisciplinarity as a multidimensional concept: its measure in three different research areas. *Documentos de trabajo (CSIC. Unidad de Políticas Comparadas)*, N° 4, 2001.
- Clarivate Analytics. (2021a). *The History of ISI and the work of Eugene Garfield*. <https://clarivate.com/webofsciencgroup/solutions/the-history-of-isi/>
- Clarivate Analytics. (2021b). *Web of Science Researcher Profiles*. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/researcher-profiles/>
- Clarivate Analytics. (2021c). *Web of Science: Science Citation Index Expanded*. <https://clarivate.com/webofsciencgroup/solutions/webofscience-scie/>
- Claverie, B. (2010). Pluri-, inter-, transdisciplinarité : ou le réel décomposé en réseaux de savoir. *Projectics / Proyética / Projectique*, 4(1), 5-27. <https://doi.org/10.3917/proj.004.0005>
- Courtial, J.-P., & Barré, R. m. (1990). *Introduction à la scientométrie de la bibliométrie à la veille technologique*. Anthropos.
- CRSNG. (2012). *Lignes directrices sur l'élaboration et l'évaluation des demandes de recherche interdisciplinaire*. https://www.nserc-crsng.gc.ca/NSERC-CRSNG/Politiques-Politiques/prepInterdiscip-prepInterdiscip_fra.asp
- Cunningham, R. (1999). *Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Dimensions. (2022). *Which research categories and classification schemes are available in Dimensions?* <https://dimensions.freshdesk.com/support/solutions/articles/23000018820-which-research-categories-and-classification-schemes-are-available-in-dimensions->
- Endrizzi, L. (2017). L'avenir de l'université est-il interdisciplinaire ? *Dossier de veille de l'IFE*, 120.
- Fabiani, J.-L. (2012). Du chaos des disciplines à la fin de l'ordre disciplinaire ? *Pratiques*, 153-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.4000/pratiques.1969>
- Favre, H. (1973). La recherche universitaire. Dans *L'université québécoise du proche avenir*.
- Fortier, I. (2002). Le défi humain de la multidisciplinarité et la quête de l'interdisciplinarité. *Bulletin d'information et d'inspiration pour managers*.
- Frodeman, R., Klein, J. T., & Mitcham, C. (2012). *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. Oxford University Press.
- FRQ. (2016). *Audace : un programme de recherche pour penser autrement* [Vidéo en ligne]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HD3oCVRDj4w&t=92s>
- FRQ. (2020). *L'université québécoise du futur. Tendances, enjeux, pistes d'action et recommandations*. Fonds de recherche du Québec

- Gagnon, R., Ross, A., & Ross, A. J. (1991). *Histoire de l'École polytechnique, 1873-1990 : la montée des ingénieurs francophones*. Boréal.
- Garfield, E. (1955). Citation indexes for science. A new dimension in documentation through association of ideas. *Science*, 122, 4. <http://garfield.library.upenn.edu/papers/science1955.pdf>
- Gibbons, M. (1994). *The new production of knowledge : the dynamics of science and research in contemporary societies*. SAGE Publications.
- Gingras, Y. (1991). L'institutionnalisation de la recherche en milieu universitaire et ses effets. *Sociologie et sociétés*, 23(1), 41-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/001297ar>
- Gingras, Y. (2014). *Les dérives de l'évaluation de la recherche . Du bon usage de la bibliométrie* (Raison d'Agir ° éd.).
- Giraldeau, L.-A. (29 mai 2019 2019). Doit-on revoir l'organisation disciplinaire de l'université ? Dans ACFAS (édit.), *87e Congrès de l'ACFAS - L'université du XXIe siècle. Enjeux, défis et perspectives*. https://www.acfas.ca/sites/default/files/documents_utiles/cahier-scientifique-acfas-no118_universite-du-xxi-siecle.pdf
- Godin, B., & Trépanier, M. (2000). Présentation : la science : nouvel environnement, nouvelles pratiques? *Sociologie et sociétés*, 32(1), 11-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/001302ar>
- Guay, J.-H. (2014). *Statistiques en sciences humaines avec R. 2e édition* (2nd ed.° éd.). Les Presses de l'Université Laval. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4797124>
- Heckausen, H. (1972). Discipline et interdisciplinarité. Dans L. o. Apostel (édit.), *L'interdisciplinarité : problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités*. OCDE - Centre pour la recherche et l'innovation dans, l'enseignement. .
- Heilbron, J., & Gingras, Y. (2015). La résilience des disciplines. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 210(5), 4-9. <https://doi.org/10.3917/ars.210.0004>
- Hurtubise, R. (1973). *L'université québécoise du proche avenir*. Hurtubise HMH.
- Klein, J. T. (1990). *Interdisciplinarity : history, theory, and practice*. Wayne State University Press.
- Klein, J. T. (2008). Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research: a literature review. *Am J Prev Med*, 35(2 Suppl), S116-123. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.010>
- Klein, J. T. (2011). Une taxinomie de l'interdisciplinarité. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 7(1), 15-48. <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/1007080ar>
- Kleinpeter, É. (2013). Taxinomie critique de l'interdisciplinarité. [A Critical Taxonomy of Interdisciplinarity]. *Hermès, La Revue*, 67(3), 123-129. <https://doi.org/10.4267/2042/51898>
- Kockelmans, J. J. (1979). *Interdisciplinarity and higher education*. The Pennsylvania State University Press.

- Larivière, V., & Gingras, Y. (2014). Measuring Interdisciplinarity. Dans B. Cronin & C. R. Sugimoto (édit.), *Beyond bibliometrics : harnessing multidimensional indicators of scholarly impact* (p. 20). The MIT Press.
- Larivière, V., & Sugimoto, C. R. (2018). *Mesurer la science*. Les Presses de l'Université de Montréal.
- Lattuca, L. R. (2001). *Creating interdisciplinarity : interdisciplinary research and teaching among college and university faculty* (1st ed.° éd.). Vanderbilt University Press.
- Le Pair, C. (1980). Switching between academic disciplines in universities in the Netherlands. *Scientometrics*, 2(3), 177-191. <https://doi.org/10.1007/BF02016696>
- Lessard, C. (2012). *Modèles d'université et conception de la qualité : pour une université plurielle et capable d'en témoigner*. Gouvernement du Québec. <https://www.cse.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2012/11/50-9037-ME-modeles-duniversites.pdf>
- Leydesdorff, L., & Rafols, I. (2009). A global map of science based on the ISI subject categories. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(2), 348-362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.20967>
- Leydesdorff, L., & Rafols, I. (2011). Indicators of the Interdisciplinarity of Journals: Diversity, Centrality, and Citations. *Journal of Informetrics*, 5, 87-100. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.09.002>
- Leydesdorff, L., Wagner, C. S., & Bornmann, L. (2018). Betweenness and diversity in journal citation networks as measures of interdisciplinarity-A tribute to Eugene Garfield. *Scientometrics*, 114(2), 567-592. Article. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2528-2>
- Mâsse, L. C., Moser, R. P., Stokols, D., Taylor, B. K., Marcus, S. E., Morgan, G. D., . . . Trochim, W. M. (2008). Measuring Collaboration and Transdisciplinary Integration in Team Science. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(2, Supplement), S151-S160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.020>
- Mathurin, C. (2002). *L'interdisciplinarité et la recherche sociale appliquée - Réflexions sur des expériences en cours*. Université de Montréal.
- McGill. (2022). *Our History*. <https://www.mcgill.ca/engineering/about-us/our-history/1811-1899>
- Meulemeester, J.-L. d. (2011). Quels modèles d'université pour quel type de motivation des acteurs ? Une vue évolutionniste. *Pyramides*, 21. <http://journals.openedition.org/pyramides/804>
- Michaud, G. (1972). Opinions et réalités. Dans L. o. Apostel (édit.), *L'interdisciplinarité : problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités* (p. 21-24). OCDE - Centre pour la recherche et l'innovation dans, l'enseignement. .
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Morin, E. (1994). *Sur l'interdisciplinarité*. CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHES ET ÉTUDES TRANSDISCIPLINAIRES. <https://ciret-transdisciplinarity.org/bulletin/b2c2.php>

- NAS, T. N. A. o. S. (2005). *Facilitating Interdisciplinary Research*. National Academies Committee on Science, Engineering, and Public Policy. T. N. A. Press. <https://www.nap.edu/catalog/11153/facilitating-interdisciplinary-research>
- Noyer, J.-M. (1995). *Les sciences de l'information : bibliométrie, scientométrie, infométrie*. Presses Universitaires de Rennes.
- OCDE. (2016). *Manuel de Frascati 2015 : Lignes directrices pour le recueil et la communication des données sur la recherche et le développement expérimental*. OECD. https://www.oecd-ilibrary.org/fr/science-and-technology/mesurer-les-activites-scientifiques-technologiques-et-d-innovation_24146137
- OIQ. (2021). *Profil de l'ingénieur d'aujourd'hui et de demain*. Ordre des Ingénieurs du Québec. <http://oiq.qc.ca/fr/jeSuis/public/Pages/profil-ingenieur-aujourd'hui.aspx>
- Origgi, G., & Darbellay, F. d. r. (2010). *Repenser l'interdisciplinarité*. Éditions Slatkine.
- Palmer, C. L. (1999). Structures and strategies of interdisciplinary science. *Journal of the American Society for Information Science*, 50(3), 242-253. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(1999\)50:3<242::AID-ASI7>3.0.CO;2-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(1999)50:3<242::AID-ASI7>3.0.CO;2-7)
- Piaget, J. (1967). *Logique et connaissance scientifique*. Gallimard.
- Polytechnique Montréal. (2022a). *Départements*. <https://www.polymtl.ca/enseignements-generaux/departements>
- Polytechnique Montréal. (2022b). *La recherche à Polytechnique Montréal*. <https://www.polymtl.ca/futur/es/recherche>
- Porter, A., & Chubin, D. (1985). An indicator of cross-disciplinary research. *Scientometrics*, 8, 161-176. <https://doi.org/10.1007/BF02016934>
- Porter, A., Cohen, A., David Roessner, J., & Perreault, M. (2007). Measuring researcher interdisciplinarity. *Scientometrics*, 72(1), 117-147. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1700-5>
- Porter, A., & Rafols, I. (2009). Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time. *Scientometrics*, 81(3), 719-745. Article. <https://doi.org/10.1007/s11192-008-2197-2>
- Price, D. J. d. S. (1972). *Science et suprascience*. Fayard.
- Pupion, P.-C. (2012). 1. Méthodes de collectes de données. Dans *Statistiques pour la gestion* (p. 1-18). Dunod.
- Qin, J., Lancaster, F., & Allen, B. (1997). Types and Levels of Collaboration in Interdisciplinary Research in the Sciences. *JASIS*, 48, 893-916. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199710\)48:103.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199710)48:103.0.CO;2-X)
- Qiu, L. (1992). A study of interdisciplinary research collaboration. *Research Evaluation*, 2(3), 169-175. <https://doi.org/10.1093/rev/2.3.169>
- Rafols, I., & Meyer, M. (2008). Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: Case studies in bionanoscience. *University of Sussex, SPRU - Science*

and Technology Policy Research, SPRU Electronic Working Paper Series, 82.
<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0041-y>

- Rafols, I., Porter, A., & Leydesdorff, L. (2010). Science overlay maps: A new tool for research policy and library management. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(9), 1871-1887. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.21368>
- Rao, C. R. (1982). Diversity: Its Measurement, Decomposition, Apportionment and Analysis. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A (1961-2002)*, 44(1), 1-22. <http://www.jstor.org/stable/25050293>
- Renaut, A. (1995). *Les révolutions de l'université : essai sur la modernisation de la culture*. Calmann-Lévy.
- Rinia, E. J., Van Leeuwen, T. N., Bruins, E. E. W., Van Vuren, H. G., & Van Raan, A. F. J. (2001). Citation delay in interdisciplinary knowledge exchange. *Scientometrics*, 51(1), 293-309. <https://doi.org/10.1023/A:1010589300829>
- Rinia, E. J., Van Leeuwen, T. N., & Van Raan, A. F. J. (2002). Impact measures of interdisciplinary research in physics. *Scientometrics*, 53(2), 241-248. <https://doi.org/10.1023/A:1014856625623>
- Rodríguez, J. M. (2017). Disciplinarity and interdisciplinarity in citation and reference dimensions: knowledge importation and exportation taxonomy of journals. *Scientometrics*, 110(2), 617-642. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2190-0>
- Rousseau, R., Zhang, L., & Hu, X. (2019). Knowledge Integration: Its Meaning and Measurement. Dans W. Glänzel, H. F. Moed, U. Schmoch, & M. Thelwall (édit.), *Springer Handbook of Science and Technology Indicators* (p. 69-94). Springer International Publishing.
- Roy, R. (1979). Interdisciplinary Science on Campus. Dans J. J. Kockelmans (édit.), *Interdisciplinarity and higher education* (p. 161-196). The Pennsylvania State University Press.
- Ruegg, W. (1999). Interdisciplinarity in the History of the European University. Dans R. Cunningham (édit.), *Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe* (p. 29-37). Office for Official Publications of the European Communities.
- Schummer, J. (2004). Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology. *Scientometrics*, 59(3), 425-465. <https://doi.org/10.1023/B:SCIE.0000018542.71314.38>
- Scopus. (2020). *Content Coverage Guide*. https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf
- Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126(6), 5113-5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>
- Smith, L. (1981). Citation Analysis. *Library Trends*, 23.
- Statistique Canada. (2020). *Classification Canadienne de la Recherche et Développement (CCRD) 2020 version 1.0 - Domaine de recherche (DDR)*. https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD_f.pl?Function=getVD&TVD=1278187

- Stirling, A. (2007). A General framework for analysing diversity in science, technology and society. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 4, 707-719. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.0213>
- Stokols, D., Fuqua, J., Gress, J., Harvey, R., Phillips, K., Baezconde-Garbanati, L., . . . Trochim, W. (2003). Evaluating transdisciplinary science. *Nicotine Tob Res*, 5 Suppl 1, S21-39. <https://doi.org/10.1080/14622200310001625555>
- Stokols, D., Hall, K. L., Taylor, B. K., & Moser, R. P. (2008a). The Science of Team Science: Overview of the Field and Introduction to the Supplement. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(2, Supplement), S77-S89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.002>
- Stokols, D., Hall, K. L., Taylor, B. K., & Moser, R. P. (2008b). The science of team science: overview of the field and introduction to the supplement. *Am J Prev Med*, 35(2 Suppl), S77-89. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.002>
- Stokols, D., Misra, S., Moser, R. P., Hall, K. L., & Taylor, B. K. (2008). The ecology of team science: understanding contextual influences on transdisciplinary collaboration. *Am J Prev Med*, 35(2 Suppl), S96-115. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.003>
- UQO, U. d. Q. e. O. (2022). *Système universitaire québécois*. <https://uqo.ca/international/systeme-universitaire-quebecois>
- Vinokur-Kaplan, D. (1995). Treatment Teams that Work (and those that don't): An Application of Hackman's Group Effectiveness Model to Interdisciplinary Teams in Psychiatric Hospitals. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 31(3), 303-327. <https://doi.org/10.1177/0021886395313005>
- Visser, M., Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. *Quantitative Science Studies*, 2(1), 20-41. https://doi.org/10.1162/qss_a_00112
- Wagner, C. S., Roessner, D. J., Bobb, K., Klein, J. T., Boyack, K. W., Keyton, J., . . . Borner, K. (2011). Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature. *Journal of Informetrics*, 5(1), 14-26. Review. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.06.004>
- Wallace, D. P., & Van Fleet, C. J. (2012). *Knowledge into action : research and evaluation in library and information science*. Libraries Unlimited.
- Waltman, L., & Larivière, V. (2020). Special issue on bibliographic data sources. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 360-362. https://doi.org/10.1162/qss_e_00026
- Wang, Q., & Schneider, J. W. (2020). Consistency and validity of interdisciplinarity measures. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 239-263. https://doi.org/10.1162/qss_a_00011
- Zhang, L., Rousseau, R., & Glänzel, W. (2016). Diversity of references as an indicator of the interdisciplinarity of journals: Taking similarity between subject fields into account. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(5), 1257-1265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.23487>

- Zitt, M. (2005). Facing Diversity of Science: A Challenge for Bibliometric Indicators. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 3(1), 38-49. https://doi.org/10.1207/s15366359mea0301_6
- Zwanenburg, S., Nakhoda, M., & Whigham, P. (2022). Toward greater consistency and validity in measuring interdisciplinarity: a systematic and conceptual evaluation. *Scientometrics*. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04310-z>

ANNEXE A DÉFINITIONS DU CONCEPT D'INTERDISCIPLINARITÉ

Dans le Tableau A.1, nous présentons d'autres définitions du concept d'interdisciplinarité que nous avons relevé dans la littérature.

Tableau A.1 : Définitions supplémentaires du concept d'interdisciplinarité.

| Auteurs | Définitions |
|---------------------------------------|---|
| Stokols, Hall, et al. (2008b, p. S79) | « L'interdisciplinarité est un processus interactif dans lequel les chercheurs travaillent conjointement, chacun s'appuyant sur une perspective propre à sa discipline, pour aborder un problème de recherche commun » |
| Zwanenburg et al. (2022, p. 3) | « L'intégration de connaissances issues de diverses disciplines »p |
| Rodríguez (2017, p. 619) | « l'interdisciplinarité implique l'intégration de données, de méthodes, d'outils, de concepts et de théories disciplinaires distincts afin de créer une vision holistique ou une compréhension commune d'une question ou d'un problème complexe » |
| Origi et Darbellay (2010, p. 32) | « Travail qui intègre les connaissances et les modes de pensée de deux ou plusieurs disciplines » |

ANNEXE B ÉTUDE INTERNE SUR LA COUVERTURE DES BASES DE DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

Dans le Tableau B.1, nous présentons les données de l'analyse interne réalisés par Brodeur (2021) qui compare la couverture des BDB *WoS* et *Scopus* des publications scientifiques des professeurs-chercheurs de chaque département entre 2010 et 2021.

Tableau B.1 : Comparaison de la Couverture de *WoS* et de *Scopus* des publications scientifiques de chaque département de *Polytechnique Montréal* entre 2010 et 2021.

| Départements | Répertoire | Scopus | | <i>WoS</i> | |
|------------------------------------|------------|--------|------|------------|------|
| Génie chimique | 1691 | 89.1% | 1506 | 83.3% | 1408 |
| Génie électrique | 1749 | 90.7% | 1586 | 84.3% | 1474 |
| Génie informatique / logiciel | 759 | 86.0% | 653 | 80.1% | 608 |
| Génie mécanique | 1350 | 84.8% | 1145 | 75.9% | 1024 |
| Génie physique | 1028 | 88.6% | 911 | 83.6% | 859 |
| Mathématiques / génie industriel | 1342 | 80.7% | 1083 | 78.9% | 1059 |
| Génie civil / géologique / mines | 1280 | 81.2% | 1039 | 80.5% | 1031 |
| Hors <i>Polytechnique Montréal</i> | 730 | 82.2% | 600 | 77.4% | 565 |

ANNEXE C EN-TÊTES DES COLONNES DE MÉTADONNÉES

Tableau C.1 : En-têtes des colonnes des métadonnées de Web of Science²⁶.

| En-têtes | Signification |
|-----------------|---|
| AB | Abstract |
| AF | Author Full Name |
| AR | Article Number |
| AU | Authors |
| BA | Book Authors |
| BE | Editors |
| BF | Book Authors Full Name |
| BN | International Standard Book Number (ISBN) |
| BP | Beginning Page |
| BS | Book Series Subtitle |
| C1 | Author Address |
| CA | Group Authors |
| CL | Conference Location |
| CR | Cited References |
| CT | Conference Title |
| CY | Conference Date |
| D2 | Book Digital Object Identifier (DOI) |
| DA | Date this report was generated. |
| DE | Author Keywords |
| DI | Digital Object Identifier (DOI) |
| DT | Document Type |
| EA | Early access date |
| EF | End of File |

²⁶ La liste des en-têtes est également disponible sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant : https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/hs_WoS_fieldtags.html

Tableau C.1 : En-têtes des colonnes des métadonnées de Web of Science (suite).

| En-têtes | Signification |
|-----------------|--|
| EI | Electronic International Standard Serial Number (eISSN) |
| EM | E-mail Address |
| EP | Ending Page |
| ER | End of Record |
| EY | Early access year |
| FN | File Name |
| FU | Funding Agency and Grant Number |
| FX | Funding Text |
| GA | Document Delivery Number |
| GP | Book Group Authors |
| HC | ESI Highly Cited Paper. Note that this field is valued only for ESI subscribers. |
| HO | Conference Host |
| HP | ESI Hot Paper. Note that this field is valued only for ESI subscribers. |
| ID | Keywords Plus® |
| IS | Issue |
| J9 | 29-Character Source Abbreviation |
| J1 | ISO Source Abbreviation |
| LA | Language |
| MA | Meeting Abstract |
| NR | Cited Reference Count |
| OA | Open Access Indicator |
| OI | ORCID Identifier (Open Researcher and Contributor ID) |
| P2 | Chapter Count (Book Citation Index) |
| PA | Publisher Address |
| PD | Publication Date |
| PG | Page Count |
| PI | Publisher City |
| PM | PubMed ID |

Tableau C.1 : En-têtes des colonnes des métadonnées de Web of Science (suite et fin).

| En-têtes | Signification |
|-----------------|---|
| PN | Part Number |
| PT | Publication Type |
| PU | Publisher |
| PY | Year Published |
| RI | ResearcherID Number |
| RP | Reprint Address |
| SC | Research Areas |
| SE | Book Series Title |
| SI | Special Issue |
| SN | International Standard Serial Number (ISSN) |
| SO | Publication Name |
| SP | Conference Sponsors |
| SU | Supplement |
| TC | Web of Science Core Collection Times Cited Count |
| TI | Document Title |
| U1 | Usage Count (Last 180 Days) |
| U2 | Usage Count (Since 2013) |
| UT | Accession Number |
| VL | Volume |
| VR | Version Number |
| WC | Web of Science Categories |
| Z9 | Total Times Cited Count (Web of Science Core Collection, Arabic Citation Index, BIOSIS Citation Index, Chinese Science Citation Database, Data Citation Index, Russian Science Citation Index, SciELO Citation Index) |

Tableau C.2 : En-têtes des colonnes des métadonnées de *PolyPublie*.

| En-têtes | Signification |
|-------------------------------|---|
| eprintid | Identifiant unique des travaux. |
| datestamp | Date de dépôt du travail dans <i>PolyPublie</i> . |
| creators.name.family | Nom de famille de l'étudiant-chercheur. |
| creators.name.given | Prénom de l'étudiant chercheur. |
| title | Titre du travail. |
| division | Département dans lequel le travail est réalisé. |
| full_text_status | Permet de savoir le travail est soumis à une clause de confidentialité. |
| institution | Université dans laquelle le travail est réalisé. |
| abstract | Résumé du travail. |
| thesis_type | Type de travail (mémoire ou thèse). |
| director_thesis.family | Nom de famille du directeur de recherche du travail. |
| director_thesis.given | Prénom du directeur de recherche du travail. |
| pages | Nombre de pages du travail. |

ANNEXE D DOMAINES DE RECHERCHE (WC) DE WEB OF SCIENCE

Tableau D.1 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SCIE²⁷.

| Domaines de recherche (WC) | |
|---------------------------------------|--|
| Acoustics | Chemistry, Analytical |
| Agricultural Economics & Policy | Chemistry, Applied |
| Agricultural Engineering | Chemistry, Inorganic & Nuclear |
| Agriculture, Dairy & Animal Science | Chemistry, Medicinal |
| Agriculture, Multidisciplinary | Chemistry, Multidisciplinary |
| Agronomy | Chemistry, Organic |
| Allergy | Chemistry, Physical |
| Anatomy & Morphology | Clinical Neurology |
| Andrology | Computer Science, Artificial Intelligence |
| Anesthesiology | Computer Science, Cybernetics |
| Astronomy & Astrophysics | Computer Science, Hardware & Architecture |
| Audiology & Speech-Language Pathology | Computer Science, Information Systems |
| Automation & Control Systems | Computer Science, Interdisciplinary Applications |
| Behavioral Sciences | Computer Science, Software Engineering |
| Biochemical Research Methods | Computer Science, Theory & Methods |
| Biochemistry & Molecular Biology | Construction & Building Technology |
| Biodiversity Conservation | Critical Care Medicine |
| Biology | Crystallography |
| Biophysics | Dentistry, Oral Surgery & Medicine |
| Biotechnology & Applied Microbiology | Dermatology |
| Cardiac & Cardiovascular Systems | Developmental Biology |
| Cell Biology | Endocrinology & Metabolism |
| Cell & Tissue Engineering | Energy & Fuels |

²⁷ La liste complète est également disponible sur le site Web de *Clarivate Analytics* en cliquant sur le lien suivant <https://mjl.clarivate.com/help-center>

Tableau D.1 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SCIE (suite).

| Domaines de recherche (WC) | |
|--------------------------------------|---|
| Ecology | Geochemistry & Geophysics |
| Education, Scientific Disciplines | Geography, Physical |
| Electrochemistry | Geology |
| Emergency Medicine | Geosciences, Multidisciplinary |
| Engineering, Aerospace | Geriatrics & Gerontology |
| Engineering, Biomedical | Green & Sustainable Science & Technology |
| Engineering, Chemical | Health Care Sciences & Services |
| Engineering, Civil | Hematology |
| Engineering, Electrical & Electronic | History & Philosophy of Science |
| Engineering, Environmental | Horticulture |
| Engineering, Geological | Imaging Science & Photographic Technology |
| Engineering, Industrial | Immunology |
| Engineering, Manufacturing | Infectious Diseases |
| Engineering, Marine | Instruments & Instrumentation |
| Engineering, Mechanical | Integrative & Complementary Medicine |
| Engineering, Multidisciplinary | Limnology |
| Engineering, Ocean | Logic |
| Engineering, Petroleum | Marine & Freshwater Biology |
| Entomology | Materials Science, Biomaterials |
| Environmental Sciences | Materials Science, Ceramics |
| Evolutionary Biology | Materials Science, Characterization & Testing |
| Fisheries | Materials Science, Coatings & Films |
| Food Science & Technology | Materials Science, Composites |
| Forestry | Materials Science, Multidisciplinary |
| Gastroenterology & Hepatology | Materials Science, Paper & Wood |
| Genetics & Heredity | Materials Science, Textiles |

Tableau D.1 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SCIE (suite).

| Domaines de recherche (WC) | |
|---|--|
| Mathematical & Computational Biology | Oceanography |
| Mathematics | Oncology |
| Mathematics, Applied | Operations Research & Management Science |
| Mathematics, Interdisciplinary Applications | Ophthalmology |
| Mechanics | Optics |
| Medical Ethics | Ornithology |
| Medical Informatics | Orthopedics |
| Medical Laboratory Technology | Otorhinolaryngology |
| Medicine, General & Internal | Paleontology |
| Medicine, Legal | Parasitology |
| Medicine, Research & Experimental | Pathology |
| Metallurgy & Metallurgical Engineering | Pediatrics |
| Meteorology & Atmospheric Sciences | Peripheral Vascular Disease |
| Microbiology | Pharmacology & Pharmacy |
| Microscopy | Physics, Applied |
| Mineralogy | Physics, Atomic, Molecular & Chemical |
| Mining & Mineral Processing | Physics, Condensed Matter |
| Multidisciplinary Sciences | Physics, Fluids & Plasmas |
| Mycology | Physics, Mathematical |
| Nanoscience & Nanotechnology | Physics, Multidisciplinary |
| Neuroimaging | Physics, Nuclear |
| Neurosciences | Physics, Particles & Fields |
| Nuclear Science & Technology | Physiology |
| Nursing | Plant Sciences |
| Nutrition & Dietetics | Polymer Science |
| Obstetrics & Gynecology | Primary Health Care |

Tableau D.1 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SCIE (suite et fin).

| Domaines de recherche (WC) | |
|--|-------------------------------------|
| Psychiatry | Statistics & Probability |
| Psychology | Substance Abuse |
| Public, Environmental & Occupational Health | Surgery |
| Quantum Science & Technology | Telecommunications |
| Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging | Thermodynamics |
| Rehabilitation | Toxicology |
| Remote Sensing | Transplantation |
| Reproductive Biology | Transportation Science & Technology |
| Respiratory System | Tropical Medicine |
| Rheumatology | Urology & Nephrology |
| Robotics | Veterinary Sciences |
| Soil Science | Virology |
| Spectroscopy | Water Resources |
| Sport Sciences | Zoology |

Tableau D.2 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SSCI.

| Domaines de recherche (WC) | |
|---|--|
| Anthropology | International Relations |
| Area Studies | Law |
| Business | Linguistics |
| Business, Finance | Management |
| Cultural Studies | Nursing |
| Communication | Political Science |
| Criminology & Penology | Psychiatry |
| Demography | Psychology, Applied |
| Development Studies | Psychology, Biological |
| Economics | Psychology, Clinical |
| Education & Educational Research | Psychology, Developmental |
| Education, Special | Psychology, Educational |
| Environmental Studies | Psychology, Experimental |
| Ergonomics | Psychology, Mathematical |
| Ethics | Psychology, Multidisciplinary |
| Ethnic Studies | Psychology, Psychoanalysis |
| Family Studies | Psychology, Social |
| Geography | Public Administration |
| Gerontology | Public, Environmental & Occupational Health |
| Green & Sustainable Science & Technology | Regional & Urban Planning |
| Health Policy & Services | Rehabilitation |
| History | Social Issues |
| History & Philosophy Of Science | Social Sciences, Biomedical |
| History of Social Sciences | Social Sciences, Interdisciplinary |
| Hospitality, Leisure, Sport & Tourism | Social Sciences, Mathematical Methods |
| Industrial Relations & Labor | Social Work |
| Information Science & Library Science | Sociology |

Tableau D.2 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation SSCI (suite et fin).

| Domaines de recherche (WC) | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Substance Abuse | Urban Studies |
| Transportation | Women's Studies |

Tableau D.3 : Domaines de recherche (WC) associés à l'index de citation AHCI.

| Domaines de recherche (WC) | |
|--|---|
| Archaeology | Literary Theory & Criticism |
| Architecture | Literature |
| Art | Literature, African, Australian, Canadian |
| Asian Studies | Literature, American |
| Classics | Literature, British Isles |
| Cultural studies | Literature, German, Dutch, Scandinavian |
| Dance | Literature, Romance |
| Film, Radio, Television | Literature, Slavic |
| Folklore | Medieval & Renaissance Studies |
| History | Music |
| History & Philosophy Of Science | Philosophy |
| Humanities, Multidisciplinary | Poetry |
| Language & Linguistics | Religion |
| Literary Reviews | Theater |

ANNEXE E ANALYSE DES RÉSEAUX

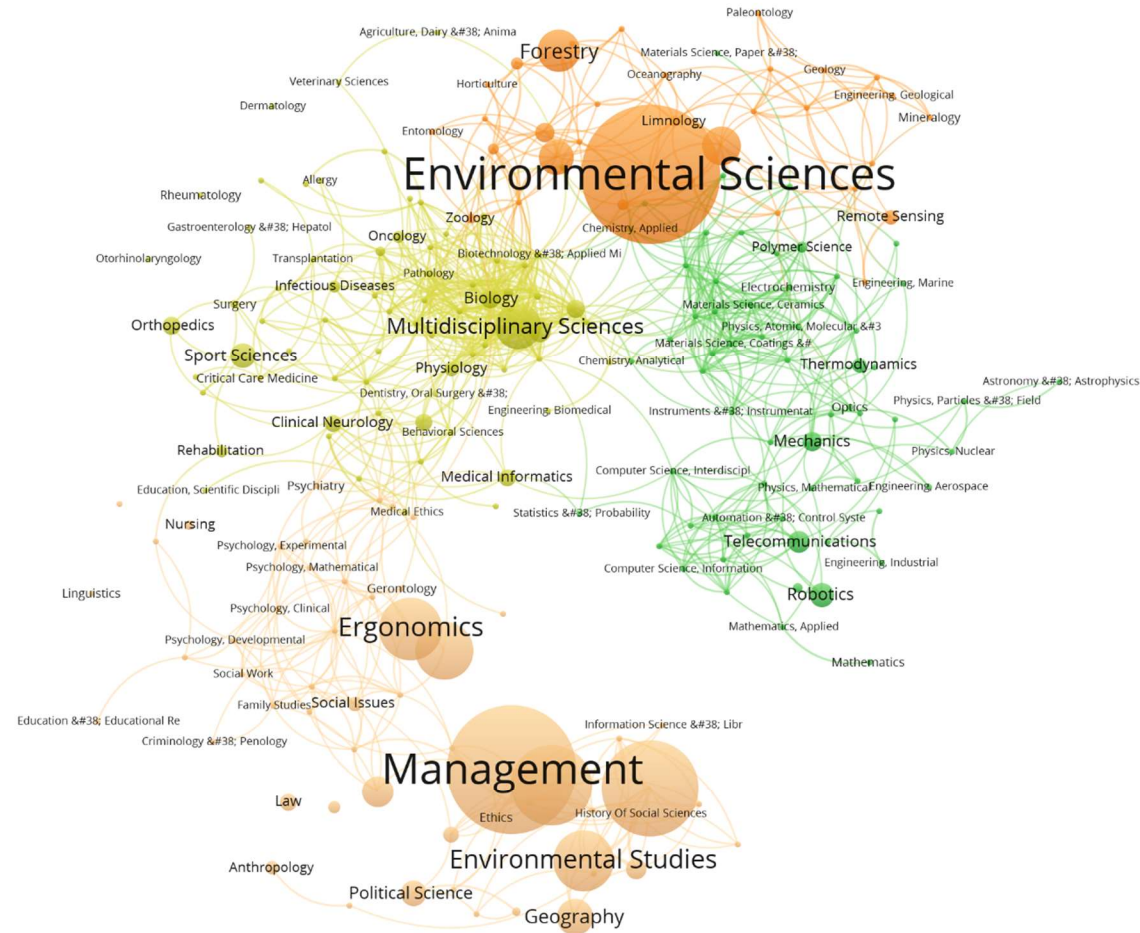


Figure E.1 : Représentation visuelle en deux dimensions des relations disciplinaires de notre échantillon.