

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Analyse du rôle des intermédiaires de recherche dans le contexte de l'intelligence artificielle
au Québec**

ALBOUZE MAXENCE

Département de mathématiques et de génie industriel

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

Génie industriel

Août 2019

© Maxence Albouze, 2019.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Analyse du rôle des intermédiaires de recherche dans le contexte de l'intelligence artificielle
au Québec**

présenté par **Maxence ALBOUZE**

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

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

Fabiano ARMELLINI, président

Nathalie DE MARCELLIS-WARIN, membre et directrice de recherche

Isabelle DESCHAMPS, membre

DÉDICACE

À ma famille,

Et à tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

La recherche est une opportunité que je ne pensais jamais saisir. Même si je me suis rendu compte qu'elle n'est pas mon domaine de prédilection, j'ai appris beaucoup de choses sur moi et sur comment la recherche fonctionne. Ce mémoire couronne un apprentissage de deux ans, ou j'ai souvent hésité, même voulu renoncé, mais que j'ai finalement terminé. Je n'aurais jamais réussi sans une multitude de personnes que je souhaite remercier.

Tout d'abord, Nathalie de Marcellis-Warin, ma directrice de recherche. Elle m'a pris sous son aile et m'a fait confiance alors que je ne savais pas dans quoi je m'embarquais. Cependant, ton sourire constant, le fait que tu sois toujours à fond, tes encouragements m'ont permis de continuer et de moi aussi donner le maximum, malgré les moments de difficultés que nous avons eues dans ce mémoire. Pour cela, je te remercie chaleureusement.

Maman, Papa, Constance, Geoffrey et Baptistine, je vous remercie d'avoir continué à me soutenir en tout temps et d'avoir cru en moi pour réaliser ce mémoire. Je suis pressé de bientôt vous revoir afin de pouvoir vous remercier de vive voix et de vous embrasser.

Maxime Lamant pour m'avoir fait tellement rigoler et me remonter le moral dans les moments où j'en avais le plus besoin.

Raphaël, Camille, Isis, Lisa et Thibault, Patrick avec qui j'ai découvert le Crossfit. Pour moi, faire du sport a toujours été nécessaire et faire ce nouveau sport avec vous m'a permis de garder un bon équilibre de vie sans lequel je n'aurais pas réussi ce mémoire.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont accepté de faire des entrevues dans le cadre de mon mémoire. Sans vous, ce mémoire n'aurait pas pu exister.

Je souhaite remercier le CIRANO et son personnel, en particulier Johanne, Jérôme, Ghislain, Geneviève et Nathalie afin de m'avoir accueilli dans ce cadre et pour tous les moments que nous avons partagés.

Je remercie Polytechnique Montréal et l'ICAM qui forment les futurs ingénieurs de ce monde, en reconstruction permanente.

Pour conclure, la devise de l'ICAM à laquelle je me suis accroché tout au long de ce mémoire :
Finir.

RÉSUMÉ

L'intelligence artificielle est encore au tout début de son développement. Pourtant elle représente des opportunités sans précédent pour l'industrie et pour la société actuelle.

Un écosystème de l'IA est en émergence actuellement au Québec et au Canada. Ainsi il semble intéressant d'étudier cet écosystème pour voir ce qu'il apporte au développement de l'IA au Québec. Cependant dans le cadre de cette étude, on se limite à l'écosystème de recherche universitaire, c'est-à-dire seulement l'écosystème composé d'universités, d'entreprises et d'intermédiaires de recherche entre les universités et les entreprises.

À travers ce mémoire, qui est une étude exploratoire, on va ainsi étudier le rôle de cet écosystème de recherche, et si l'appellation « écosystème » convient à ce qui est en train de se créer au Québec. On va également étudier le rôle des intermédiaires de recherche, dans cet écosystème de recherche, et voir si l'appellation « d'intermédiaires », leur convient. L'analyse du rôle de ces « intermédiaires » va permettre de vérifier si ce sont des nœuds de collaboration dans cet écosystème de recherche.

Pour répondre à ces questions et à ces constats, on va dans un premier temps faire une analyse de l'écosystème via des données secondaires et chercher à recréer à l'écosystème à travers une analyse réseau. Cette analyse réseau devrait permettre de montrer la collaboration dans cet écosystème, et si les intermédiaires de recherche sont des nœuds de collaborations.

Dans un deuxième temps, on va comparer l'écosystème de l'IA à l'écosystème des matériaux avancés. On s'est rendu compte à travers l'analyse réseau et l'analyse de l'écosystème que d'autres écosystèmes existaient au Québec et qu'ils peuvent être un apport intéressant pour le développement de l'écosystème de l'IA. Le choix de l'écosystème des MA s'est fait ainsi. L'IA et les MA sont tous deux des technologies génériques, et des experts dans l'écosystème de l'IA et des MA existent et peuvent faciliter la comparaison et les apports pour l'écosystème de l'IA.

Dans un troisième et dernier temps, on va procéder à des entrevues avec différents intermédiaires et experts de l'écosystème de l'IA et des MA. Ces entrevues vont permettre de faire une analyse de l'écosystème de recherche et de déterminer des recommandations pour l'écosystème de l'IA.

On arrive ainsi à différents résultats et apports pour cette étude exploratoire.

Un premier résultat, via l'analyse réseau, est de montrer que les intermédiaires de recherche sont des nœuds de collaborations. Ce ne sont pas les seuls nœuds de collaborations dans cet écosystème, mais ils jouent également ce rôle à plus grande échelle. Cependant il faut modérer le résultat, car cette analyse a été faite via des données secondaires. Elle représente bien l'écosystème de recherche de l'IA actuellement, mais elle n'est pas pour autant totalement fiable.

Un deuxième résultat est le fait de montrer que l'appellation « intermédiaire de recherche », choisie pour les entités de l'écosystème de recherche universitaire, ne correspond pas au rôle qu'ils jouent actuellement dans l'écosystème.

De ce résultat découle le fait que cet écosystème de recherche n'est actuellement pas encore un écosystème. On peut caractériser cet écosystème actuellement de réseau complexe, mais pas encore d'écosystème.

Un dernier résultat est la mise en avant de la nécessité d'une entité neutre, indépendante et leader de l'écosystème. On a ainsi proposé une organisation de l'écosystème de l'IA avec l'intégration de cette entité neutre et indépendante. Cette entité devrait permettre à l'écosystème de l'IA de se développer à son plein potentiel.

Pour conclure, cette étude exploratoire s'inscrit dans le contexte d'un développement très fort de l'IA au Québec. Elle permet de mettre en avant des appellations à modifier dans l'écosystème et de proposer des pistes d'améliorations pour l'écosystème de recherche de l'IA. Cette étude exploratoire permet également de présenter les premières données de l'écosystème de l'IA au Québec.

Cependant, certaines limites à cette étude existent. Par exemple, le fait que l'on base les recommandations sur une réplique d'un modèle existant, ou encore que seulement une petite partie de l'écosystème a été étudié.

ABSTRACT

Artificial intelligence is still at the very beginning of its development. Yet it represents unprecedented opportunities for the industry and for today's society.

An AI ecosystem is currently emerging in Quebec and Canada. So it seems interesting to study this ecosystem to see what it brings to the development of AI in Quebec. However, this study is limited to the university research ecosystem, that is, only the ecosystem composed of universities, companies and research intermediaries between universities and companies.

Through this brief, which is an exploratory study, we will study the role of this research ecosystem and whether the term "ecosystem" is appropriate for what is being created in Quebec. We will also study the role of research intermediaries in this research ecosystem and see if the term "intermediaries" is appropriate for them. The analysis of the role of these "intermediaries" will make it possible to verify if they are nodes of collaboration in this research ecosystem.

To answer these questions and observations, we will first do an ecosystem analysis using secondary data and try to recreate the ecosystem through a network analysis. This network analysis should make it possible to show collaboration in this ecosystem, and whether research intermediaries are nodes of collaboration.

In a second step, the AI ecosystem will be compared to the advanced materials ecosystem. Through network analysis and ecosystem analysis, it was realized that other ecosystems existed in Quebec and that they could be an interesting contribution to the development of the AI ecosystem. The choice of the AD ecosystem was made as follows. AI and MA are both generic technologies, and experts in the AI and MA ecosystem exist and can facilitate comparison and contributions to the AI ecosystem.

Thirdly and finally, interviews will be conducted with various intermediaries and experts in the AI and MA ecosystem. These interviews will provide an analysis of the research ecosystem and determine recommendations for the AI ecosystem.

This leads to different results and contributions for this exploratory study.

A first result, via network analysis, is to show that research intermediaries are nodes of collaboration. These are not the only collaborative nodes in this ecosystem, but they also play this role on a larger scale. However, the result must be moderated, as this analysis was done using

secondary data. It is well representative of the current AI research ecosystem, but it is not totally reliable.

A second result is the fact that the term "research intermediary", chosen for entities in the university research ecosystem, does not correspond to the role they currently play in the ecosystem.

This result results in the fact that this research ecosystem is not yet an ecosystem. This ecosystem can currently be characterized as a complex network, but not yet as an ecosystem.

A final result is the emphasis on the need for a neutral, independent and leading entity in the ecosystem. An AI ecosystem organization was proposed with the integration of this neutral and independent entity. This entity should allow the AI ecosystem to develop to its full potential.

To conclude, this exploratory study is part of a very strong development of AI in Quebec. It makes it possible to highlight designations to be modified in the ecosystem and to propose ways of improving the AI research ecosystem. This exploratory study also presents the first data on the AI ecosystem in Quebec.

However, there are some limitations to this study. For example, the fact that recommendations are based on a replica of an existing model, or that only a small part of the ecosystem has been studied.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DÉDICACE..... | III |
| REMERCIEMENTS | IV |
| RÉSUMÉ..... | V |
| ABSTRACT | VII |
| TABLE DES MATIÈRES | IX |
| LISTE DES TABLEAUX..... | XII |
| LISTE DES FIGURES..... | XIII |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS | XV |
| LISTE DES ANNEXES..... | XVI |
| CHAPITRE 1 INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE 2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE..... | 3 |
| 2.1 L'intelligence artificielle et son contexte au Québec : un écosystème en émergence | 3 |
| 2.1.1 Définitions et concepts de l'IA..... | 3 |
| 2.1.2 Contexte de l'IA au Québec et de l'émergence de son écosystème..... | 7 |
| 2.2 L'écosystème de recherche universitaire et ses intermédiaires de recherche | 12 |
| 2.3 Conclusion du contexte | 14 |
| CHAPITRE 3 REVUE DE LITTÉRATURE..... | 15 |
| 3.1 La collaboration entreprise-entreprise..... | 15 |
| 3.1.1 Les alliances stratégiques | 15 |
| 3.1.2 Les partenariats | 17 |
| 3.1.3 Les grappes..... | 17 |
| 3.1.4 Les entreprises et les startups | 18 |

| | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 | La collaboration université-entreprise..... | 19 |
| 3.2.1 | Les centres de recherche | 21 |
| 3.2.2 | Les centres interuniversitaires..... | 22 |
| 3.2.3 | Les centres de transferts technologiques..... | 23 |
| 3.2.4 | Les incubateurs universitaires | 23 |
| 3.3 | Les intermédiaires de recherche | 24 |
| 3.4 | Les écosystèmes | 26 |
| 3.5 | Question et propositions de recherche | 28 |
| CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE..... | | 30 |
| 4.1 | Analyse réseau de l'écosystème de l'IA au Québec pour montrer la collaboration et la présence d'intermédiaires de recherche spécialisés en IA | 30 |
| 4.1.1 | Choix des intermédiaires de recherche..... | 31 |
| 4.1.2 | Organisation des données sur Excel et organisation pour l'extraction pour la plateforme Nuance-R | 33 |
| 4.1.3 | Réalisation du code pour l'analyse réseau sur Nuance-R | 37 |
| 4.2 | Étude et analyse d'un autre écosystème pour aider à l'analyse de celui de l'IA | 37 |
| 4.3 | Entrevues avec des intermédiaires de recherche et des experts | 38 |
| 4.3.1 | Choix et justification de la méthodologie de recherche | 38 |
| 4.3.2 | Choix des thèmes retenus pour l'entretien | 39 |
| 4.3.3 | Conception du guide d'entrevue | 40 |
| 4.3.4 | Recrutement et provenance des participants | 41 |
| 4.3.5 | Analyse et utilisation des informations recueillies..... | 43 |
| 4.3.6 | Représentation de l'organisation de l'écosystème de l'IA et modèle | 43 |
| 4.3.7 | Considération éthique..... | 43 |
| CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET ANALYSE..... | | 44 |

| | | |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 | Résultat de l'analyse réseau réalisé sur R | 44 |
| 5.2 | Comparaison avec l'écosystème des matériaux avancés | 46 |
| 5.2.1 | Définitions et concepts des Matériaux avancés..... | 47 |
| 5.2.2 | Contexte des MA au Québec et analyse de l'écosystème en place..... | 50 |
| 5.2.3 | Comparaison de l'écosystème de l'IA et des MA..... | 54 |
| 5.3 | Analyse de l'écosystème selon les entrevues | 57 |
| 5.3.1 | La collaboration dans cet écosystème en émergence | 58 |
| 5.3.2 | Quels sont les apports aux entreprises ? | 59 |
| 5.3.3 | Quels sont les apports aux universités et la recherche ?..... | 61 |
| 5.3.4 | Avis sur l'écosystème..... | 63 |
| 5.4 | Recommandations et proposition d'organisation de l'écosystème de l'IA..... | 66 |
| 5.4.1 | Recommandations sur la collaboration | 67 |
| 5.4.2 | Recommandations sur les apports aux universités et aux entreprises..... | 67 |
| 5.4.3 | Recommandation sur l'écosystème et l'organisation de l'entité..... | 68 |
| 5.4.4 | Proposition de l'organisation de l'écosystème de l'IA au Québec | 72 |
| 5.5 | Limites de l'étude..... | 75 |
| CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS | | 76 |
| RÉFÉRENCES | | 81 |
| ANNEXES | | 88 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 4.1 : Liste des intermédiaires de recherche choisis pour l'analyse réseau | 31 |
| Tableau 5.1 : Comparaison de l'écosystème des MA et de l'IA (« Intelligence artificielle Investissement Québec », 2019; <i>PRIMA</i> , 2018)..... | 54 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 2.2.1 : Développement prévu de la puissance des ordinateurs dans les années à venir (« Comment le futur de l'intelligence artificielle pourrait révolutionner le monde d'ici 25 ans », 2015) | 5 |
| Figure 2.2 : Les méthodes de prédilections de l'IA (« UBI Set To Save AI Victims Sensors Magazine », 2017) | 6 |
| Figure 2.3 : Écosystème de l'IA en 2016, https://twitter.com/sibos/status/875023887234453506 origine jfgagne.ai, mais supprimé, car plus à jour | 10 |
| Figure 2.4 : Écosystème de l'IA en 2018 (Jfgagne.ai, Element AI) | 11 |
| Figure 2.5 : Écosystème collaboratif de l'IA au Québec en 2019 (« Intelligence artificielle Investissement Québec », 2019) | 13 |
| Figure 3.1 : L'écosystème d'affaires adapté de Moore (Ben Letaifa & Rabeau, 2012) | 27 |
| Figure 4.1 : Extrait du tableau Excel pour l'analyse Réseau | 33 |
| Figure 4.2 : Extrait du tableau Excel afin d'associer un ID à chacune des entités | 35 |
| Figure 4.3 : Extraits du tableau Excel regroupant les entités, leurs partenaires et les ID correspondants | 36 |
| Figure 5.1 : Analyse réseau de l'écosystème de l'IA au Québec | 44 |
| Figure 5.2 : Exemples des propriétés recherchées des matériaux avancés (PRIMA, 2018) | 48 |
| Figure 5.3 : Différentes caractéristiques des matériaux selon leur catégorie (PRIMA, 2018) | 49 |
| Figure 5.4 : Répartition des entreprises selon leur taille dans l'écosystème des MA au Québec (PRIMA, 2018) | 53 |
| Figure 5.5 : Proposition d'organisation de l'écosystème de l'IA au Québec | 73 |
| Figure C.1 : Code Analyse réseau, partie 1/6 | 99 |
| Figure C.2 : Code Analyse réseau, partie 2/6 | 100 |
| Figure C.3 : Code Analyse réseau, partie 3/6 | 100 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure C.4 : Extrait du dataframe Links..... | 101 |
| Figure C.5 : Extrait du dataframe Nodes..... | 102 |
| Figure C.6 : Code Analyse réseau, partie 4/6..... | 102 |
| Figure C.7 : Vérification des correspondances des ID sur R | 103 |
| Figure C.8 : Code Analyse réseau, partie 5/6..... | 103 |
| Figure C.9 : Création du net sur R | 104 |
| Figure C.10 : Code Analyse réseau, partie 6/6..... | 104 |
| Figure C.11 : Exemple d'analyse de réseau | 105 |
| Figure D.1 : Analyse réseau de l'écosystème de l'IA au Québec | |
| Figure E.1 : Proposition d'organisation de l'écosystème d'IA au Québec | |

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | |
|-------|------------------------------------------------------------|
| BDC | Banque du développement du Canada |
| IA | Intelligence Artificielle |
| IRCM | Institut de recherches clinique de Montréal |
| IVADO | Institut de Valorisation des Données |
| KET | Key Enabling Technology |
| MA | Matériaux avancés |
| MILA | Montreal Institute of Learning Algorithms |
| OCDE | Organisation de coopération et de développement économique |
| R-D | Recherche et Développement |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Annexe A : Guide d’entrevue..... | 88 |
| Annexe B : Formulaire de consentement | 92 |
| Annexe C : Code sur la plateforme R-Studio pour la réalisation de l’analyse Réseau | 99 |
| Annexe D : Analyse réseau | 106 |
| Annexe E : Proposition d’organisation de l’écosystème de l’IA au Québec incluant une entité neutre et indépendante..... | 107 |

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Au fur et à mesure des années, l'humain a créé de nombreuses nouvelles technologies qui chacune leur tour, à leur manière, ont révolutionné le monde et la société. On peut donner comme exemples la machine à vapeur, l'électricité, l'automobile, les nanotechnologies, etc. Dans les années 50, Alan Turing inventa le premier ordinateur, en rêvant de vouloir créer une intelligence qui ressemblait à celle de l'homme. Le concept d'intelligence non humaine est ainsi né. Le concept d'intelligence artificielle (IA) est nommé en 1955 par McCarthy (Futura, 2018; McCarthy, 1955).

L'intelligence artificielle est aujourd'hui une technologie de pointe. Elle nécessite ainsi des investissements importants en recherche (Johnson, Midgley, & Chichirau, 2018), afin de pouvoir avoir des impacts positifs sur l'innovation et la recherche et le développement (R-D) (Scandura, 2016). La recherche est généralement faite par les universités, puis transmise aux entreprises afin d'être implémentée dans leur fonctionnement (Bozeman, Fay, & Slade, 2013). Or ce modèle est souvent long et n'est pas toujours optimal, notamment dû à la différence de langage entre ces deux entités, mais aussi à des objectifs pas toujours compatibles à court terme (Rajalo & Vadi, 2017).

Ces dernières années, plusieurs modèles de recherche collaborative ont donc été mis en place entre universités et entreprises afin d'optimiser le transfert des innovations (Baba, Shichijo, & Sedita, 2009; Ivascu, Cirjaliu, & Draghici, 2016; E. Villani, Rasmussen, & Grimaldi, 2017). Cela s'est fait notamment dans l'industrie des sciences de la vie et celle des matériaux avancés, incluant l'apparition d'organismes ayant pour vocation de jouer les « intermédiaires » et de regrouper professionnels de l'industrie et chercheurs académiques. Certains sont des consortiums d'entreprises du même domaine alors que d'autres fédèrent un grand nombre d'acteurs de l'écosystème. Ces intermédiaires sont étudiés afin de mieux comprendre les différences et les similarités entre ces modèles, les motivations (Ankrah & AL-Tabbaa, 2015), l'impact de tels modèles (notamment sur la durée de la relation, l'embauche des étudiants du centre de recherche, le nombre de brevets conjoints, les contrats de recherche, etc.) et ainsi voir si la même chose se produit en IA.

Avec l'avènement de l'intelligence artificielle, plusieurs acteurs qui font le lien entre les universités et les entreprises apparaissent dans l'écosystème IA au Québec. C'est pourquoi on souhaite étudier

la dynamique de l'émergence de cet écosystème composé d'universités, d'entreprises, de startups et des centres de recherches.

Cet écosystème de l'intelligence artificielle au Québec étant relativement nouveau, quasiment aucune étude n'a encore été faite sur le sujet. Ce mémoire a donc pour but de faire une première analyse exploratoire de cet écosystème. En effet, l'intelligence artificielle étant un domaine relativement nouveau, si le Québec et le Canada cherchent à se démarquer à ce niveau-là et devenir un des futurs leaders mondiaux dans ce domaine, les impacts de cet écosystème doivent être les meilleurs possibles.

Pour réaliser cette étude, ce mémoire de maîtrise se divise en quatre parties principales.

Dans la première partie, ou nommée par la suite deuxième chapitre, l'intelligence artificielle et différents concepts sur l'IA sont tout d'abord étudiés. Puis le contexte de l'émergence de l'écosystème de l'intelligence artificielle au Québec sera présenté. Ensuite, des notions sur les intermédiaires de recherche pour mieux comprendre le reste de l'analyse seront explicitées.

Deuxièmement, basée sur les premiers constats établis dans le contexte, une revue de littérature sera effectuée dans le troisième chapitre. Elle portera sur tout ce qui concerne la collaboration en général et en particulier sur les intermédiaires de recherche et leur rôle.

Troisièmement, le quatrième chapitre est consacré à expliquer la méthodologie de recherche. Cette étude n'est qu'une prémisse pour de futures recherches, donc il est important de savoir comment on a procédé pour réaliser l'analyse exploratoire.

Finalement, le dernier chapitre montre les résultats de l'étude. Dans un premier temps, une analyse réseau de l'écosystème de l'intelligence artificielle au Québec a été faite et des conclusions en ont été tirées. Ensuite, une comparaison avec l'écosystème des matériaux avancés est réalisée, afin d'avoir des points de comparaison et d'améliorer les recommandations pour l'écosystème de l'intelligence artificielle. Pour terminer, on verra l'analyse des entrevues, afin d'avoir l'avis d'une bonne partie des entités présentes dans l'écosystème de recherche universitaire de l'intelligence artificielle au Québec. Ensuite, des recommandations sont faites, pour donner suite aux constats et à l'analyse des entrevues. Finalement, une proposition de modèle conceptuel de l'organisation de l'écosystème de l'IA au Québec est présentée.

CHAPITRE 2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Comme vu précédemment, un écosystème de l'intelligence artificielle (IA) est en train de se créer au Québec. Il est donc important pour commencer cette étude de revenir sur le contexte de création de cet écosystème et sur la technologie qui en est à la base.

Ensuite, afin de mieux comprendre les interactions qui entourent l'IA, des notions sur les écosystèmes ainsi que sur les intermédiaires de recherche seront abordées.

2.1 L'intelligence artificielle et son contexte au Québec : un écosystème en émergence

L'IA est une technologie clé générique (KET en anglais pour Key enabling technology), c'est-à-dire que c'est une technologie qui affecte un grand nombre de secteurs différents avec un grand nombre d'applications diverses. Ainsi, on va définir ce que sont l'IA et l'émergence de son écosystème au Québec.

2.1.1 Définitions et concepts de l'IA

Le concept d'intelligence artificielle (Futura, 2018; McCarthy, 1955) existe depuis 1955 (nom donné par McCarthy) et a suscité la conception de systèmes ayant pour objectif délibéré de modéliser la complexité de l'intelligence humaine. Les chercheurs ont conçu ces systèmes comme des cerveaux isolés d'un corps, excluant l'action dans l'élaboration de leurs connaissances. Des réalisations semblaient prouver, par leur efficacité, que des ordinateurs pouvaient se passer d'organes sensoriels et moteurs pour raisonner ou communiquer.

On va ainsi reprendre quelques définitions de l'intelligence artificielle parues dans la littérature.

Nils J. Nilsson (Nilsson, 2009) :

L'intelligence artificielle est l'activité consacrée à rendre les machines intelligentes, et l'intelligence est la qualité qui permet à une entité de

fonctionner correctement avec prévoyance dans son environnement.
(Traduction libre)

Ezratty (Ezratty, 2016):

L'Intelligence Artificielle regroupe les sciences et technologies qui permettent d'imiter, d'étendre et/ou d'augmenter l'intelligence humaine avec des machines.

Cédric Villani (C. Villani, 2018) :

L'intelligence artificielle désigne en effet moins un champ de recherches bien défini qu'un programme, fondé autour d'un objectif ambitieux : comprendre comment fonctionne la cognition humaine et la reproduire ; créer des processus cognitifs comparables à ceux de l'être humain.

Ces définitions donnent un aspect global de l'intelligence artificielle. Elles confirment le fait que l'IA est un domaine vaste qui a pour but de reproduire la conscience humaine ou d'améliorer l'intelligence humaine.

Comme vu précédemment, les recherches en IA existent depuis 1955, mais son développement et ses applications ont vraiment commencé à se développer et à se démarquer dans les dernières années (depuis 10 ans environ), grâce aux innovations technologiques qu'il y a eu, en particulier l'amélioration des capacités de stockage et l'amélioration de la puissance de calculs des ordinateurs (Kurzweil, 2005).

Deux concepts d'intelligence artificielle existent. Le concept de l'IA faible et de l'IA forte. Définissons ces deux concepts (« Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? », 2018).

L'IA faible reproduit un comportement spécifique prévu, mais pas son fonctionnement. Le principe de compréhension ne s'applique pas à la machine, le système imite un comportement intelligent, dans un domaine précis et peut résoudre des problèmes, voire aujourd'hui apprendre.

Malgré l'impression que donne la machine d'être intelligente, ce n'est qu'une simulation. Tout se passe seulement, pour l'observateur extérieur, « comme si » elle comprenait, mais elle ne fait que « délivrer ». L'IA faible n'est pas conçue pour évoluer seule. Ce ne sont que des programmes informatiques, certes pratiques, mais seulement prédéterminés dans des tâches précises et spécifiques. Tout ce qu'il existe aujourd'hui en IA est de l'IA faible comme les différentes applications telles que Watson, AlphaGo, DeepBlue, etc.

L'IA forte est définie comme l'intelligence au sens plein, la conscience de soi. La machine fait preuve de créativité, d'anticipation, d'adaptation. Elle peut non seulement analyser des situations et effectuer des actions rationnelles, mais également avoir une conscience et comprendre ses propres raisonnements. À l'heure actuelle, reproduire la conscience semble quasi impossible. Cependant, les chercheurs sont déjà à l'œuvre et des avancées se réalisent rapidement.

C'est pourquoi, on va voir l'évolution anticipée de l'IA et à quel moment l'IA pourrait devenir une IA forte.

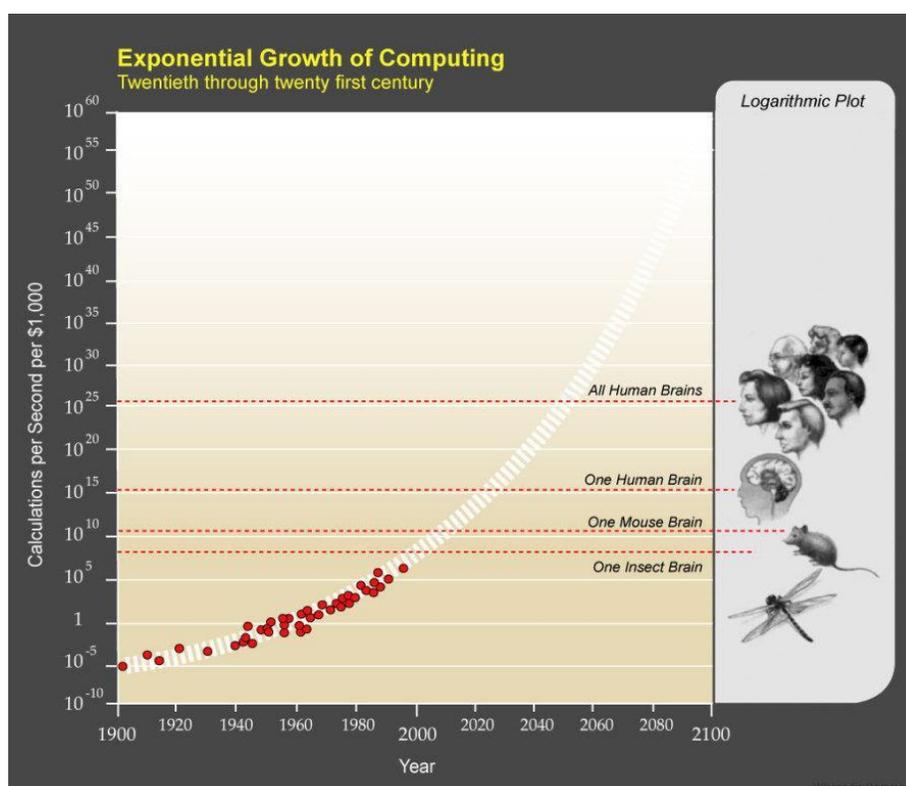


Figure 2.2.1 : Développement prévu de la puissance des ordinateurs dans les années à venir (« Comment le futur de l'intelligence artificielle pourrait révolutionner le monde d'ici 25 ans », 2015)

La figure 2.1 montre l'évolution prévue de la puissance des ordinateurs dans les années à venir et quand la puissance des ordinateurs atteindrait l'intelligence humaine, si l'on ne prend seulement en compte le nombre de calculs par seconde que peuvent faire les ordinateurs, par rapport à ce que peuvent faire les différents cerveaux de l'ère animale. Les ordinateurs atteindraient le même nombre de calculs par seconde qu'un seul être humain vers les années 2030 et de l'ensemble des êtres humains vers les années 2050 selon cette source. Ainsi si l'on associe la puissance des ordinateurs à ce que peut faire l'IA, l'IA pourrait potentiellement devenir une IA forte vers les années 2050 selon cette figure.

Aujourd'hui, l'IA touche plusieurs domaines sectoriels comme le transport, la santé, le commerce, les assistants personnels, l'industrie, l'environnement, la finance, la défense, etc. Ce qui prouve que l'IA est bien une technologie générique.

En plus des différents domaines de prédilections, l'IA peut se différencier selon plusieurs méthodes, comme le montre la figure 2.2. Selon cette figure, ces différentes méthodes sont l'apprentissage machine, le processus de langage naturel, l'élocution, les systèmes experts, la planification et l'optimisation, la robotique et tout ce qui concerne la vision. Ces différentes séparations peuvent également ensuite être divisées en d'autres domaines plus spécialisés.

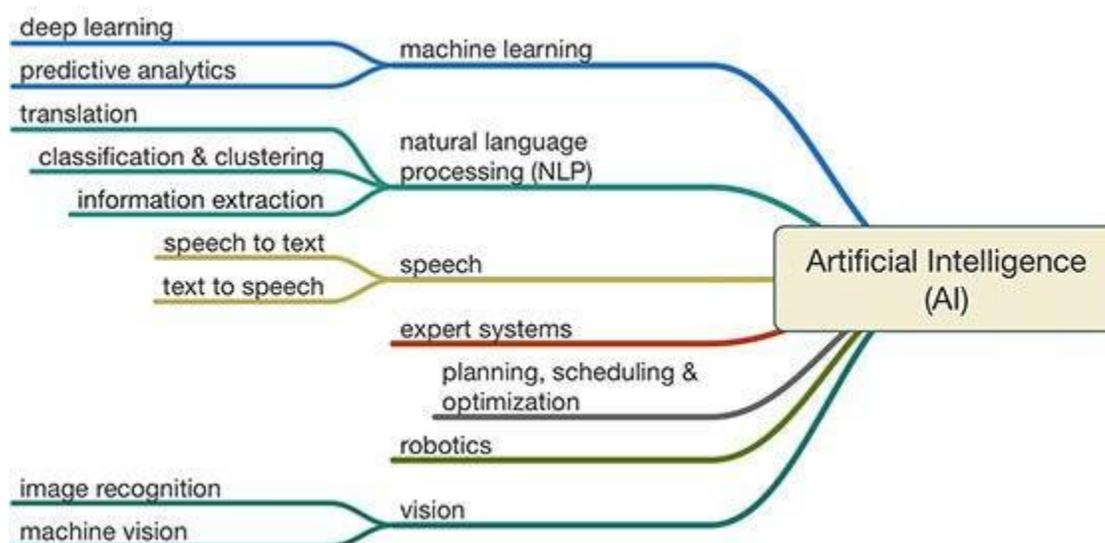


Figure 2.2 : Les méthodes de prédilections de l'IA (« UBI Set To Save AI Victims | Sensors Magazine », 2017)

Ces méthodes, basées sur la recherche fondamentale, permettent un vaste domaine d'applications différentes.

Pour donner suite à cette définition de l'IA et de son concept, on va voir le développement de l'écosystème de l'IA au Québec et comment cela s'est fait.

2.1.2 Contexte de l'IA au Québec et de l'émergence de son écosystème

Selon Investissements Québec (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019), plusieurs points ont permis à l'IA de vraiment se développer au Québec.

Un de ces facteurs est que la recherche fondamentale en IA est effectuée depuis de nombreuses années par différentes équipes de chercheurs. Ils se sont fait connaître dans le monde entier pour leurs connaissances de pointe et les avancements qu'ils ont faits en IA, en particulier dans le domaine du deep learning (DL, en français : apprentissage profond) et de la recherche opérationnelle (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019).

Quelques chiffres marquants. 11 000 étudiants s'instruisent dans le domaine de l'IA et il y a environ 93 000 spécialistes en lien avec l'IA à travers l'ensemble des universités de Montréal et du Québec (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019).

Le développement de l'IA a pu se faire en grande partie grâce à la recherche universitaire, mais il a aussi besoin de financements et d'investissement pour se développer. Par exemple, plus de 500 millions de dollars (M\$) en fonds publics et plus de 1,4 milliard de dollars en capital de risques ont été investis entre 2016 et 2018, et répartis de la manière suivante :

- Fonds Publics :
 - 100 M\$ Grappe québécoise en IA
 - 260 M\$ Scale AI
 - 93,5 M\$ Fonds d'excellence en recherche (Apogée Canada)
 - 40 M\$ Stratégie pancanadienne en IA
- Capital de Risque :
 - 134 M\$ Element AI
 - 132 M\$ Hopper

- 17 M\$ Mnubo

En cumulant ces investissements, Montréal est la ville qui a reçu le plus de fonds par rapport à toutes les autres villes canadiennes.

Le Québec offre de nombreux avantages pour le développement de l'IA. Il y a un des meilleurs taux de scolarisation de l'OCDE, une grande partie de la population est bilingue, et cette région est reconnue mondialement pour ses universités (Montréal est la première ville universitaire en Amérique du Nord, avec des universités qui font partie des 100 meilleures Universités du monde comme McGill ou encore l'Université de Montréal). Le World Summit AI le 10 et 11 avril 2019 à Montréal a permis d'étendre sa renommée pour les 3 années à venir (Source : <https://americas.worldsummit.ai/>). Ainsi Montréal et donc le Québec ont été reconnus, par les joueurs mondiaux et les organisateurs de cette conférence renommée, comme une des capitales mondiales de l'IA.

On a ainsi un écosystème en émergence avec ses laboratoires, des centres de recherches qui existent depuis longtemps et des entités qui se sont créées (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019).

- Le MILA
- IVADO (Institut de la Valorisation des données)
- Scale.AI
- Des centres d'excellence comme le CIRRELT depuis 1971, le CRIM depuis 1985, GERAD depuis 1979, Tech3Lab depuis 2017, RLLAB depuis 2018, LIVIA, etc.
- Des centres de transfert technologique
- Des incubateurs/accélérateurs comme Next AI, Techstars, TandemLaunch, FounderFuel, etc.
- Des startups comme Element AI, Hopper, Mnubo, Automat, Fluent AI, Algolux, etc.

Cette forte présence de chercheurs et de leurs équipes, les financements, ainsi que d'autres avantages du Québec pour le développement, sont des facteurs de croissance importants pour l'IA. Par conséquent depuis 2016, cela attire de grandes entreprises, pour qu'elles s'installent, ouvrent et développent des laboratoires de recherche appliquée en IA dans la région du Québec (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019).

- Google avec Google Brain (2016)
- IBM qui ouvre son propre laboratoire (2017)
- Facebook qui inaugure un centre de recherche (2017) et qui double ses chercheurs (2018).
- DeepMind qui ouvre un deuxième laboratoire (2017)
- Thalès qui annonce un centre de recherche (2017)
- Microsoft Research (2018)
- Techstars qui annonce un nouvel accélérateur (2018)
- HAVAS Group qui crée un centre d'innovation (2018)
- Huawei qui ouvre un laboratoire (2018)
- Samsung qui ouvre un laboratoire (2018)
- DENSO qui ouvre un laboratoire (2019)

Un autre point important dans l'écosystème de l'IA est la déclaration de Montréal IA en charge d'une IA éthique et responsable qui a été signée par de nombreux laboratoires, centres de recherche, entreprises, centre interuniversitaire à Montréal. C'est une des premières déclarations signées mondialement et c'est un enjeu majeur, car de nombreux défis éthiques sont à se poser avec le développement de l'IA.

Les figures 2.3 et 2.4 montrent l'évolution de l'écosystème de l'IA par grandes villes au Canada, et pas spécifiquement de Montréal, de 2016 à 2018, respectivement.

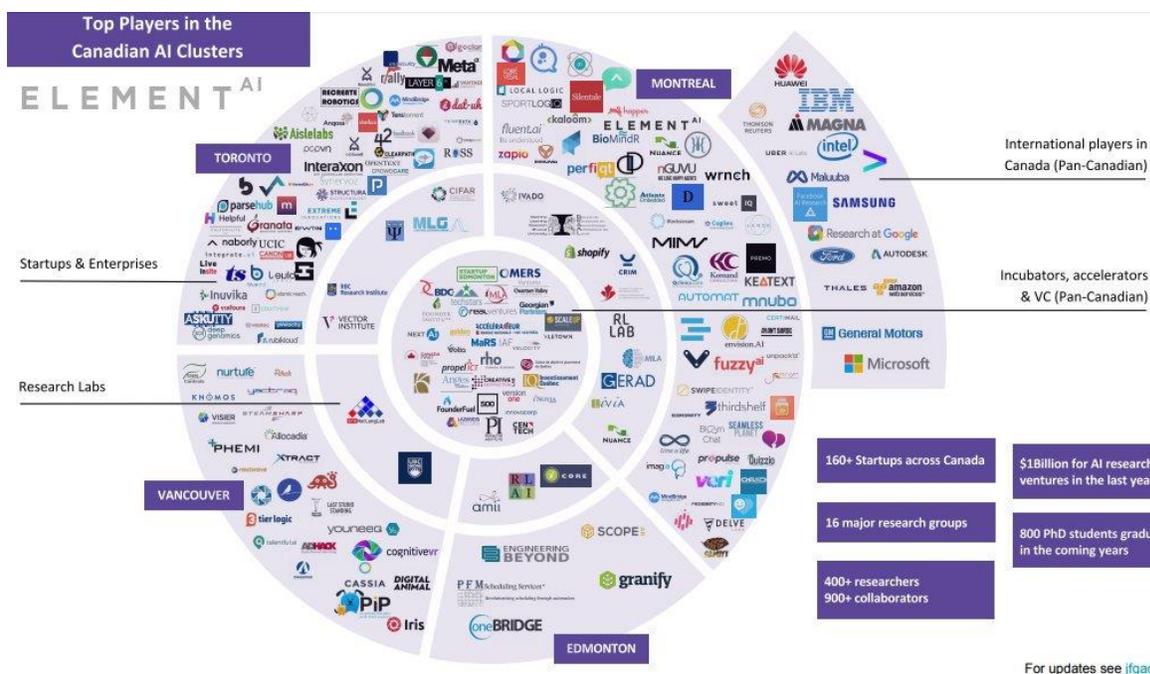


Figure 2.3 : Écosystème de l'IA en 2016, <https://twitter.com/sibos/status/875023887234453506>
origine jfgagne.ai, mais supprimé, car plus à jour

Dans la figure 2.3, on observe en 2016 un ensemble d'incubateurs et accélérateurs (le cercle au centre), de laboratoires de recherche (le deuxième cercle) et de startups et d'entreprises (le dernier cercle). Chacun de ces cercles est séparé par grande ville du Canada, respectivement Toronto, Montréal, Edmonton et Vancouver. Pour compléter, de grandes entreprises internationales viennent se greffer à l'écosystème du Canada, cela est représenté à droite de la figure. On aperçoit qu'en 2016, il y avait déjà un grand nombre de joueurs qui s'intéressaient à l'IA au Canada. De nombreuses entités se sont créées pour suivre l'émulation de l'IA et d'autres entités moins récentes se sont également adaptées pour intégrer l'écosystème de l'IA. On va pouvoir ensuite comprendre grâce à la figure 2.4 comment cet écosystème a évolué en 2018.

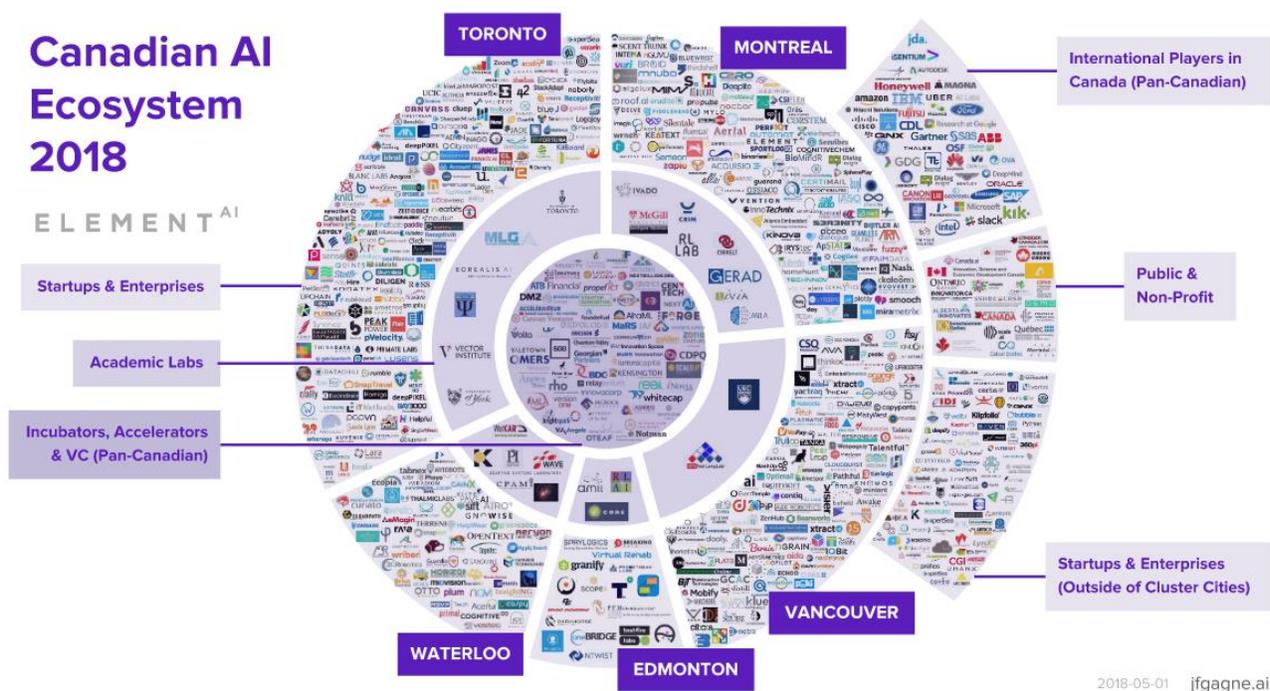


Figure 2.4 : Écosystème de l'IA en 2018 (Jfgagne.ai, Element AI)

On retrouve dans la figure 2.4 les différentes entités vues précédemment dans la figure 2.3, soit les incubateurs et accélérateurs au centre, les laboratoires académiques dans le deuxième cercle et les startups et entreprises dans le dernier cercle. En plus des grandes entreprises internationales, représentées sur la droite, on a également les financements publics et les startups et entreprises situées en dehors des grandes villes représentées. En comparaison à 2016, Waterloo compte à présent parmi les grandes villes qui intègrent l'écosystème de l'IA.

De 2016 à 2018, il y a eu une augmentation des entités présentes dans l'écosystème de l'IA au Canada, notamment les financements publics. Ainsi l'élan porté pour l'IA a permis d'élargir l'écosystème de l'IA et de créer de nouveaux acteurs de cet écosystème depuis 2016.

On peut noter que sur la figure 2.4 l'écosystème de Toronto semble plus grand que celui de Montréal. Ainsi, en comparaison de Montréal et de la région du Québec qui a un fort potentiel autour de l'IA, d'autres grandes villes du Canada ont également de très fortes capacités.

Pour conclure, ces figures ont montré qu'un écosystème de l'IA a émergé au Canada en 2016 et que cet écosystème connaît une grande croissance comme l'indique la figure 2.4.

Pour compléter cette analyse et ces notions sur l'IA, les études de Ezratty (Ezratty, 2016, 2017) reprennent bien le concept de l'IA et son contexte de développement d'un point de vue mondial.

Pour continuer, on va pouvoir revenir sur le contexte de l'écosystème de recherche et également sur les intermédiaires de recherches présents dans cet écosystème avant de passer à la revue de littérature.

2.2 L'écosystème de recherche universitaire et ses intermédiaires de recherche

L'écosystème de l'IA est relativement vaste et touche de nombreux domaines différents au Québec et au Canada. Ainsi au cours de cette étude, on va se concentrer sur l'écosystème de recherche universitaire présent au Québec.

Si on regarde la figure 2.5 qui représente l'écosystème collaboratif de l'IA au Québec en 2019, l'écosystème étudié est composé seulement des «centres de recherches», des différentes universités présentes au Québec ainsi que des entreprises qui permettent aux «centres de recherches» de faire des projets de recherche. Cette collaboration d'acteurs spécifiques confirme l'appellation écosystème de recherche.

Précisons qu'au cours de cette étude, même si de nombreuses startups font également de la recherche, l'étude ne sera focalisée que sur l'écosystème de la recherche universitaire.

On va nommer ces centres de recherches, des «intermédiaires de recherches», car dans le cadre de cette étude tous ne sont pas des centres de recherches à proprement parler. Par exemple, Tech3Lab est un laboratoire de recherche et le CIRRELT est un centre interuniversitaire. Donc l'appellation «centres de recherche» ne convient pas. L'appellation «intermédiaires de recherche» correspond à des entités qui font la liaison entre les universités et les entreprises, ce que font les «centres de recherches» à priori dans l'écosystème collaboratif de l'IA. Pour conclure, ces entités seront nommées «intermédiaires de recherche» tout au long de cette étude et à la suite de l'analyse on pourra confirmer si cette appellation leur convient.

ÉCOSYSTÈME COLLABORATIF EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE



Figure 2.5 : Écosystème collaboratif de l'IA au Québec en 2019 (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019)

Plusieurs constats et questions ressortent de cette figure et que l'on va essayer d'étudier au cours de cette analyse et de ce mémoire. Est-ce que cet écosystème de recherche de l'IA est vraiment un écosystème ? Est-ce qu'il est collaboratif ? Est-ce que l'appellation intermédiaire de recherche convient aux entités présentes dans cet écosystème et qui ont été choisis comme intermédiaires de recherche ?

2.3 Conclusion du contexte

Une préanalyse de l'écosystème de recherche de l'IA qui est en train de se mettre en place à Montréal et au Québec a été réalisée afin de mieux comprendre le contexte de cette étude.

Pour conclure, on a constaté que la création d'un écosystème de recherche collaboratif au Québec autour de l'IA est en cours. À la suite de la présentation de ce contexte, on a pu faire quelques constats, mais des questions restent en suspens. Par exemple, le terme écosystème, correspond-il bien à l'appellation « écosystème de recherche de l'IA » ? La question de la collaboration de ce système est aussi en question, ainsi que le terme « intermédiaires de recherches » qui a été posé pour les différentes entités de recherche présente dans cet écosystème.

Par la suite, on va pouvoir essayer de répondre à ces questions.

Pour approfondir ce contexte, une revue de littératures va être faite, permettant de compléter les connaissances et les notions sur les différents thèmes évoqués précédemment.

CHAPITRE 3 REVUE DE LITTÉRATURE

Le troisième chapitre de ce mémoire est consacré à établir la revue de littérature sur la collaboration et les intermédiaires de recherche.

On a ainsi, au travers de la littérature, différentes formes de collaboration qui ressortent. On va apercevoir à travers cette revue, quelles sont les différentes formes de collaborations et quelles sont leurs spécificités.

Tout d'abord, on parle de la collaboration entreprise-entreprise. Puis on voit ce qu'est la collaboration université-entreprise. Ensuite, on étudie les intermédiaires de recherche dans la continuité de la collaboration université-entreprise. Pour terminer, on discute des écosystèmes qui sont une autre méthode de collaboration.

3.1 La collaboration entreprise-entreprise

Une des formes que peut prendre la collaboration est celle de la collaboration entreprise-entreprise. C'est-à-dire que deux ou plusieurs entreprises vont collaborer sur un sujet précis en des termes précis. La collaboration entreprise actuellement peut prendre plusieurs formes, celle d'alliances stratégiques, celle de partenariats ou encore celle de grappes.

On s'est inspiré de la revue de littérature de Dauphin-Pierre (Dauphin-Pierre, 2018) pour réaliser cette description des alliances stratégiques et des partenariats.

3.1.1 Les alliances stratégiques

Selon Walt (Walt, 1987), une alliance est une relation formelle ou informelle de coopération en matière de sécurité entre deux ou plusieurs États souverains. Cette définition suppose un certain niveau d'engagement et un échange d'avantages pour les deux parties. La différence avec une alliance stratégique est le fait qu'elles concernent deux firmes ou plus. Si l'on reprend ce que disent Mohr et Spekman (1994), une alliance stratégique est : « une relation stratégique entre des firmes

indépendantes qui partagent des objectifs compatibles cherche des avantages mutuels et qui se reconnaissent un niveau élevé de dépendance mutuelle ».

Selon Powell, Bleeke et Ernst (Powell, 1987 ; Bleeke et Ernst, 1991), les entreprises réalisent des alliances avec des partenaires pour de nombreuses raisons, par exemple : obtenir des économies d'échelles ou partager les risques ou les incertitudes à travers les partenaires ; obtenir des avantages compétitifs sur le marché ; obtenir un accès, ou pour internaliser de nouvelles technologies et de nouvelles connaissances qui se trouvent à l'extérieur de la firme.

Cependant, ces stratégies peuvent avoir des risques. Des entreprises peuvent avoir des compétences qui disparaissent, car elles sont finalement réalisées par les partenaires de l'alliance. Il se peut aussi que les deux entreprises de l'alliance se nuisent entre elles-mêmes, car elles réalisent des courses à l'apprentissage. Ainsi les firmes doivent bien identifier à travers cette alliance la limite entre l'apprentissage et la protection selon Kale et al. (2000).

Une des solutions, afin de se protéger de ses comportements qu'il peut y avoir avec les partenaires, est de créer un lien de confiance avec eux, selon Gulati (1995). Cela devrait réduire, voir supprimer ses comportements opportunistes. Ainsi selon Kale et al. (2000), grâce à un vrai lien de confiance et une bonne communication sur la gestion des conflits, l'apprentissage serait amélioré et les comportements opportunistes auront tendance à disparaître. Ceci permettra finalement de protéger la propriété intellectuelle des entreprises de l'alliance.

Cependant, la création et la gestion d'alliances ne sont pas simples. Il faut tout d'abord avoir une bonne aptitude à apprendre de cette expérience selon Kale et Singh (1999) et cela dépendrait aussi du nombre d'alliances qui ont été réalisées auparavant selon Anand et Khanna (2000). Selon la littérature, de nombreuses autres difficultés reviennent, comme la capacité d'absorption (Cohen et Levinthal, 1990), réussir à créer des mécanismes de partage des connaissances et d'apprentissage (Dyer et Singh, 1998) ou encore à trouver le ou les bons partenaires qui sauront compléter les besoins de l'entreprise qui cherche à créer une alliance (Reuer, 1999). Pour conclure, les capacités des partenaires doivent être complémentaires et compatibles entre les partenaires de l'alliance si l'on veut pouvoir en retirer des bénéfices (Harrigan, 1998 et Tucchi, 1996).

3.1.2 Les partenariats

Selon Mohr (2010) il existe deux types de partenariat : les partenariats verticaux et les partenariats horizontaux. Les partenariats verticaux sont des collaborations entre différents acteurs de la chaîne de production. Ces partenariats peuvent se faire soit avec les fournisseurs ou avec les clients. Quant aux partenariats horizontaux, ils font référence à des phénomènes comme les coopérations technologiques qui ont pour but de partager des connaissances scientifiques ou encore de développer de nouvelles technologies en commun. Finalement, il y a les alliances stratégiques qui sont des ententes interfirmes, comme on a vu précédemment, afin de produire un nouveau produit ou de réaliser des projets en commun. Ainsi on peut conclure que les partenariats horizontaux se développent principalement dans un contexte de complémentarité.

Cependant Anique Un et al. (2010) constatent que les performances pour les firmes ne sont pas toutes les mêmes avec ces différents types de collaboration. Celles avec les universités et les fournisseurs seraient celles avec le meilleur potentiel. Les collaborations avec les fournisseurs seraient les meilleures en termes de gains à court et long terme. Les collaborations avec les universités se situeraient juste derrière. Cependant, ces collaborations offriraient un avantage moins important sur le plan des innovations de produits. L'apport de la collaboration avec les consommateurs est également négligeable sur les innovations de produits.

Pour conclure, les innovations entre les firmes auraient un effet négatif sur l'innovation de produit. Le manque d'intérêt de partager des connaissances entre les entreprises serait la principale cause de cet effet négatif sur l'innovation produit.

3.1.3 Les grappes

Dans cette partie sont vus les grappes qui est une forme de collaboration entreprise-entreprise. Pour commencer cette sous-partie, on va reprendre une définition de Porter, reprise dans le mémoire de Geneviève Dansereau (Geneviève Dansereau », 2018,) :

« Les grappes sont des concentrations géographiques d'entreprises et d'institutions interconnectées dans un domaine particulier. La grappe englobe un éventail d'industries liées et d'autres entités importantes pour la

concurrence. Il s'agit, par exemple, des fournisseurs d'intrants spécialisés comme les composants, les machines et les services, et des fournisseurs d'infrastructures spécialisées. La grappe s'étend aussi souvent en aval vers les canaux et les clients et latéralement vers les fabricants de produits complémentaires et vers les entreprises d'industries liées par des compétences, des technologies ou des intrants communs. Enfin, de nombreux regroupements comprennent des institutions gouvernementales et autres - comme des universités, des organismes de normalisation, des groupes de réflexion, des fournisseurs de formation professionnelle et des associations professionnelles qui offrent une formation spécialisée, de l'éducation, de l'information, de la recherche et du soutien technique (Porter, 1998) (Traduction libre) »

Une particularité de la grappe est que l'ensemble des parties prenantes deviennent complémentaires ce qui sous-entend que la performance générale d'un acteur affecte celle des autres. Chaque partie prenante se doit ainsi de soutenir la performance d'autrui afin de permettre à l'entièreté de la grappe industrielle de préserver un niveau de compétitivité élevé sans quoi elle s'estompera (Porter, 1990, 1998).

Les grappes, dans le cas où elles intègrent des universités et des chercheurs, sont considérées comme un des types d'intermédiaires de recherche.

3.1.4 Les entreprises et les startups

Avec la mise en place et la création d'écosystèmes, des entreprises rejoignent l'écosystème ou des startups se créent, pour aider et pour participer au développement de cet écosystème.

Des entreprises font du transfert technologique afin de faire adopter les nouvelles technologies chez les entreprises existantes. Cela reprend le principe de la consultation, mais ces entreprises ne s'occupent plus seulement de réaliser des projets pour les entreprises, mais de mettre en place une technologie en leur sein. Cela passe par une analyse de l'existant et le développement d'une solution qui conviendrait le mieux à l'entreprise aidée. Ce concept est d'une certaine manière de la

consultation, car on fait appel à une entreprise extérieure, mais ce n'est pas seulement pour un manque d'experts, mais aussi pour un gain en matière de coûts et de temps.

Des startups, qui sont des petites entreprises qui se sont créées il y a peu de temps, aident également au développement de l'écosystème, en développant de nouveaux processus ou des manières de faire dans le domaine de l'écosystème.

On va désormais passer à la revue de littérature sur la collaboration université-entreprise.

3.2 La collaboration université-entreprise

La recherche est généralement faite par les universités, puis transmises aux entreprises afin d'être implémentée dans leur fonctionnement (Bozeman et al., 2013) or ce modèle est souvent long et n'est pas toujours optimal notamment dû à la différence de langage entre ces deux entités, mais aussi à des objectifs pas toujours compatibles à court terme (Rajalo & Vadi, 2017).

Ainsi des organisations qui facilitent le transfert de connaissances entre les universités et les entreprises ont vu le jour. Elles avaient pour rôle de combler ces problèmes de langages, d'orienter la recherche de manière à ce qu'elle réponde d'une meilleure manière au besoin des entreprises ou encore d'aider au financement de la recherche. C'est ce que l'on caractérise comme collaboration université-entreprise.

Les auteurs suivants reviennent sur plusieurs aspects de la collaboration université-entreprise.

Villani et al (E. Villani et al., 2017) montrent comment des intermédiaires de recherche facilitent la collaboration université-entreprise. Un des points les plus importants à retenir de l'article sur les intermédiaires de recherche est qu'elles font en sorte qu'il y ait plus de proximité entre les universités et les entreprises, que ce soit d'une manière physique, que ce soit sur les grands domaines sur lesquels ils travaillent ou encore les connaissances échangées bilatéralement entre les deux entités. Toujours selon ces auteurs, l'organisation de la collaboration entre les universités et les entreprises a du mal à se mettre en place. Ainsi, la création d'une entité qui est dédié à travailler sur cette proximité devrait permettre de rendre cette collaboration plus optimale.

La collaboration en général selon les principes de l'innovation ouverte peut avoir trois formes (Dauphin-Pierre, 2018). Une première forme de collaboration est le fait de financer des

innovations. Une autre est le fait d'aider à générer les innovations. Une dernière forme d'innovation est le fait de commercialiser les innovations.

Dans les articles suivants, les auteurs reviennent sur la collaboration université-entreprise et sur différentes manières de l'améliorer, où comment il faudrait l'orienter pour l'optimiser.

Huang et Chen (Huang & Chen, 2017) insistent sur le fait d'avoir des universités plus proactives et qu'elles cherchent beaucoup plus à faire de l'innovation académique. Il faut selon eux augmenter les interactions entre les universités et les entreprises.

Ivascu, Cirjaliu et Draghici (Ivascu et al., 2016) présentent eux un modèle d'innovation ouverte qui serait adapté à la collaboration université-entreprise. Ils citent plusieurs points importants et montrent leur modèle qui optimiserait cette collaboration et permettrait aux entreprises de plus se développer sur ce point. Le problème de mettre un modèle d'innovation ouverte est que les universités sont généralement lentes à se modifier ou à changer. Si l'on mettait ce modèle en place, il faudrait quelques années avant qu'il soit vraiment efficace.

Polycarpou, Andreou, Laxer et Kurkovsky (Polycarpou, Andreou, Laxer, & Kurkovsky, 2017) donnent leur avis sur ce que devraient faire les universités pour améliorer cette collaboration université-entreprise. Chacun des co-auteurs a exprimé son propre avis dans une partie sur la collaboration université entreprise, ainsi on va prendre l'avis de chacun des auteurs à part.

Polycarpou de son côté cite que les universités doivent procéder à des changements importants voir disruptifs, et cela à tout niveau. En particulier au niveau du leadership des universités. À court terme, les universités doivent chercher à plus se concentrer sur ce qui leur permettra de vraiment faire une différence et se démarquer.

De son côté, Andreou met avant le fait de proposer des stages de très bonne qualité aux étudiants et apportant vraiment une plus-value que cela soit aux entreprises ou aux universités, et cela grâce au centre InSPIRE, qui a établi une culture innovatrice de partenariats entre les universités et les entreprises.

Quant à lui, Laxer met en avant le fait d'avoir une approche interdisciplinaire en combinant la science, la technologie et le business. Ceci permettrait de vraiment améliorer la relation entre les universités et les entreprises, malgré que cela soit assez difficile à mettre en place. En effet, en adaptant selon les besoins, les formations des étudiants, cela pourraient vraiment répondre au

besoin des marchés en temps voulu. L'ensemble de ce procédé permettrait d'avoir un meilleur engagement pour la collaboration université-entreprise et ainsi d'améliorer cette collaboration.

Pour terminer cet article, Kurkovsky recommande d'inclure des membres de l'industrie dans le conseil d'administration des universités qui permet de faire valider l'ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology), ce qui n'est actuellement pas le cas. Cela permettrait d'inclure les entreprises dans l'évolution des universités et donc d'optimiser pour améliorer la collaboration.

Wirsih et al (Wirsih, Kock, Strumann, & Schultz, 2016) parlent dans leur article de l'engagement des entreprises dans la collaboration entre universités et entreprises. Plus les entreprises s'engagent dans cette collaboration, plus les entreprises ont accès à des connaissances externes et des ressources supplémentaires. À travers leur article, cet engagement est remis en question pour savoir si vraiment il y a des effets positifs. À la suite de l'analyse quantitative, les auteurs viennent à la conclusion qu'en augmentant les nouveautés technologiques, cela crée un important bénéfice pour la collaboration université-entreprise. Cette augmentation de nouveautés vient à travers une plus grande collaboration donc ils en concluent que l'engagement a en effet un impact positif important sur la collaboration université-entreprise. Cependant, un point important que font remarquer les auteurs est que la collaboration université-entreprise ne mène pas forcément à une publication d'article. Ainsi cela peut nuire à l'engagement par exemple des universités.

Ainsi, après avoir vu ce qu'est la collaboration université-entreprise et comment elle peut être améliorée, des exemples de collaboration université-entreprise sont vus dans les sous-parties suivantes.

3.2.1 Les centres de recherche

Un centre de recherche est un établissement, laboratoire ou organisme de recherche et d'enseignement spécialisé dans les domaines de la recherche scientifique, de la recherche historique ou dans le domaine de la sociologie et des sciences sociales. Les centres de recherches font généralement avancer la recherche fondamentale via des liens avec les universités et les entreprises.

Ces centres permettent de générer de l'innovation et également d'en financer donc, si l'on reprend les différentes formes de l'innovation ouverte vues auparavant, ces centres en regroupent deux formes.

Lind, Styhre et Aaboen (Lind, Styhre, & Aaboen, 2013) reprennent ces notions précédemment évoquées dans leur article. En particulier, le fait qu'un « centre de recherche coopératif est une organisation qui a pour mission explicite de promouvoir directement ou indirectement, la collaboration cross sectoriel, le transfert de connaissance et de technologie et ultimement l'innovation » (Traduction libre). Un autre point important mis en avant par ces auteurs est le fait d'utiliser la vitesse du transfert de connaissance ainsi que leur exploitation et le taux de développement des connaissances comme facteur de succès pour ces centres de recherches, qui varie selon la relation entre les universités partenaires et les centres de recherches. Pour conclure leur article, les auteurs en viennent au fait que les centres de recherches sont nécessaires pour aider cette collaboration entre les universités et les entreprises. Ils restent à voir ensuite à quel point ils s'engagent dans cette collaboration pour que cette relation fonctionne vraiment.

Dans le cas de l'étude, les centres de recherche seront un type d'intermédiaires de recherche.

3.2.2 Les centres interuniversitaires

Un centre interuniversitaire est un centre qui fait des liens entre les universités et les entreprises afin de favoriser l'innovation. Ils sont en général financés par le gouvernement sous différentes manières et réalisent des projets ou des études soit pour le gouvernement ou pour des entreprises en lien avec les universités. Les centres interuniversitaires sont généralement plus spécialisés en recherche appliquée.

Ces centres permettent également de générer de l'innovation et d'en financer donc, si l'on reprend les différentes formes de l'innovation ouverte vues auparavant, ces centres regroupent ces deux formes de l'innovation ouverte.

Dans le cas l'étude, les centres interuniversitaires sont un des types d'intermédiaires de recherche.

3.2.3 Les centres de transferts technologiques

Par rapport aux centres de recherches, les centres de transferts technologiques se distinguent par le fait que leur but est de commercialiser de l'innovation. Ils vont aider des projets qui se créent dans des universités à se concrétiser en brevets, en licences ou encore en la création d'entreprises dérivées.

Ces centres permettent donc de commercialiser et financer de l'innovation. Ainsi si l'on reprend les formes de l'innovation ouverte, ces centres regroupent ces deux formes de l'innovation ouverte.

Les centres de transferts technologiques cherchent à faire du transfert technologique, mais ne sont pas toujours pertinents comme le montre Hülsbeck et al. dans leur article (Hülsbeck, Lehmann, & Starnecker, 2013), principalement pour une question de performance et d'organisations des centres, mais aussi à cause du fait que les universités ne font pas assez preuve d'entrepreneuriat académique.

Milot et al. (Milot, Conseil de la science et de la technologie (Québec), & Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie, 2005) font une description et des explications beaucoup plus précises dans leur revue de littérature sur ce que sont les centres de transferts technologiques et leurs limites.

Dans le cas de cette étude, les centres de transferts technologiques ne sont pas un des types d'intermédiaires de recherche.

3.2.4 Les incubateurs universitaires

Les incubateurs universitaires se distinguent des centres de recherches, car ils ont pour mission d'accompagner les startups dans les universités, cependant ils se distinguent des centres de transferts technologiques, car ils ont pour mission d'assurer la faisabilité du projet et non de garantir un succès commercial (Berger-Douce & de Conférences, s. d.), là où un centre de transfert technologique serait perdant, car généralement ceux-ci s'impliquent financièrement dans une startup qu'ils aident afin de pouvoir espérer plus tard des retombées. Berger-Douce modère ses propos, car il s'appuie sur un seul cas concret dans son étude exploratoire pour arriver à cette conclusion.

Les incubateurs universitaires ont un rôle important dans le développement des startups, car s'assurer de la faisabilité d'un projet via par exemple la rédaction d'un bon modèle d'affaires est une chose essentielle pour toute entreprise.

C'est pourquoi si l'on reprend les différentes formes de l'innovation ouverte, les incubateurs universitaires permettent de financer et de commercialiser des innovations, comme les centres de transferts technologiques.

Dans le cas de l'étude, les incubateurs universitaires ne sont pas un des types d'intermédiaires de recherche.

3.3 Les intermédiaires de recherche

Durant l'étude de la littérature, différentes entités sont apparues, prônant la collaboration, que cela soit université-entreprise ou entreprise-entreprise. Ankrah et al. (Ankrah & AL-Tabbaa, 2015) ont fait une revue de littérature sur toute la collaboration université-entreprise. À travers leur article, ils mettent en avant des facteurs de succès pour la collaboration université-entreprise, et tous les comportements nécessaires afin d'optimiser la collaboration université-entreprise. Cependant, ils se rendent compte que cela peut être difficile pour une université ou une entreprise d'intégrer toutes ces notions et d'améliorer cette collaboration université-entreprise.

Perkmann et al. (Perkmann et al., 2013) reviennent sur le fait que c'est difficile pour une université de faire en sorte d'être adapté pour faire de la collaboration université-entreprise, mais que les entreprises doivent également se former et s'adapter afin de favoriser cette collaboration. La collaboration université-entreprise représente des challenges et des objectifs différents qu'ils ont l'habitude d'avoir avec leurs clients ou leurs fournisseurs.

Ainsi des organisations intermédiaires qui font le lien entre les universités et les entreprises et qui aident à faciliter cette collaboration université-entreprise, sont apparues comme le montrent Villani et al. (E. Villani et al., 2017). Dans le cadre de l'étude, on va appeler ces organisations intermédiaires, des intermédiaires de recherche. Villani et al (E. Villani et al., 2017), Dauphin Pierre (Dauphin-Pierre, 2018) et Wright et al. (Wright, Clarysse, Lockett, & Knockaert, 2008) reviennent sur le rôle, la nécessité et le mode de fonctionnement de ces intermédiaires de recherche. Tout d'abord ces intermédiaires sont nécessaires pour faciliter la collaboration université-

entreprise, mais ces intermédiaires ne fonctionnent pas de la même manière qu'une collaboration université-entreprise classique. Ils font en sorte d'optimiser la collaboration en se concentrant sur des aspects précis, que la collaboration université-entreprise devrait suivre et pas l'ensemble des points cités dans plusieurs revues de littératures.

Différents types d'intermédiaires existent selon les articles précédents, mais dans le cadre de l'étude, on va considérer comme intermédiaire de recherche, les centres de recherches, les centres interuniversitaires et les grappes, car ils sont plus affiliés à la recherche universitaire.

D'autres intermédiaires existent comme en parlent Wright et al. (Wright et al., 2008), par exemple, les centres de transferts technologiques, mais ces intermédiaires sont plus associés à la commercialisation de la recherche dans les entreprises donc elles ne sont pas pertinentes dans le cadre de cette étude.

Si l'on reprend ce qui a été vu auparavant, on peut arriver à différents facteurs de succès pour les intermédiaires de recherche.

Des points importants récurant sont l'importance de la collaboration dans cet écosystème, par exemple, l'engagement dans la collaboration université-entreprise (Wirsih et al., 2016). Le fait qu'une université adopte une démarche plus dynamique pour le développement de nouvelles technologies (Huang & Chen, 2017). D'autres facteurs de succès sont par exemple la quantité de connaissance et savoir transférés via cette collaboration (Lind et al., 2013). Un autre facteur de succès est le fait qu'il se crée un vrai lien de confiance dans les collaborations qui se créent dans l'écosystème et pas seulement dans la collaboration université-entreprise (Gulati, 1995 ; Kale et al. 2000). D'autres facteurs de succès peuvent par exemple être des publications pour les universités faisant partie de l'écosystème ou le fait que les intermédiaires de recherche soient utilisés pour réaliser des projets pour des entreprises ou encore le fait que des étudiants soient recrutés à la suite d'une collaboration entre universités et entreprises dans l'écosystème. Un dernier succès serait le fait que les entreprises ne reviennent pas vers les intermédiaires de recherche pour réaliser un nouveau projet, car le projet en question a répondu à leurs besoins actuels et les a suffisamment formés sur le domaine sur lequel se base l'écosystème.

Des barrières au succès sont par exemple le fait que la collaboration dans l'écosystème n'aide pas les entreprises à atteindre les objectifs qui lui sont vraiment nécessaires. Elles peuvent par exemple aider à créer de nouveaux produits en IA, mais si l'entreprise n'a pas déjà une feuille de route ou

un plan stratégique en IA alors cela ne sera jamais pertinent. Une autre barrière à cette collaboration est le fait que les entreprises ne se servent pas assez de la recherche qui est faite dans les universités. Une dernière barrière au succès est l'acceptabilité de la technologie. Les universités peuvent faire autant de recherche qu'elles désirent il n'y aura pas vraiment de collaboration avec les entreprises dans l'écosystème si elles ne croient pas en la technologie sur laquelle les recherches sont faites.

La liste des facteurs de succès et des barrières au succès d'un écosystème de recherche n'est pas totalement complète cependant ces facteurs et ces barrières de succès vont permettre d'avoir une base pour l'analyse que l'on va effectuer.

Par la suite, on va voir ce que sont les écosystèmes, et en quoi elles sont une nouvelle manière de collaboration.

3.4 Les écosystèmes

Ben Letaifa et Rabeau (Ben Letaifa & Rabeau, 2012) reviennent dans leur article sur la définition d'écosystème. La notion d'écosystème a été introduite pour la première fois par James Moore, (1996, p. 26), qui définit l'écosystème d'affaires comme : « la communauté économique supportée par une base d'organisations et d'individus en interaction, les organismes composant le monde d'affaires. Cette communauté économique offre des produits et services de valeur aux clients, qui sont eux-mêmes membres de l'écosystème. Les membres incluent les fournisseurs, les producteurs, les concurrents et autres parties prenantes. Leurs capacités et rôles co-évoluent à travers le temps, et ont tendance à s'aligner avec les directions choisies par une ou plusieurs compagnies centrales. Les compagnies exerçant un rôle de leader peuvent changer à travers le temps, mais la fonction de leader dans l'écosystème est valorisée dans la communauté, car elle permet à ses membres d'avancer selon des visions communes, d'aligner les investissements et de bénéficier de supports mutuels. »

La figure 3.1, reprise de l'article de Ben Letaifa et Rabeau (Ben Letaifa & Rabeau, 2012), représente cette notion d'écosystème.

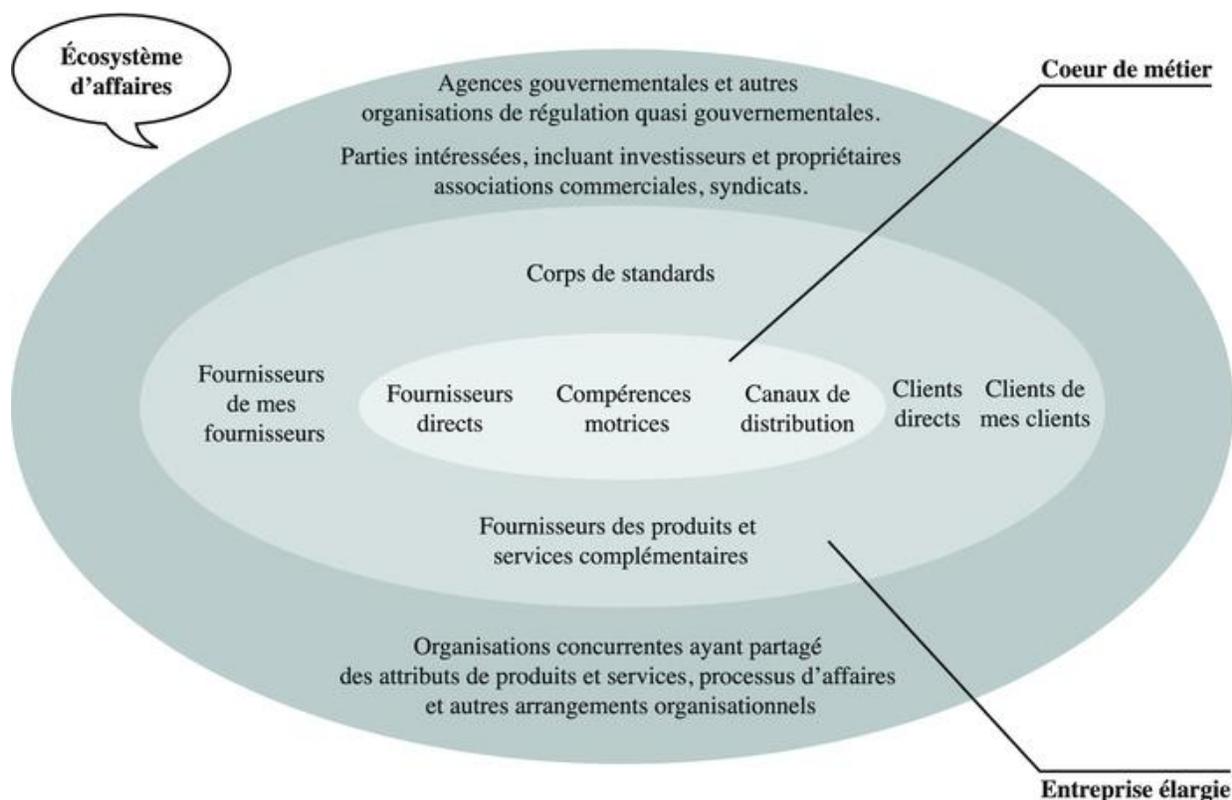


Figure 3.1 : L'écosystème d'affaires adapté de Moore (Ben Letaifa & Rabeau, 2012)

On peut voir, à travers cette figure, qu'il y a trois niveaux d'interactions au sein d'un écosystème : un premier niveau cœur de métier avec les fournisseurs directs, les compétences motrices et les canaux de distribution. Un deuxième niveau entreprise élargie avec les fournisseurs des fournisseurs, le corps de standards les clients directs, les clients de mes clients et les fournisseurs des produits et services complémentaires. Pour terminer un niveau écosystème avec tous les acteurs périphériques comme les agences gouvernementales, les parties intéressées et les organisations concurrentes.

Ainsi Ben Letaifa et Rabeau (Ben Letaifa & Rabeau, 2012) distinguent les écosystèmes des réseaux complexes. En effet, les réseaux sont plus un ensemble de nœuds, pouvant être des personnes ou des organisations avec les relations et les interactions qui occurred entre ces entités. Alors que les écosystèmes se distinguent par l'inclusion d'acteurs périphériques, une organisation non territoriale et enfin l'utilisation de nouvelles pratiques écosystémiques soient plus dynamiques, ouvertes et coopératives.

Dedehayir, Mäkinen, et Roland Ortt (Dedehayir, Mäkinen, & Roland Ortt, 2018) reviennent sur les écosystèmes en émergence. En effet, l'émergence est un sujet important à étudier parce que cette

phase très précoce de l'évolution de l'écosystème est susceptible de déterminer comment il sera façonné et adapté par la suite pour offrir une valeur intégrée à ses produits et services. Il faut ainsi faire en sorte de bien définir les rôles de leadership, les rôles de création directe de valeur, les rôles de soutien à la création de valeur et les rôles écosystémiques entrepreneuriaux.

Le point le plus important qu'ils mettent en avant dans leur article est la nécessité d'avoir un leader de l'écosystème pour diriger toute cette émergence, pour la gouvernance de l'écosystème, l'établissement de partenariats et la distribution de valeur.

Clarysse, Wright, Bruneel, et Mahajan (Clarysse, Wright, Bruneel, & Mahajan, 2014) reviennent sur les facteurs de succès d'un écosystème. Selon eux, il faut qu'il y ait une grande diversité d'organisations dans l'écosystème et que certaines de ces organisations soient des joueuses clés et aient de l'importance dans l'écosystème.

Les notions sur les écosystèmes sont vastes et pour compléter cette revue de littérature on peut aller voir (Moore, 2006; Oh, Phillips, Park, & Lee, 2016; Tsujimoto, Kajikawa, Tomita, & Matsumoto, 2018).

On va désormais voir les propositions de recherches qui découlent de cette revue de littérature et la question de recherche de cette étude.

3.5 Question et propositions de recherche

À la suite de cette revue de littérature, on arrive à la problématique suivante :

« Est-ce que l'écosystème en émergence de l'intelligence artificielle, avec de nombreux intermédiaires de recherche, est propice à la collaboration et au développement de l'intelligence artificielle ? »

Pour aider à répondre à cette problématique, deux propositions ont été déterminées pour permettre d'y répondre.

C'est pourquoi à travers ce mémoire on souhaite voir si cet écosystème de l'IA est collaboratif et voir s'il y a des collaborations entre les différentes entités d'un écosystème de recherche. Voici donc la première proposition :

Proposition 1 : Les intermédiaires de recherche présents dans l'écosystème d'innovation sont des nœuds de collaborations entre les universités et les entreprises.

Comme le montre le contexte du mémoire, l'IA est en plein développement au Québec. Ainsi les entreprises dans cette création souhaitent rejoindre l'écosystème de l'IA, car il y a de nombreux potentiels pour améliorer leur structure et leur processus interne, mais également leur rayonnement dans leur propre écosystème. Cependant, il n'est pas si simple d'adopter l'IA dans une entreprise, car il faut des fonds suffisants et également des connaissances suffisantes afin de pouvoir adapter cette adoption aux besoins de l'entreprise. Pour répondre à ce besoin, des intermédiaires de recherche se sont créés avec pour but d'aider la collaboration université-entreprise. Ainsi on s'attend à ce que les intermédiaires aient un apport pour les entreprises et un apport pour les universités et les chercheurs.

Il en découle donc cette deuxième proposition :

Proposition 2 : La présence d'intermédiaires de recherche dans un écosystème d'innovation a une valeur ajoutée pour les entreprises et une valeur ajoutée pour les chercheurs et les universités.

CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE

Le quatrième chapitre sera consacré à montrer la méthodologie suivie lors de ce mémoire.

Trois parties seront présentées dans cette méthodologie. Tout d'abord, on va voir comment créer une analyse réseau de l'écosystème collaboratif et les différentes étapes qui ont été nécessaires pour réaliser cette analyse. La deuxième partie a pour but de montrer comment se fait l'analyse sur l'écosystème des matériaux avancés et comment la volonté de comparer l'écosystème de l'IA à celui des matériaux avancés est né. La dernière partie va présenter la méthodologie qui a été suivie pour créer une organisation de l'écosystème de l'IA. Pour créer ce modèle, on s'est appuyé sur des entrevues que l'on va analyser. Suite à cette analyse, des recommandations sont établies. C'est pourquoi dans un premier temps on va voir la méthodologie choisie, puis les thèmes retenus, le recrutement des participants et enfin tout ce qui est nécessaire pour le déroulement des entrevues et la création du modèle.

Pour la rédaction de la troisième partie de cette méthodologie, on s'est inspiré de la thèse de Stéphane Dauphin-Pierre (Dauphin-Pierre, 2018) qui a écrit sur la relation entre les intermédiaires de recherche et les PME. Sa manière de fonctionner est relativement semblable à celle que l'on a utilisée au cours du mémoire.

4.1 Analyse réseau de l'écosystème de l'IA au Québec pour montrer la collaboration et la présence d'intermédiaires de recherche spécialisés en IA

On va essayer de recréer l'écosystème de l'IA en cherchant à montrer les différentes collaborations qu'il y a entre plusieurs intermédiaires de recherche, les entreprises et les universités. Ainsi à travers cette partie, on va expliquer la démarche et comment on a réalisé cette analyse réseau.

4.1.1 Choix des intermédiaires de recherche

On a ainsi considéré comme intermédiaires de recherche, la plupart des centres de recherche et autres centres, spécialisés en IA, situés à Montréal et au Québec. La figure 2.5 représente une bonne proportion de ces intermédiaires de recherche, dans la partie centres de recherche.

Il en découle le tableau 4.1 des intermédiaires de recherche suivant :

Tableau 4.1 : Liste des intermédiaires de recherche choisis pour l'analyse réseau

| Intermédiaires de recherche | Types d'intermédiaires de recherche | Domaines de prédilection |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| CERC Data Science for Real Decision Making | Chaire de Recherche | Prise de décision grâce à la science des données |
| CIFAR | Centre de collaboration interdisciplinaire | Collaboration interdisciplinaire en intelligence artificielle |
| CIRRELT | Centre de recherche interuniversitaire | Réseau logistique et transport |
| CRDM_UL | Centre de recherche | Recherche sur les données massives |
| CRIM | Centre de recherche appliquée | Recherche appliquée en TI et en IA |
| CRVI | Centre de transfert technologique | Robotique et vision artificielle |
| GERAD | Centre de recherche interuniversitaire | Mathématique de la décision |
| LIVIA | Centre de recherche | Imagerie, vision et intelligence artificielle |

Tableau 4.1 : Liste des intermédiaires de recherche choisis pour l'analyse réseau (suite et fin)

| | | |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| IVADO | Centre de liaison entre les universités et les entreprises | Science des données et intelligence artificielle |
| McGill Center for Intelligent Machines | Centre de recherche | Recherche sur les systèmes intelligents |
| MILA | Centre de recherche fondamentale | Apprentissage profond et recherche opérationnelle |
| RLLAB | Laboratoire de recherche | Recherche sur l'apprentissage par renforcement et la linguistique informatique |
| TECH3LAB | Laboratoire de recherche | Expérience utilisateur |

Pour compléter la figure 2.5, on a cherché tous les partenaires et tous les liens de ces intermédiaires de recherche, des universités avec qui elles sont en liaisons et des entités avec des TRLs plus élevés. Pour réaliser ceci, on s'est principalement basé sur une analyse de données secondaires que l'on a trouvées sur le site internet des entités en question ou dans leurs rapports annuels. Étant des données secondaires et ayant fait une analyse sur des rapports annuels ou des sites internet, il est possible que toutes ces données ne soient pas totalement exactes ou à jour, cependant cela semblait dans l'ensemble correct et correspondant à l'analyse.

On a ainsi obtenu au total, en comptant les intermédiaires de recherche et tous leurs partenaires, 505 entités.

Avant de créer l'analyse réseau sur Nuance-R, on a organisé et fait un premier traitement des données sur Excel que l'on va voir dans la partie suivante.

4.1.2 Organisation des données sur Excel et organisation pour l'extraction pour la plateforme Nuance-R

Comme dit précédemment, on a récupéré toutes les données que l'on a trouvées et on les a énumérées sur une feuille Excel [Entité + Partenaires mémoire]. On a ainsi multiplié les centres de recherches en fonction du nombre de partenaires qu'ils avaient. Les centres de recherche ont été regroupés dans la colonne Entité et leurs partenaires dans la colonne Partenaire. Les centres ont été triés dans l'ordre alphabétique. On arrive au tableau Excel suivant.

Cette figure n'est qu'une sous-partie du tableau Excel en question.

| Entité | Partenaires |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| CERC Data Science For Real Decision Making | Adopt : a Kronos Division |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Bell Helicopter |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Bixi |
| CERC Data Science For Real Decision Making | CAE |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Chu Sainte-Justine |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Ericsson |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Erudite Science |
| CERC Data Science For Real Decision Making | ExPretio |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Fujitsu |
| CERC Data Science For Real Decision Making | GIRO |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Huawei |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Humanitas |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Hydro Québec |
| CERC Data Science For Real Decision Making | I perceptions |
| CERC Data Science For Real Decision Making | IBM |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Intact Insurance |
| CERC Data Science For Real Decision Making | jda. |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Kronos |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Predict Anticipate & Save |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Schneider Electric |
| CERC Data Science For Real Decision Making | Thales |
| CIFAR | amii |
| CIFAR | Canada |
| CIFAR | Mila |
| CIFAR | Vector Institute |
| Cirrelt | AMT |
| Cirrelt | CARGOM |

Figure 4.1 : Extrait du tableau Excel pour l'analyse Réseau

On a ainsi fait ceci pour l'ensemble des centres de recherche. L'énumération multiple des centres de recherche dans la colonne Entité est nécessaire, afin qu'ensuite, sur R, le logiciel comprenne bien la multiplicité des liens et que les entités ont plusieurs partenaires.

On a, par la suite, créé une autre feuille Excel énumérant toutes les entités présentes dans cette feuille Excel [Liste Entité + ID mémoire] et qui associait à chacune de ces entités un ID. Par exemple s01, s02, etc. Ces ID ne sont pas seulement des chiffres, mais des caractères, car ceci était nécessaire afin de pouvoir faire l'analyse réseau sur R ensuite. Pour cela, on a pris toutes les entités sur la feuille précédente et on les a mises sur la feuille en question en les regroupant dans une seule colonne. On a ensuite utilisé la fonction UNIQUE d'Excel afin de rassembler sur une colonne « Entité » toutes les entités précédentes et qu'il n'y ait qu'une seule répétition de ces entités afin de bien pouvoir leur attribuer un ID dans la colonne « ID ». Pour réaliser la colonne ID, on a simplement tapé un exemple d'entité soit s01, que l'on a ensuite glissé pour le reste des Entités. En plus de cela, on a ajouté une colonne « Weight » qui est le nombre de répétitions qu'il y a de l'entité dans l'ensemble que l'on a récolté. Pour réaliser cette colonne, on s'est servi de la fonction COUNTIF qui permettait de compter dans la colonne de l'ensemble des entités et partenaires le nombre de répétitions que comprend cette colonne de l'entité en question qu'on a choisi et énuméré dans la colonne « Entité ». Cette colonne aura une importance dans l'analyse réseau et la taille des nœuds. On voit en détail pourquoi dans la partie suivante.

Ainsi on arrive au tableau Excel suivant. Cette figure n'est qu'une petite partie de l'ensemble de la feuille Excel.

| ID | Entité | Weight | |
|-----|-------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------|
| s01 | 3DSemantix | 2 | 3DSemantix |
| s02 | 4 Point 0 | 1 | 4 Point 0 |
| s03 | aair | 1 | aair |
| s04 | adeptmind | 1 | adeptmind |
| s05 | Adopt : a Kronos Division | 2 | Adopt : a Kronos Division |
| s06 | ADRIQ | 1 | Adopt : a Kronos Division |
| s07 | Aéro Montréal | 1 | ADRIQ |
| s08 | agile DSS | 1 | Aéro Montréal |
| s09 | Ai OUTCOME | 1 | agile DSS |
| s10 | AIMS | 1 | Ai OUTCOME |
| s11 | Air Canada | 1 | AIMS |
| s12 | AIRUDI | 1 | Air Canada |
| s13 | AlayaCare | 1 | AIRUDI |
| s14 | algolix | 1 | AlayaCare |
| s15 | Alma Mater Studiorum Universita di Bologna | 1 | algolix |
| s16 | Amazon.com | 1 | Alma Mater Studiorum Universita di Bologna |
| s17 | amii | 3 | Amazon.com |
| s18 | AMT | 1 | amii |
| s19 | Apogée Canada | 1 | amii |
| s20 | ApSTAT | 1 | amii |

Figure 4.2 : Extrait du tableau Excel afin d'associer un ID à chacune des entités

Dans cette figure, on peut apercevoir la colonne en vert sur la droite regroupant tous les entités et partenaires sur une seule colonne. De plus, on a ainsi pu associer un ID à chacune des entités, que l'on a préalablement rangées dans un ordre alphabétique pour une meilleure compréhension. Comme on peut le voir 3DSemantix est associé à l'ID s01, de plus comme on peut voir dans la colonne de droite, 3DSemantix a deux répétitions, dans l'ensemble Entités + Partenaires de la feuille Excel [Entité + Partenaires mémoire] donc son Weight correspond à 2.

Pour terminer l'organisation Excel et pour faciliter l'analyse réseau sur R, on a ensuite transféré tous les ID en question des Entités et des partenaires dans la feuille [Entité + Partenaire mémoire]. Pour cela on a utilisé la fonction INDEX et MATCH de la manière suivante :

=INDEX(« Liste Entité + ID mémoire »! A : B ; MATCH(C2; »Liste Entité + ID mémoire' ! B : B ; 0) ; 1)

Cette fonction permet d'aller chercher dans la feuille [Liste Entité + ID mémoire], le nom de l'entité et son ID en question dans la colonne « Entité » et « ID » et de voir si cela correspond avec la case de la colonne « Entité » qui est le nom de l'Entité sur la feuille [Entité + Partenaires mémoire]. Quand cela correspondait, il associait ainsi dans la colonne « From » l'ID correspondant qu'il avait

trouvé dans la feuille [Liste Entité + ID mémoire]. On a procédé à la même démarche pour la colonne « To » qui correspond donc aux ID des Partenaires dans la colonne « Partenaires ».

On arrive au tableau Excel suivant. Cette figure n'est qu'une petite partie de l'ensemble de la feuille Excel.

| From | To | Entité | Partenaires |
|------|------|--------------------------------------------|---------------------------|
| s50 | s05 | CERC Data Science For Real Decision Making | Adopt : a Kronos Division |
| s50 | s32 | CERC Data Science For Real Decision Making | Bell Helicopter |
| s50 | s34 | CERC Data Science For Real Decision Making | Bixi |
| s50 | s41 | CERC Data Science For Real Decision Making | CAE |
| s50 | s54 | CERC Data Science For Real Decision Making | Chu Sainte-Justine |
| s50 | s96 | CERC Data Science For Real Decision Making | Ericsson |
| s50 | s97 | CERC Data Science For Real Decision Making | Erudite Science |
| s50 | s103 | CERC Data Science For Real Decision Making | ExPretio |
| s50 | s117 | CERC Data Science For Real Decision Making | Fujitsu |
| s50 | s119 | CERC Data Science For Real Decision Making | GIRO |
| s50 | s126 | CERC Data Science For Real Decision Making | Huawei |
| s50 | s127 | CERC Data Science For Real Decision Making | Humanitas |
| s50 | s128 | CERC Data Science For Real Decision Making | Hydro Québec |
| s50 | s129 | CERC Data Science For Real Decision Making | I perceptions |
| s50 | s130 | CERC Data Science For Real Decision Making | IBM |
| s50 | s137 | CERC Data Science For Real Decision Making | Intact Insurance |
| s50 | s143 | CERC Data Science For Real Decision Making | jda. |
| s50 | s148 | CERC Data Science For Real Decision Making | Kronos |
| s50 | s186 | CERC Data Science For Real Decision Making | Predict Anticipate & Save |
| s50 | s208 | CERC Data Science For Real Decision Making | Schneider Electric |
| s50 | s226 | CERC Data Science For Real Decision Making | Thales |
| s55 | s17 | CIFAR | amii |
| s55 | s43 | CIFAR | Canada |
| s55 | s164 | CIFAR | Mila |
| s55 | s258 | CIFAR | Vector Institute |
| s58 | s18 | Cirrelt | AMT |

Figure 4.3 : Extraits du tableau Excel regroupant les entités, leurs partenaires et les ID correspondants

On arrive donc au tableau Excel suivant. Dans la colonne « From », on a l'ensemble des ID correspondant à la colonne « Entité » et dans la colonne « To », on a l'ensemble des ID correspondant à la colonne Partenaires. Cette organisation même si elle ne paraît pas la plus logique sur le coup, en ne mettant pas la colonne « From » à côté de la colonne « Entité » et la colonne « To » à côté de la colonne « Partenaires », était nécessaire pour l'analyse réseau sur R afin que le logiciel puisse bien associer la colonne « From » vers la colonne « To ».

Ainsi se termine l'organisation de l'Excel pour procéder à l'analyse réseau.

4.1.3 Réalisation du code pour l'analyse réseau sur Nuance-R

L'analyse réseau s'est faite sur la plateforme Nuance-R créée par le professeur Thierry Warin. Nuance-R est une plateforme en ligne, qui permet de facilement coder en R, sans avoir à installer tous les packages et les outils nécessaires. Cela a permis de faciliter la réalisation de l'analyse réseau.

La réalisation du code pour l'analyse réseau se trouve dans l'annexe C.

4.2 Étude et analyse d'un autre écosystème pour aider à l'analyse de celui de l'IA

Suite à la préanalyse de l'écosystème de l'IA et à l'analyse réseau, on a remarqué que d'autres écosystèmes ont des liens avec l'écosystème de l'IA. Certains de ces écosystèmes sont plus matures et ont, ou ont eu du succès. Ainsi cette étude, étant exploratoire, il est intéressant de comparer un de ces autres écosystèmes à celui de l'IA pour avoir des points de comparaisons et reprendre des facteurs de succès pour l'appliquer à l'écosystème de l'IA.

Parmi tous les écosystèmes présents au Québec et à Montréal, on a choisi l'écosystème des matériaux avancés (MA). Les principales raisons sont la ressemblance des technologies, car l'IA et les MA sont toutes les deux des technologies génériques et le fait que l'écosystème des MA soit actuellement bien développé au Québec et qu'il a eu du succès. Et enfin la connaissance d'experts dans le domaine des matériaux avancés qui vont aider à mieux comprendre cet écosystème et à établir des points de comparaisons entre les deux écosystèmes.

Ainsi dans la partie analyse, une analyse de l'écosystème des matériaux avancés est faite de la même manière que l'analyse de l'écosystème de l'IA. Pour conclure cette analyse, un tableau de comparaison est réalisé afin de résumer les points importants de l'écosystème des MA et de l'IA et voir ainsi les ressemblances ou les différences entre les domaines.

L'expert en matériaux avancés fait partie des entrevues réalisées, dont il sera discuté dans la section suivante.

4.3 Entrevues avec des intermédiaires de recherche et des experts

Une autre partie du mémoire sont les entrevues avec les intermédiaires de recherche de l'écosystème en émergence de l'IA et des experts dans l'écosystème de l'IA ou celui des matériaux avancés. Les sections suivantes expliquent la méthodologie autour de l'organisation de ces entrevues.

4.3.1 Choix et justification de la méthodologie de recherche

Comme cité au départ du mémoire, l'objectif de ce mémoire est de comprendre et de cerner l'impact de l'écosystème collaboratif de l'IA à Montréal avec des intermédiaires de recherche, dans l'adoption de l'IA dans les entreprises. Ainsi on vise plus spécifiquement à :

- examiner le mode de fonctionnement des intermédiaires de recherche dans le contexte actuel du développement de l'IA au Québec,
- comprendre la relation qu'ont ces intermédiaires de recherche avec les entreprises et les universités, et quel rôle elles jouent dans l'adoption de l'IA
- voir les apports envers les entreprises et les universités qu'ont les intermédiaires de recherche.

Suite à cette analyse, que l'on associera avec des connaissances que l'on aura récoltées à part, on déterminera des recommandations et des facteurs de succès qui ont fonctionné pour tous les individus interrogés dans l'écosystème collaboratif de l'IA à Montréal. Suite à cela, on va construire un modèle qui rassemblera les informations recueillies. De plus, l'étude exploratoire a été privilégiée, car les travaux sur ce sujet ont peu ou pas encore été abordés dans la littérature. Ce mémoire aura pour but de poser des bases pour une potentielle recherche future.

Afin de récolter les données, on procédera à des entrevues individuelles et semi-dirigées grâce à un guide d'entrevue, cela servira seulement de base pour orienter les questions, si nécessaire, avec les personnes interrogées. L'idée générale des entrevues sera de comprendre le fonctionnement des entités, leur rôle, leurs impacts sur les entreprises et les universités et le développement qu'il pourrait y avoir dans l'écosystème de Montréal.

4.3.2 Choix des thèmes retenus pour l'entretien

Dans ce mémoire, on opte pour une analyse d'entrevue. L'objectif d'une telle méthode est de procéder à une entrevue avec une personne, de recueillir ses propos via une prise de note complète et précise. Suite à cela, une analyse de ce contenu sera faite afin de pouvoir procéder à des conclusions pour chaque entrevue réalisée.

Les thèmes retenus pour les entrevues sont donc les suivants :

- Identification de l'organisation
- Vérification du réseau et des partenaires
- Rôle et apport envers les entreprises
- Rôle et apport envers les universités et les chercheurs
- Valeur ajoutée d'un écosystème collaboratif

Les sections suivantes vont permettre d'expliquer les différents thèmes et la raison de leur choix dans le guide d'entrevue.

1. Identification de l'organisation :

Cette section va permettre d'identifier et de vérifier les informations que l'on a récoltées sur les différents intermédiaires de recherche que l'on a interrogés. On a déjà les données générales que l'on a pu récolter sur leur site internet ou dans les rapports annuels, mais parfois des mises à jour et des ajouts ont été nécessaires. De plus, des ajouts sur leur expertise technologique ont été également nécessaires, car certaines des organisations, que l'on a interrogées, étaient déjà présentes dans l'écosystème de Montréal bien avant l'avènement de l'IA ainsi elles ont suivi le mouvement en se créant une expertise en IA. Des ajouts sur ces points sont nécessaires pour voir comment elles ont développé cette expertise. Cette partie aura pour but principal de confirmer les informations trouvées sur les organisations et si nécessaire compléter d'autres informations que l'on n'a pas pu trouver.

2. Informations supplémentaires sur l'analyse réseau

Cette partie va permettre de vérifier l'analyse réseau qui aura été réalisée préalablement aux entrevues. Le but de cette partie sera de vérifier les informations sur les liens qu'ont les intermédiaires de recherche avec d'autres intermédiaires de recherche et également les différents

partenaires qu'ils ont. Ces informations ont été utilisées et récoltées via des données secondaires ainsi une vérification supplémentaire est souvent nécessaire. On vérifiera également comment ces liens se concrétisent entre les différents intermédiaires de recherche.

3. Rôle et apport envers les entreprises

Ce thème est un des plus importants, car il va directement permettre de déterminer des facteurs de succès et des éléments de réponse pour la deuxième proposition. Ainsi à travers cette partie, on va revenir sur le rôle que joue les intermédiaires de recherche envers les entreprises, ce qu'ils font concrètement et comment est-ce qu'ils aident, s'ils aident, les entreprises.

4. Rôle et apport envers les universités et les chercheurs

Ce thème est l'autre thème important du guide d'entrevue. Les intermédiaires de recherche ont souvent des liens importants avec les universités et sont composés de chercheurs. Ainsi à travers ce thème, on va déterminer quels sont leurs apports pour les universités et les chercheurs en général dans l'écosystème de Montréal. On va également revenir sur le rôle des chercheurs dans leur centre et les différentes spécialités qu'ils peuvent avoirs

5. Valeur ajoutée d'un écosystème collaboratif.

Pour terminer l'entrevue, on va demander à la personne interrogée son avis sur l'écosystème collaboratif qui est en train de se développer. L'étude porte dessus, mais on veut vérifier si les personnes interrogées sont conscientes de cet écosystème qui est en train de se créer, mais surtout quelle valeur ajoutée est ce qu'ils trouvent que l'écosystème possède ou si au contraire ils ne le trouvent pas pertinent. De plus, on va demander à la personne si dans le domaine de son centre de recherche, une entreprise a réussi à percer en utilisant de l'IA et de la collaboration entre différentes entités.

4.3.3 Conception du guide d'entrevue

Sur la base des cinq thèmes présentés précédemment, un guide d'entrevue semi-directif composé de 37 questions a été établi et testé avec l'un des répondants afin de valider la pertinence des questions et leur capacité à répondre aux objectifs. Les réponses obtenues du répondant lors de la phase de prétest ont été retenues et ont été traitées avec les autres entrevues.

L'Annexe A présente la structure du guide d'entrevue utilisé, de même que les thèmes qui en constituent la charpente.

4.3.4 Recrutement et provenance des participants

Dans le cadre de ce mémoire, on a choisi comme échantillon les différents intermédiaires de recherche dans l'écosystème en émergence de l'IA ainsi que plusieurs experts ayant œuvré à la mise en œuvre d'entités dans l'écosystème de l'IA ou des experts de l'écosystème des MA.

Ainsi six intermédiaires de recherche et trois experts dans le domaine ont été sélectionnés, pour réaliser les entrevues. On a ainsi neuf entrevues.

Les intermédiaires de recherche participants ont été choisis sur la base qu'ils font de l'IA dans l'écosystème de Montréal, de leur pertinence et des connaissances qu'ils ont sur l'écosystème. Chacun de ces intermédiaires entretient des relations avec des entreprises (PME et grandes entreprises), des chercheurs du milieu de la recherche publique et des gouvernements. Ils sont tous actifs au Québec et jouent un rôle important dans l'écosystème qui est en train de se créer à Montréal.

Les répondants ciblés étaient en général les dirigeants des intermédiaires choisis ou une personne s'y connaissant assez dans le modèle d'affaire et la stratégie de l'intermédiaire. Ils ont été en général contactés par courriel via leur adresse courriel de leur institution. Ce courriel expliquait les objectifs de la recherche et demandés à réaliser une entrevue avec la personne en question via une rencontre téléphonique ou physique.

Les intermédiaires ayant participé aux entrevues sont respectivement, deux centres de recherche interuniversitaire, un centre de recherche, un centre de recherche appliquée, un laboratoire de recherche et un centre de liaison entre les universités et les entreprises.

Ainsi, parmi les répondants des intermédiaires, quatre directeurs généraux, une directrice des opérations et un responsable des opérations ont participé aux entrevues.

Les experts participants ont été choisis, car ils jouent ou ont joué un rôle important dans l'écosystème de l'IA ou dans l'écosystème des MA, pour apporter un point de vue extérieur aux intermédiaires de recherches et aussi pour compléter l'analyse.

Les experts ont été contactés de la même manière que les répondants des intermédiaires.

Parmi les experts, un a aidé au développement de Scale AI. Une autre experte a aidé à la mise en place et au développement de l'écosystème des matériaux avancés. Le dernier expert a des connaissances sur l'écosystème de l'IA et toutes les entités jouant un rôle dans cet écosystème.

Lorsque la personne contactée était intéressée, une date d'entrevue a été fixée dans un lieu qui convenait à cette personne. Suite à l'accord de leur participation, un formulaire d'information et de consentement a été envoyé aux répondants qui devaient en prendre connaissance. Ce formulaire détaille l'objet de la recherche, les devoirs et obligations des parties, la politique de confidentialité, les modalités de retraits des participants, les personnes-ressources à contacter et se termine par une formule de consentement. Ce document a été signé par les deux parties un peu avant l'entrevue. Les entretiens ont duré environ 1 heure en fonction des sujets qui ont été abordés avec les répondants.

Pour préparer les entrevues, une présentation, brève, du projet a été faite, aux participants avant de rencontrer les chercheurs. Le texte de la maquette explique ce qui est attendu de l'entretien et doit répondre aux questions suivantes :

- Quels sont ses objectifs de la recherche ?
- Dans quelles conditions se déroulera l'entretien ?
- Quels seront les usages de l'entretien (quels avantages pourront, espère-t-on, en retirer des participants ainsi que l'organisation pour laquelle travaille le chercheur) ?
- Quel est le but général de l'entretien, les thèmes qui devraient être traités, les principales questions que l'on souhaite poser ?
- De quelles sortes d'informations le chercheur a-t-il besoin : des faits, un enchaînement, des causes, des perceptions, des interprétations, etc. ?

Dans le cadre de cette recherche, la maquette prend la forme d'un formulaire d'information et de consentement qui a été élaboré et acheminé aux personnes choisies. L'Annexe B en présente la version intégrale.

Conformément au « Formulaire d'information et de consentement » signé par les interviewers et les chercheurs, les données numériques collectées par le chercheur principal (enregistrements audio, verbatim, contenu Web) ont été conservées dans l'ordinateur personnel du chercheur protégé

par un code et a accès limité pour une durée de 10 ans. Une copie de ces données a été entreposée sur un serveur protégé du CIRANO.

4.3.5 Analyse et utilisation des informations recueillies

Pour analyser les informations recueillies, on a regroupé les différentes informations émises par toutes les entrevues par thème. Au total, on a neuf entrevues et l'on arrive à un total de vingt-neuf pages d'informations.

Dans un souci d'anonymat et afin d'utiliser les données sans souci de divulgation, on reprendra les informations dans chaque entrevue en citant l'entrevue, de la manière suivante : {Entrevue « Numéro de l'entrevue »}. Un document à part du mémoire regroupera les numéros des entrevues avec l'auteur des entrevues. Ce document ne sera pas divulgué.

4.3.6 Représentation de l'organisation de l'écosystème de l'IA et modèle

Pour la représentation de l'organisation de l'écosystème, on va se baser sur toutes les recommandations que l'on va citer, suite aux entrevues, dans la partie analyse et l'on va également s'appuyer sur des connaissances personnelles. En regroupant cela, on va proposer une représentation prenant en compte tous les points qui paraissent importants à mettre dans le modèle. Une explication détaillée suivra la proposition afin de bien comprendre la réflexion du chercheur lors de la réalisation de la proposition.

4.3.7 Considération éthique

Un formulaire d'information et de consentement a été signé par le chercheur et les participants avant toute entrevue, afin de s'assurer que ce projet respecte une certaine considération éthique.

CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET ANALYSE

Dans cette partie seront présentés les différents résultats du mémoire. Tout d'abord, on va discuter de l'analyse réseau et analyser si elle permet de résoudre une des propositions. Puis on va passer à l'analyse de l'écosystème des matériaux avancés ainsi que sa comparaison avec l'écosystème de l'IA. Par la suite, on verra l'analyse des entrevues en regroupant cette analyse selon différents thèmes importants qui sont ressortis. Ensuite, on va discuter des recommandations puis proposer une organisation de l'écosystème qui devrait se faire au Québec. Pour conclure, on discute des limites de l'étude.

5.1 Résultat de l'analyse réseau réalisé sur R

Suite à la présentation de la méthodologie pour l'analyse réseau dans la section 4.1 on arrive au résultat illustré par la figure 5.1.

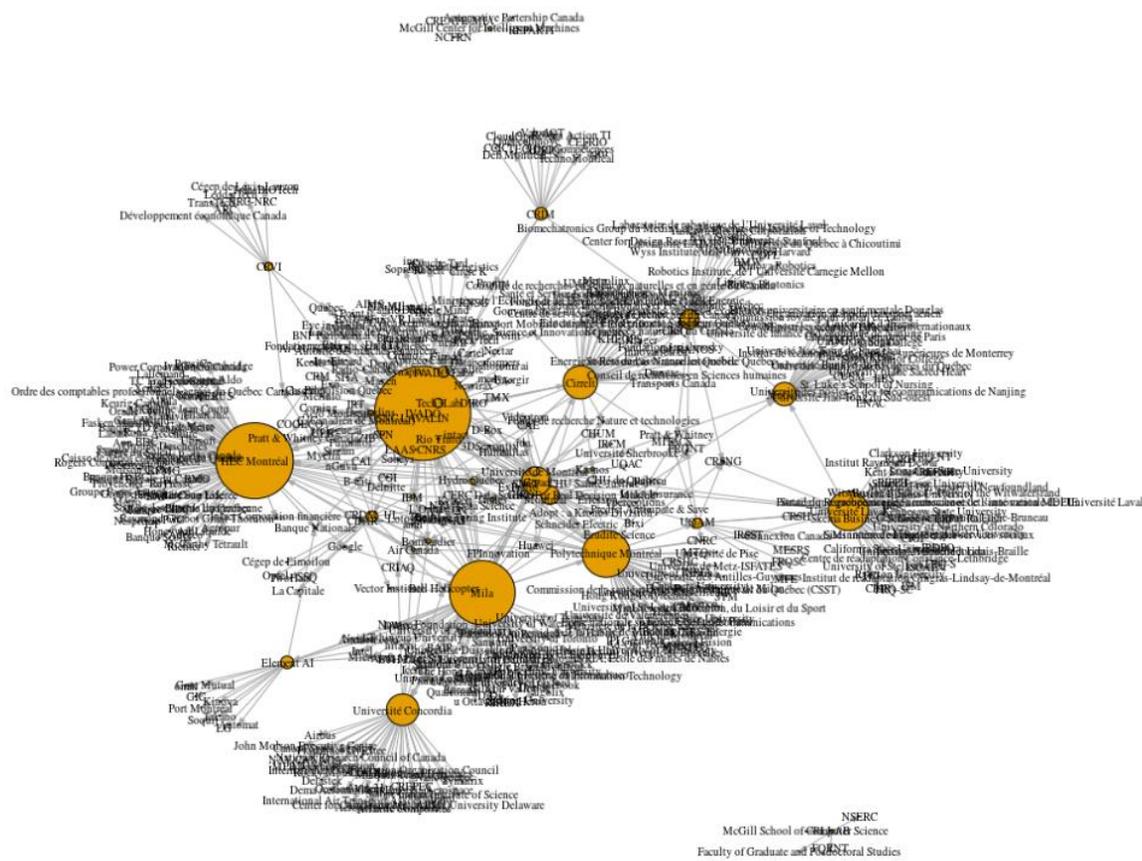


Figure 5.1 : Analyse réseau de l'écosystème de l'IA au Québec

Une figure plus lisible sera disponible dans l'annexe D.

À partir des données récupérées, on a ainsi recréé l'écosystème de l'IA au Québec. Cette analyse réseau a permis d'établir que certains intermédiaires ont à priori plus d'importance que d'autres.

Cependant, il est intéressant de remarquer que certaines universités se démarquent par leurs nombreux partenariats, par exemple l'Université de Montréal. Ses principaux partenaires sont des partenaires académiques, financiers et universitaires. Cela donne l'impression que la plupart des partenaires industriels sont généralement nommés dans l'intermédiaire de recherche correspondant à l'université.

La taille des cercles a été réalisée avec le poids des différentes entités de l'analyse réseau, comme on l'a vu dans la méthodologie. Plus les entités ont de partenariats, plus leur poids est grand. La taille du cercle est proportionnelle aux nombres de partenariats des entités dans l'analyse réseau.

Ces différentes tailles de cercles et la spécificité des liens permettent de différencier les entités présentes dans l'écosystème. Selon la taille des cercles et selon les liens, on peut déterminer s'ils sont reliés à une seule université ou plusieurs. On peut également déterminer s'ils ont un rôle de liaison entre les différentes entités de l'écosystème ou alors s'ils se situent à part, que cela soit dans ce qu'ils font ou dans l'organisation de l'intermédiaire.

Cette analyse réseau montre bien que les intermédiaires de recherche sont des nœuds de collaborations. On peut voir clairement qu'en majorité, la plupart des intermédiaires ont des liaisons entre eux et des liaisons avec des partenaires externes.

Il est aussi intéressant de noter que l'on voit les différentes universités présentes au Québec. Les universités possèdent elles aussi des liens avec des partenaires externes, cependant la proportion de partenaires industriels est nettement inférieure à celle des intermédiaires de recherche. Ainsi à priori, les intermédiaires de recherche sont bien des liens entre les entreprises et les universités. Cependant, des liens se font tout de même directement entre entreprises et universités. Mais ces liens semblent plus nombreux, lorsque cela passe par un intermédiaire de recherche.

Il faut tout de même noter que certaines entités restent à priori en dehors de l'écosystème que l'on a représenté. Ceci est dû au fait que l'on n'a pas réussi à récupérer des données suffisantes sur les entités en question, car elles n'étaient pas disponibles ou alors qu'elles n'étaient pas accessibles. Il est aussi probable que ces entités se situent à part de l'écosystème et ne sont pas liées aux autres

intermédiaires de recherche. Aucune confirmation ne peut être faite, car les données sont incomplètes sur le sujet.

Alors que certaines entités restent en dehors du lot, on remarque au contraire que d'autres regroupent beaucoup de partenaires et sont partenaires avec quasiment l'ensemble des entités de l'analyse. Est-ce intentionnel le fait que ces entités soient un regroupement pour l'ensemble des entités ? Ou alors est-ce que l'ensemble des fonds et des partenariats sont concentrés sur eux-mêmes malgré l'existence d'autres entités. On essaye de compléter cette analyse dans l'analyse des entrevues.

Il faut cependant ne pas oublier que cette liste d'entités a été récupérée selon des données secondaires. Lors des entrevues, on a demandé auprès de certaines entités la véracité des partenaires que l'on a pu récupérer sur eux, mais pour certains la liste qui se trouvait sur leur site internet n'était pas complète ou était en cours de modification. Ainsi, cette analyse réseau permet d'avoir une bonne idée de l'écosystème collaboratif de l'IA au Québec et de tout ce qui se passe en termes de collaboration et de partenariats, mais elle n'est pas totalement complète.

Pour conclure on a voulu montrer que les intermédiaires de recherche sont des nœuds de collaboration. Cette analyse permet de montrer qu'il y a à priori une collaboration entre ces différentes entités et que les intermédiaires ont l'air d'être au centre d'une partie des collaborations. On verra plus tard dans l'analyse des entrevues comment cette collaboration se définit et si l'on peut ainsi valider cette proposition.

5.2 Comparaison avec l'écosystème des matériaux avancés

Les matériaux avancés (MA) ont également eu une tendance collaborative entre les universités et les entreprises. Un point important montré dans le rapport de PRIMA (*PRIMA*, 2018) est le fait que les MA sont toujours un sujet d'actualité et de développement au Québec et à Montréal, et il faut noter que les MA sont liées à l'Intelligence Artificielle car c'est le développement de matériaux spécifiques qui a permis à l'IA de redevenir une tendance. Ainsi on pourrait imaginer que ces deux écosystèmes qui se complètent pourraient collaborer. Pour cette raison, l'écosystème des matériaux avancés semble pertinent à comparer avec l'écosystème de l'IA, cependant on voit dans les

explications ensuite qu'il y a plus de raisons que celle-là. Dans les sections suivantes, on va définir les matériaux avancés, leurs concepts et le contexte de développement de l'écosystème au Québec.

5.2.1 Définitions et concepts des Matériaux avancés

Le concept de matériaux avancés ou matériaux intelligents (Futura, 2016) date du début des années 80. Cela comprend l'ensemble des nouveaux matériaux comportant eux-mêmes leurs propres fonctions. Ce sont des matériaux sensibles, adaptatifs et évolutifs. Ils sont capables de modifier spontanément leurs propriétés physiques en réponse à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou de l'intérieur du matériau. Les matériaux avancés ne touchaient au départ que le secteur aéronautique, mais touchent désormais l'ensemble des secteurs d'activités.

Les systèmes intelligents sont issus d'un domaine de recherche qui envisageait des dispositifs et des matériaux qui pourraient imiter le système musculaire et le système nerveux humains (« Des matériaux intelligents et des systèmes intelligents pour l'avenir », 2000). Par définition, les matériaux intelligents et les structures intelligentes — et par extension les systèmes intelligents — sont des ensembles formés de capteurs et d'actionneurs encastrés dans le système ou attachés à ce dernier de manière à en faire partie intégrante. Le système et les composants connexes forment un tout qui fonctionnera et réagira d'une manière prévue et parviendra éventuellement à imiter une fonction biologique. Le corps humain est le système intelligent idéal ou ultime.

Comme le dit le rapport de PRIMA (PRIMA, 2018) : « Le secteur des matériaux avancés est stratégique. Leur utilisation contribue à beaucoup d'applications possibles : à la production, au transport, au stockage d'énergie et à la création de carburant alternatif susceptible d'accélérer la conversion des transports ; à l'amélioration de l'efficacité des transports par l'allègement des véhicules ; au développement de nouveaux semi-conducteurs, capteurs, ou écrans moins énergivores capables de diminuer la consommation énergétique des ordinateurs utilisés dans les centres de données. »

Un matériau avancé peut être défini comme tout nouveau matériau ou matériau significativement amélioré qui permet d'obtenir un avantage marqué du point de vue de la performance (physique

ou fonctionnelle), comparativement aux matériaux conventionnels couramment utilisés et auxquels ils se substituent. La figure 5.2 résume bien cette notion.

Exemples de propriétés recherchées

| Performances physiques | Performances fonctionnelles |
|-------------------------|----------------------------------------------|
| Conductivité électrique | Revêtement glaciophobe/hydrophobe |
| Conductivité thermique | Matériaux autoréparants |
| Résistance mécanique | Verres à polarisation ajustable |
| Dureté | Biodégradabilité |
| Efficacité | Biocompatibilité |
| Propriétés optiques | Revêtement anti microbien |
| Propriétés magnétiques | Matériaux super absorbants et imperméabilité |

Figure 5.2 : Exemples des propriétés recherchées des matériaux avancés (*PRIMA*, 2018)

Les matériaux avancés peuvent être distingués selon trois catégories. Soit des matériaux de base, c'est à dire des matériaux peu ou pas transformé qui se retrouve en amont de la chaîne de fabrication comme pour la production de matériaux. Soit des produits finis et semi-finis. Ce sont des produits destinés à un utilisateur intermédiaire ou final pour l'intégration de matériaux par exemple. Une dernière distinction pour les matériaux avancés est le fait de pouvoir être des procédés et instrumentations. C'est-à-dire des procédés innovants impliquant des matériaux avancés.

La figure 5.3, ci-dessous, résume les différentes caractéristiques des matériaux selon leur catégorie.

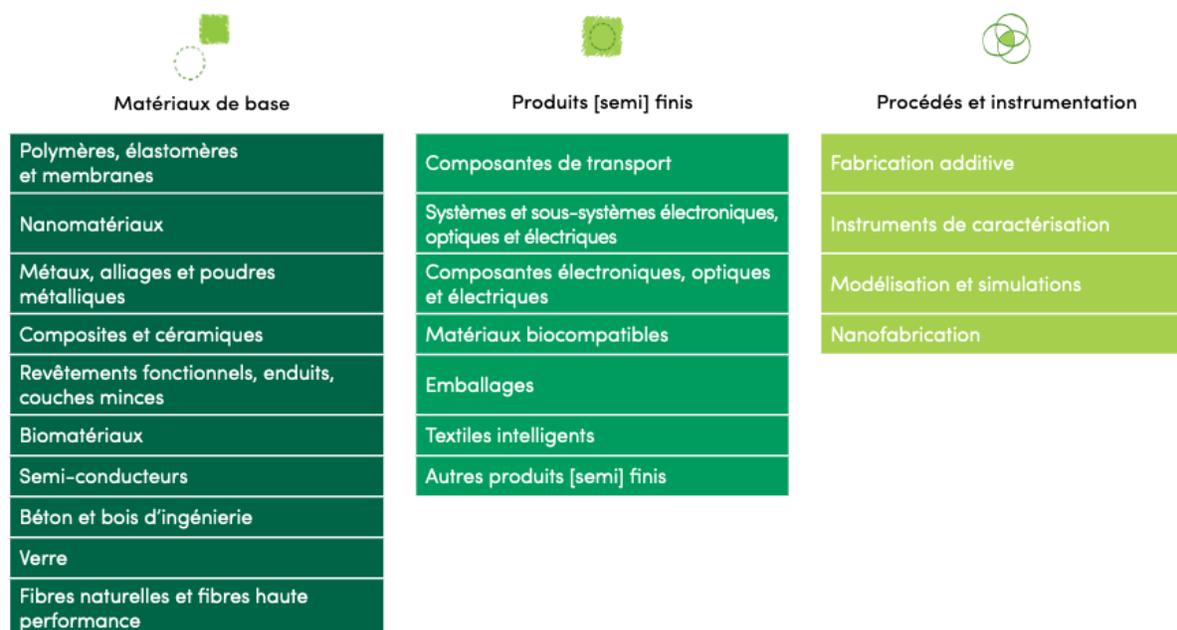


Figure 5.3 : Différentes caractéristiques des matériaux selon leur catégorie (PRIMA, 2018)

En plus d'avoir plusieurs catégories, un matériau avancé peut être classé selon différentes fonctions. Ainsi on a tout d'abord un matériau piézoélectrique. Lorsqu'il est soumis à une charge électrique ou à une variation de tension, le matériau piézoélectrique subit des transformations mécaniques, et vice versa. Ces changements sont appelés effets directs et effets inverses. On a également le matériau électrostrictif. Ce matériau a les mêmes propriétés qu'un matériau piézoélectrique, mais la transformation mécanique est proportionnelle au carré du champ électrique. Cette caractéristique entraîne toujours des déplacements dans le même sens. Ensuite, on a le matériau magnétostrictif. Soumis à un champ magnétique, ce matériau subira une déformation mécanique induite, et vice versa (effets directs et inverses). Il peut donc servir de capteur et/ou d'actionneur. On peut ensuite avoir un matériau, dit alliage à mémoire de forme. Soumis à un champ thermique, ce matériau subira des transformations de phase qui entraîneront des déformations. Il retrouvera son état « martensitique » à basse température, et sa forme originale et son état « austénitique » à haute température. Enfin, il y a les fibres optiques. Ces fibres utilisent l'intensité, la phase, la fréquence ou la polarisation de la modulation pour mesurer la déformation, la température, les champs électriques et magnétiques, la pression et autres quantité mesurable. Ce sont d'excellents capteurs.

Les MA peuvent également être définies comme des matériaux à fonctions ajoutées. C'est-à-dire qu'ils peuvent être soit des matériaux essentiellement capteurs qui peuvent détecter certains signaux, régler leur sensibilité en fonction des changements environnementaux ou restaurer une sensibilité amoindrie. Ils peuvent également être des matériaux catalyseurs qui peuvent détecter la progression d'une réaction ou connaître la réaction d'un produit. Enfin, ils peuvent aussi être des matériaux textiles qui peuvent détecter divers signaux du corps humain et les conditions atmosphériques afin de procurer davantage de confort. Le T-shirt intelligent est un exemple.

La description des matériaux avancés est bien plus vaste que ce qui a été fait auparavant. Cependant, le sujet de ce mémoire ne s'intéresse pas à un aspect poussé sur les matériaux avancés, mais à la comparaison de l'écosystème des MA à l'écosystème de l'IA selon différents facteurs. Ainsi cette description est suffisante pour comprendre que les matériaux avancés sont un domaine très vaste, qui touche de nombreux secteurs, comparables à ce que fait l'intelligence artificielle. Les deux sont des technologies génériques (KET) comme dit précédemment.

Ainsi, après avoir vu ce que sont les MA, une description de l'écosystème des MA au Québec et de son contexte va être faite.

5.2.2 Contexte des MA au Québec et analyse de l'écosystème en place

Pour aider à avoir plus d'informations sur l'écosystème des matériaux avancés, on a fait appel à une experte qui a participé à l'émergence de l'écosystème des MA. Dans la section suivante, on va se servir de ses propos pour l'analyse de l'écosystème.

Contrairement à l'IA, ce ne sont pas des chercheurs qui ont permis au départ de faire en sorte que les MA émergent au Québec. Au départ, ce sont des startups en matériaux/nanotechnologies qui ont été créés par d'anciens dirigeants de différentes compagnies entre 1997 et 2001. Cependant, les matériaux avaient du mal à émerger.

À cette époque, un des points clés pour les MA a été la création d'un centre de recherche, par Noranda, qui est une multinationale minière. Ce fut un des premiers centres de recherche à s'intéresser aux métaux rares. Plus tard le centre a fermé, mais ils ont laissé un libre accès à leurs

données afin que tout le monde puisse les utiliser surtout pour les TIC. Lors de récession, le centre de recherche a fermé, mais Noranda a continué d'héberger des spins offs de certains de leurs chercheurs, en leur fournissant l'infrastructure et la propriété intellectuelle. Cela a permis de créer 3 startups qui furent parmi les pionnières du secteur nano/MA.

En 2001, un autre point clé pour les MA a été la création de NanoQuébec. C'était un regroupement informel de la recherche faite par les universités, mais pas spécifiquement en Nanotechnologie. La recherche était également en conductivité/bio/etc. Il n'y a ainsi pas eu d'appellations nanotechnologie ou matériaux purs.

Vers 2006, NanoQuébec a effectué un changement de mission. Ils sont passés dans la gestion de financement collaboratif avec des universités et des entreprises selon 4 secteurs forts au Québec : Biologie/Électronique/Matériaux pour les poudres/Bois, nature. Ceci a permis à NanoQuébec de s'orienter vers les PME qui en avaient besoin, avec une plateforme pour déposer des problèmes que les chercheurs essayent de résoudre. Ceci a permis la création de nombreux projets collaboratifs entre les chercheurs et les entreprises.

Ainsi NanoQuébec est petit à petit devenu le centre de référence pour le gouvernement afin de distribuer les financements et de gérer tout ce qui était lié aux nanotechnologies et aux matériaux avancés. Il gérait tout ce qui se faisait à Montréal et faisait en sorte que cela allait dans le sens des PME.

En 2014, il y a eu un regroupement de NanoQuébec avec le consortium des polymères (« NanoQuébec et le Consortium Innovation Polymères deviennent Prima Québec », 2014).

Actuellement, malgré le côté novateur et la forte présence des nanotechnologies à Montréal, la tendance en IA, selon PRIMA (PRIMA, 2018) semble à priori plus dominante pour Montréal que ce qu'elle a été pour les MA. On va vérifier si ce point est vrai en suivant la même méthodologie que l'on a effectuée pour l'analyse de l'écosystème de l'IA au Québec.

Un des facteurs de développement de l'écosystème de l'IA est la présence de nombreux chercheurs importants dans l'écosystème au Québec. Il y a également des chercheurs dans l'écosystème des MA au Québec. Sylvain Martel (Polytechnique Montréal), par exemple qui est un des pionniers des nanotechnologies, Mohamed Chaker (INRS) qui se spécialise dans les plasmas appliqués aux

nanotechnologies ou encore Gilles L'Espérance (Polytechnique Montréal) qui se spécialise dans la conception de matériaux et la mise en œuvre de matériaux.

Au total selon le rapport (*PRIMA*, 2018), il y a plus de 500 chercheurs en MA actuellement dans les centres de recherches publics.

Les nombreux financements sont un autre facteur de développement de l'IA. Il y a également de nombreux financements pour le domaine des matériaux avancés incluant les nanotechnologies. La valeur combinée des investissements des entreprises échantillonnées, depuis 2015, a dépassé 100 millions de \$, et ce niveau devrait doubler d'ici 2020. Selon toutes vraisemblances, les données recueillies auprès des entreprises démontrent que 43 % d'entre elles auraient réalisé des investissements en immobilisations se chiffrant à plus d'un million de \$, depuis 2015. La valeur combinée de ces projets atteindrait plus de 100 millions de \$.

Les nombreux avantages du Québec qui sont des facteurs de développement pour l'IA sont également des facteurs pour les MA. On les retrouve dans la partie 2.1.2. Le Québec dispose également d'atouts dans certains secteurs où la demande potentielle se reflète dans les efforts importants dans la recherche industrielle que consacrent les entreprises, notamment celles du matériel de transport. Il existe aussi vraisemblablement un potentiel de demande structurante importante au Québec dans le secteur de l'énergie. Cependant, la demande serait moins développée dans le secteur des TIC, là où pourtant se situe un des principaux marchés des matériaux avancés.

L'ensemble des facteurs précédents ont permis à l'IA d'attirer ou de créer de nombreuses entreprises. C'est également le cas pour les MA. Ainsi l'industrie québécoise des matériaux avancés présente une masse critique d'entreprises et d'emplois, ainsi qu'un tissu industriel équilibré. Elle regroupe plus de 340 entreprises, qui sont, pour l'essentiel, de très petites (30 %), petites (36 %) et moyennes entreprises (29 %) (PME). Ces PME, à elles seules, emploieraient plus de 33 000 personnes. La figure 5.4 représente cette répartition d'entreprises dans le domaine des MA.

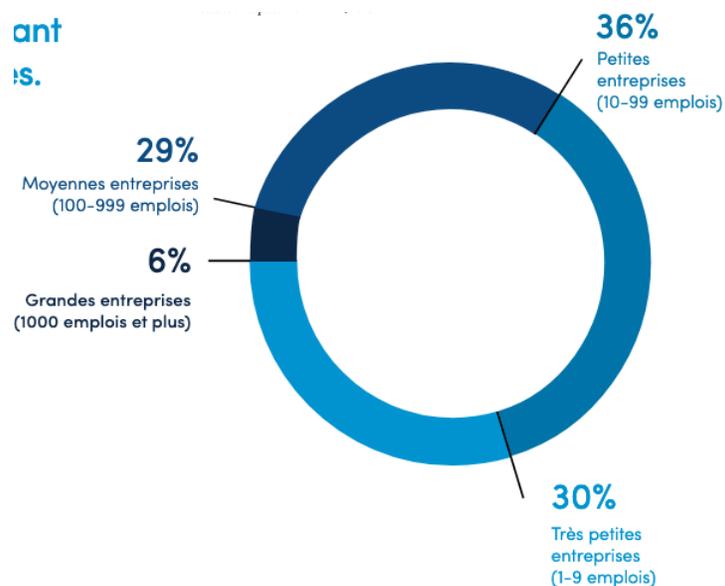


Figure 5.4 : Répartition des entreprises selon leur taille dans l'écosystème des MA au Québec
(PRIMA, 2018)

En posant un regard plus précis sur l'industrie, on constate que plus de 33 % des entreprises sondées dans le rapport de PRIMA (PRIMA, 2018) auraient été créées il y a moins de 10 ans. La présence de ce fort noyau d'entreprises ayant émergé au cours de la dernière décennie sous-tend la présence d'un favorable dynamisme entrepreneurial associé aux matériaux avancés.

On a un ainsi comme pour l'IA, un écosystème qui s'est créé pour les MA :

- Le laboratoire de Nanorobotique dirigé par Sylvain Martel
- INRS avec la création d'un laboratoire en micro et nanofabrication dirigé par Mohamed Chaker
- Le (CM)² avec Gilles L'Espérance comme directeur
- Le CERMA qui est un centre de recherche pour les nouveaux matériaux fonctionnels
- Les différentes créations vues auparavant dans le contexte des MA au Québec
- PRIMA (anciennement NanoQuébec et le consortium des polymères) qui fait la liaison entre les universités et les entreprises
- De nombreuses startups

Un dernier facteur est que les universités et les entreprises sont obligées de collaborer dans le domaine des MA. En effet, beaucoup d'entreprises en particulier les petites entreprises n'ont pas les moyens pour avoir toutes les technologies nécessaires pour réaliser leurs produits donc des projets de collaboration se font entre les entreprises et des universités ou de grands centres pour pouvoir le faire. C'est un facteur pour la collaboration, mais également une barrière, car les entreprises sont dépendantes des universités et des grands centres.

On a pu ainsi voir que les MA ont également eu un développement conséquent et continuent d'en avoir. On a recensé plusieurs facteurs de développement communs à l'écosystème des MA et de l'IA. On voit dans l'analyse d'autres facteurs qui ont permis à l'écosystème des MA de se développer et de s'affirmer au Québec.

Pour résumer, dans une dernière partie on va chercher à comparer plus spécifiquement l'écosystème de l'IA à l'écosystème des MA selon les données actuelles. Cependant, on continue la comparaison dans l'analyse.

5.2.3 Comparaison de l'écosystème de l'IA et des MA

Après avoir vu plus spécifiquement ce qu'était l'IA, on va désormais chercher à les comparer, dans la table 5.1, selon les données que l'on a trouvées sur les deux domaines. Cependant, il ne faut pas oublier que l'écosystème de l'IA n'est pas au même stade de développement que l'écosystème des MA.

Tableau 5.1 : Comparaison de l'écosystème des MA et de l'IA (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019; *PRIMA*, 2018)

| Comparaison | Intelligence Artificielle | Matériaux avancés |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Nombre de chercheurs dans les centres de recherche | Selon Investissements Québec plus de 1400 chercheurs | Plus de 500 chercheurs selon PRIMA |

Tableau 5.1 : Comparaison de l'écosystème des MA et de l'IA (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019; *PRIMA*, 2018) (suite)

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quelques chercheurs reconnus | Yoshua Bengio, Yann le Cun, Hugo Larochelle, Joëlle Pineau, Doina Precup | Sylvain Martel, Gilles l'Espérance, Mohamed Chaker |
| Investissements en fond publics | Plus de 500 millions de \$ CAN | Aucune information |
| Investissement en capital de risques | 1.4 milliards de \$ CAN | Aucune information |
| Investissements en infrastructures | Aucune information | 500 millions de \$ CAN en infrastructure il y a 10 ans |
| Nombre d'entreprises dans le secteur | Pas de chiffres précis, mais plus de 120 startups selon jfgagne.ai | 340 |
| Nombre d'emplois dans le secteur | Pas d'informations précises encore | 33 000 (543 très petites entreprises - 4880 petites entreprises - 28 087 moyennes entreprises) |
| Nombre de centres de recherche, laboratoires, centre de liaison, etc. | Plus de vingt entités | Pas de chiffres précis, mais un nombre conséquent |
| Collaboration | Pas obligée en IA | Obligée en MA |

Tableau 5.1 : Comparaison de l'écosystème des MA et de l'IA (« Intelligence artificielle | Investissement Québec », 2019; *PRIMA*, 2018) (suite et fin)

| | | |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tendance de la technologie au moment du développement | Forte émulation en IA actuellement | Émulation des MA à son développement bien moins importante que celle de l'IA actuellement |
| Centre de référence au moment du développement | Aucun actuellement | Nanoquébec |

Cette comparaison permet de résumer les différences et les ressemblances entre l'écosystème en émergence de l'IA et celui des MA qui est plus mature.

On a remarqué principalement à travers cette comparaison et l'analyse est que l'écosystème des MA s'est développé en beaucoup plus de temps que l'écosystème de l'IA qui est en train d'émerger. Cependant, l'écosystème de l'IA dépasse déjà l'écosystème des MA sur bien des aspects (comme le financement) en beaucoup moins de temps d'existence.

Un point qui ressort dans cette comparaison est que la comparaison entre l'écosystème de l'IA et l'écosystème des MA est loin d'être parfaite. Les deux technologies sont des technologies génériques, mais les MA nécessitent de grosses infrastructures pour se développer, être testées, mettre à l'échelle des produits et des procédés. Ainsi les infrastructures se construisent généralement dans des universités, car elles sont aidées par des financements. Cependant, les entreprises ne peuvent pas se permettre généralement la construction de telles structures. Cela oblige la collaboration entre les universités et les entreprises.

L'IA n'a pas besoin d'avoir autant d'infrastructures, pour pouvoir se développer.

Un autre point intéressant à travers cette comparaison est que dans le cas des MA, c'est vraiment Nanoquébec qui a permis de regrouper les différents chercheurs présents dans l'écosystème, car le domaine des matériaux avancés est vaste en applications, mais également en notions de base. Nanoquébec a été le catalyseur entre universités et entreprises là où l'IA a des notions de base moins vaste que les MA, mais permet également de nombreuses applications différentes.

Dans le cas de l'IA, on a un centre (IVADO) qui a un rôle central dans le développement de l'écosystème de l'IA à Montréal. Le développement de l'écosystème étant en court, il reste à voir si IVADO va avoir le même rôle que NanoQuébec a eu pour le développement de l'écosystème des MA.

Ainsi cette comparaison est loin d'être parfaite entre les deux écosystèmes. Cependant, l'écosystème des MA a mis en place des actions intéressantes et qui ont fonctionné. Ainsi, dans le cadre de cette étude exploratoire, on pourrait chercher à reprendre ces actions et les nuancer pour l'écosystème de l'IA afin d'optimiser son développement.

Suite à la comparaison de ces deux écosystèmes, on va passer à la partie suivante qui est l'analyse des entrevues.

5.3 Analyse de l'écosystème selon les entrevues

On va désormais passer à l'analyse des entrevues. On a axé le guide d'entrevue (voir Annexe A) sur cinq thèmes distincts, cependant un des thèmes n'était présent que pour faire de la vérification des données et est ainsi déjà ressorti dans l'analyse à travers l'analyse réseau. Le thème d'identification également ne ressortira pas dans l'analyse, car les intermédiaires resteront anonymes et seront cités selon leur numéro d'entrevue. Ce thème était principalement utilisé pour confirmer les données qui ont été récoltées en amont des entrevues. Ainsi avec les entrevues, 4 thèmes sont ressortis dans cette analyse. Ces 4 thèmes sont donc la collaboration dans cet écosystème collaboratif, l'apport pour les entreprises, l'apport pour les universités et pour terminer l'avis des intermédiaires sur l'écosystème tel qu'il est actuellement au Québec. Certaines entrevues ne seront pas utilisées directement dans l'analyse de l'écosystème et des intermédiaires de recherche, car elles vont servir pour les recommandations et pour faire une comparaison au domaine de l'intelligence artificielle.

5.3.1 La collaboration dans cet écosystème en émergence

À travers les entrevues et l'analyse réseau, un des points importants du mémoire était de montrer que l'écosystème étudié est un écosystème collaboratif, les intermédiaires de recherche étant les nœuds de collaboration de cet écosystème. Ainsi en analysant les entrevues, on voulait voir si ce point ressortait.

Selon les différentes entrevues, les liens, entre les intermédiaires de recherche que l'on a vus dans l'analyse réseau, correspondent aux professeurs et aux chercheurs qui font les liens entre les différents intermédiaires. En effet, les professeurs et les chercheurs peuvent se situer dans plusieurs intermédiaires de recherche et en font donc les véritables liaisons. On a vérifié ce point en prenant plusieurs professeurs-chercheurs dans un intermédiaire de recherche quelconque puis on a regardé s'il était présent dans d'autres intermédiaires de recherche. On a en effet remarqué cette occurrence pour les quelques professeurs que l'on a choisis à titre illustratif. On pourrait également vérifier cette occurrence en prenant les publications des différents intermédiaires et voir le nombre de co-publications entre eux.

L' {Entrevue 8} précise ainsi que lors de la réalisation de projets de recherche, le projet se fait avec des professeurs et non pas avec un intermédiaire de recherche. Mais encore, l' {Entrevue 5} explique que lors de la réalisation d'un projet, ils recrutent des professeurs selon leur compétence et leurs expertises en accord avec l'entreprise puis ils montent le projet de recherche. Derrière le projet est plus ou moins accompagné selon les intermédiaires.

De plus dans la réalisation des projets si un intermédiaire n'a pas les expertises suffisantes, il n'hésitera pas à aller chercher de l'expertise dans d'autres universités ou dans d'autres intermédiaires. Ceci est confirmé par cinq des intermédiaires mêmes si l' {Entrevue 5} précise qu'elle ne fait affaire qu'avec deux universités alors qu'elle aurait la possibilité de le faire avec toutes les universités présentes au Québec. L' {Entrevue 5} précise aussi que la recherche d'expertise peut également se faire directement par les professeurs recrutés pour le projet. Par exemple, s'ils connaissent un collègue qui a les compétences qu'il leur manque, ainsi ils vont aller par eux-mêmes le contacter pour réaliser au mieux le projet.

Quatre des intermédiaires, avec les points précédents, montrent que les intermédiaires ne font pas véritablement de collaboration entre les différentes entités, car la collaboration se fait directement

entre les chercheurs, les professeurs, etc. directement. Selon les entrevues, ce n'est pas le rôle des intermédiaires de recherche de faire de la collaboration entre eux. Certains intermédiaires, cependant, souhaitent travailler sur des collaborations directes entre les différents intermédiaires, comme l'a précisé l' {Entrevue 8}.

Les intermédiaires de recherche sont partenaires entre eux, mais la vraie collaboration se fait via l'intermédiaire des professeurs associés aux différents intermédiaires de recherche. Lors de la réalisation de projets, des collaborations vont se faire entre les différents professeurs des intermédiaires afin de réaliser au mieux les projets. Il y a donc bien de la collaboration dans cet écosystème, mais elle ne va pas se faire via les intermédiaires de recherche.

On va donc passer à la deuxième partie de l'analyse des entrevues qui est donc l'apport des intermédiaires de recherche aux entreprises.

5.3.2 Quels sont les apports aux entreprises ?

Dans cette partie, on va voir les différents apports qu'ont les intermédiaires de recherche pour les entreprises.

Un premier point important est la sensibilisation que les intermédiaires de recherche fournissent aux entreprises. Cela peut concerner la sensibilisation aux données ({Entrevue 4}, {Entrevue 5}), l'utilisation de l'IA ({Entrevue 4}, {Entrevue 5}), où en sont les entreprises dans leur processus de numérisation ({Entrevue 1}), ou encore la formation par rapport à l'utilisation de l'expertise des intermédiaires de recherche ({Entrevue 7}, {Entrevue 8}, {Entrevue 9}).

Après, on a également appris que le rôle des intermédiaires de recherche ne va pas être de faire de la formation directe. Certaines formations comme la sensibilisation des données sont faites directement, puisque sans elle aucun projet de recherche ne pourrait être fait. Certains financements sont exclusivement pour la sensibilisation aux données et sont fournis par certaines entités de l'écosystème. Mais une formation sur, par exemple ce que l'entreprise a besoin dans son processus de numérisation, n'est plus faite selon l' {Entrevue 7}, car ce n'est pas la mission des intermédiaires de recherche.

Cependant, ce processus de formation est en discussion chez certains intermédiaires, comme le montrent l' {Entrevue 5} et l' {Entrevue 8}. L' {Entrevue 5} parle de la possibilité de créer des études de cas afin de montrer aux entreprises ce qui peut être fait avec l'IA ou encore de la création d'une certification qui aiderait les entreprises à avoir plus de connaissances sur le sujet.

Pour compléter cette étape de formation et d'éducation, beaucoup des intermédiaires au travers des entrevues sont revenus sur le fait que l'IA reste un outil et qu'il existe déjà beaucoup de solutions pour résoudre les problèmes actuels des entreprises. Ainsi, les intermédiaires forment sur ce sujet, puisque beaucoup d'entreprises pensent que l'IA permettrait de résoudre tous leurs problèmes alors que ce n'est pas le cas, et de plus il existe déjà pleins d'outils dans la recherche opérationnelle pour leur permettre de résoudre certains de leurs problèmes. Par exemple, des entreprises sont venues voir l'intermédiaire de l' {Entrevue 5} et lui ont demandé ce qu'ils pouvaient faire avec leurs données alors qu'ils n'avaient pas forcément de problèmes à résoudre. Dans certains cas contraires, des entreprises avec des problèmes mais qui n'avaient pas de données pour les résoudre.

Un autre apport qu'ont certains intermédiaires de recherche sont les visites interactives montrés l' {Entrevue 1} et l' {Entrevue 5}. Au cours d'une visite par les intermédiaires, ils vont évaluer toutes les possibilités d'amélioration à travers la numérisation qu'ont les entreprises. Il faut cependant préciser que tous les intermédiaires ne font pas ce genre de visite et que seulement deux des intermédiaires interrogés en font.

Un apport intéressant des intermédiaires pour les entreprises est l'organisation d'évènements avec des industriels et des chercheurs pour former, sensibiliser, ou même leur permettre de recruter dans le domaine de l'IA. D'après les différentes entrevues, cela n'a pas l'air d'être fait par tous les intermédiaires. Quatre intermédiaires seulement ({Entrevue 1}, {Entrevue 5}, {Entrevue 7}, {Entrevue 8}) en ont parlé. Les intermédiaires vont ainsi pouvoir présenter des entreprises à d'autres, ou à des chercheurs via ces évènements ce qui est un apport bénéfique pour les entreprises. La possibilité d'embaucher directement après un projet de recherche a été évoqué par les mêmes entrevues en plus de l' {Entrevue 9}.

On va maintenant voir les apports pour les entreprises lors de la réalisation d'un projet de recherche par un intermédiaire de recherche. Les apports peuvent se traduire par un rapport scientifique ou un rapport technique parfois pour résoudre un problème qu'ont les entreprises, mais pas seulement. Le but, en faisant un projet avec une entreprise, est principalement de faire avancer la recherche,

c'est la mission des intermédiaires. Ce point revient dans toutes les entrevues. L'Entrevue 9} précise par exemple qu'à travers un projet de recherche, l'intermédiaire va aller réaliser une méthode ou va évaluer une interface, mais l'intermédiaire ne sera pas en charge de l'implémenter dans les entreprises ou de corriger l'interface en question.

Comme le citent Boons et Lüdeke –Freund (Boons & Lüdeke-Freund, 2013), il est important d'avoir une feuille de route et de créer un plan stratégique afin de vouloir adopter quelque chose ou de vouloir clairement changer sa structure. Ce qui semble être le cas si on veut par exemple intégrer l'IA en numérisant son entreprise. Selon les entrevues, ce n'est pas le rôle des intermédiaires de recherche de réaliser ce genre de projet.

Un autre point qui est revenu est que dans l'intérêt de la recherche, les intermédiaires vont analyser les données que les entreprises leur fournissent, mais il n'y aura pas de bénéfices pour les entreprises qui ont fourni leurs données.

Pour conclure ce point sur les apports aux entreprises, on a pu remarquer qu'il y a certains apports intéressants, mais que cependant certains ne sont pas réalisés par les intermédiaires. Ce qui peut potentiellement être un manque dans l'écosystème collaboratif de l'IA. On va maintenant passer à la partie sur l'apport aux universités.

5.3.3 Quels sont les apports aux universités et la recherche ?

Dans cette partie, on va voir les différents apports qu'ont les intermédiaires de recherche pour les universités.

Les intermédiaires de recherche étant pour la plupart liés à des universités, et toute la recherche étant faite par des professeurs et des chercheurs, on a tous les apports classiques qui sont revenus à travers toutes les entrevues. Ce qui est récurrent, est la publication d'articles, la mise en lien avec d'autres professeurs et une aide au financement direct ou indirect, ainsi que les démarches nécessaires.

En ce qui concerne le financement, l'Entrevue 5} a parlé d'une aide fournie par certains intermédiaires de recherche sur le fait de financer dans les universités, les professeurs qui ont été recrutés et qui ont un profil de science des données.

Un autre point qui est ressorti est le fait qu'une partie des entités composant les intermédiaires de recherche sont des lieux de regroupement pour les chercheurs. Ceci est important pour le domaine universitaire, car cela favorise l'avancée de la recherche simplement en ayant la possibilité de communiquer et d'échanger sur des idées. Cela favorise le brassage des chercheurs.

Les intermédiaires de recherche font également avancer la recherche en créant des projets pour tous les étudiants en maîtrise, en doctorat ou en post-doctorat et en leur permettant d'avoir un lieu où ils peuvent réaliser leurs recherches.

Un point important aussi est de développer le potentiel de recherche universitaire, évoqué par l' {Entrevue 8}. Ce point est en lien avec un point de la section précédente. Les entreprises ont besoin d'être éduquées sur le fait qu'ils n'auront pas forcément le meilleur chercheur sur un domaine, car il se peut que le chercheur en question ne veuille plus travailler sur le même sujet qu'il a déjà étudié depuis longtemps. De plus, si ce sont les mêmes chercheurs qui réalisent tout le temps les projets, il n'y aurait pas de relève pour continuer la recherche. Ainsi, l' {Entrevue 8} précise qu'ils font en sorte de mettre des chercheurs juniors sur des projets en association avec des chercheurs seniors pour développer tout ce potentiel universitaire.

Ce qui est ressorti également à travers les entrevues en particulier l' {Entrevue 8} est que lors de la réalisation d'un projet avec une entreprise, il est important que ce projet ait un apport pour la recherche et qu'il va également justifier une formation pour du personnel hautement qualifié. C'est pourquoi la réalisation de projets pour les entreprises par des intermédiaires de recherche, a strictement pour but de faire avancer la recherche, et non pas de résoudre les problèmes des entreprises. Si cela y contribue, c'est un atout majeur pour l'entreprise, mais ce n'est pas le but premier des projets. Leur but étant de faire de la recherche fondamentale. L' {Entrevue 1} se distingue en faisant des projets ayant pour but premier de résoudre les problèmes des entreprises, et par la même occasion faire avancer la recherche.

Les publications ne sont pas les seuls apports qu'ont les intermédiaires de recherche, comme le précise l' {Entrevue 4}, les projets peuvent également permettre de créer des outils informatiques, algorithmiques ou encore faire de l'analyse des données. Par conséquent, ces réalisations mènent à la publication d'articles.

Pour conclure cette section sur les apports aux universités, on a mis en avant tous les apports intéressants pour les universités et précisé l'absence de certains apports pour les entreprises. Cependant, comme l'ont précisé certaines entrevues, la mission des intermédiaires de recherche est principalement la recherche fondamentale et non pas la résolution de problèmes d'adoption des entreprises dans l'écosystème. On revient sur ce point dans les recommandations et on va désormais passer à l'avis sur l'écosystème.

5.3.4 Avis sur l'écosystème

Pour terminer les entrevues et pour avoir un avis global sur l'écosystème, il paraissait pertinent de demander aux personnes interrogées leur avis sur l'écosystème de l'IA qui est en train de se construire au Québec. On va maintenant voir les différents points ressortis suite à cette question.

5.3.4.1 Structuration et organisation de l'écosystème

Un premier point ressorti dans plusieurs des entrevues est que l'écosystème de l'IA au Québec est nécessaire pour que son développement soit intéressant. Cependant, cet écosystème ne semble pas encore assez bien structuré. Ce point ressort dans les entrevues de 4 intermédiaires et dans l'entrevue avec un des experts.

Ceci est dû aux nombreuses entités qui se créent en permanence, et se rajoutent à l'écosystème. Mais encore, cela est causé par les nombreux financements qui ont été accordé à la plupart des entités qui souhaitaient intégrer l'écosystème.

Ainsi, par l'intégration récurrente de nombreuses entités dans l'écosystème, la gestion et la structure en étaient plus difficile. Cela va même jusqu'à la réception par des entités de fonds pour des choses qu'elles ne devraient pas faire, précise l' {Entrevue 5}. Avec cette constante évolution de l'écosystème et des manques de communication, les intermédiaires en arrivent à ne plus connaître l'organisation de l'écosystème, selon l' {Entrevue 5}.

Une des raisons de ce manque de centralisation et de coordination est la tendance actuelle en IA au Québec qui est très forte et qui ne facilite pas une meilleure organisation et structuration l'écosystème.

L' {Entrevue 7} précise que cela est différent à Québec. L'écosystème de Québec n'est pas encore totalement développé, et parce qu'il y a moins d'émulation autour de l'IA qu'à Montréal, cela permet une meilleure structure qui est en cours de construction et une meilleure collaboration.

5.3.4.2 Gestion des intermédiaires

Un premier problème ressorti durant les entrevues, est qu'il n'y a pas d'autonomie et de liberté dans la gestion des intermédiaires faisant partie de l'écosystème de l'IA. Il semble y avoir un lien fort entre les intermédiaires de recherche et les universités, ce qui fait que les intermédiaires n'ont pas autant de liberté d'action qu'ils aimeraient avoir dans leurs projets et dans leur développement. Mais cette relation est nécessaire, car ils reçoivent la plupart de leur financement de cette manière. Un autre point également est que les intermédiaires de recherche sont gérés directement par des professeurs et des chercheurs faisant partie de ces intermédiaires. Il n'y a pas ou peu de personnels administratifs gérant les intermédiaires de recherche. C'est pourquoi des problèmes de décisions objectives peuvent parfois avoir lieu dans la gestion du financement et de l'intermédiaire de recherche.

La collaboration entre les différents intermédiaires n'est pas favorisée, car il semble exister des luttes politiques entre les différents intermédiaires. On n'a pas plus d'informations là-dessus, mais c'est un point pouvant être gênant dans le développement d'un écosystème.

5.3.4.3 Présence d'une entité neutre et indépendante

Un point également important est qu'il n'y a pas d'entité neutre indépendante ayant la main mise sur tous les autres intermédiaires en termes de financement et de gestion. Beaucoup d'argent a déjà été placé dans l'écosystème de l'IA, mais cette entité devrait pouvoir faire en sorte de demander des retours sur les investissements qu'y ont été faits par le gouvernement et toutes autres les entités financières de l'écosystème. L' {Entrevue 6} a parlé d'une telle entité lors de l'apogée des MA sur Montréal. Il serait ainsi intéressant qu'une même entité se crée à Montréal. Un des intermédiaires de recherche a à priori déjà ce rôle. Le problème comme vu précédemment, est qu'il n'a pas assez d'indépendance par rapport à beaucoup de facteurs donc il ne peut pas assumer ce rôle autant qu'il aimerait et devrait le faire.

L' {Entrevue 5} parle d'un Forum IA qui est en train de se créer et qui devrait assumer un rôle de liaison entre différentes entités de l'écosystème de l'IA. Il reste à voir ce que donne ce Forum IA.

5.3.4.4 Acteurs de l'écosystème

Un des facteurs de développement de l'IA au Québec est le fait qu'il y ait des chercheurs reconnus présents dans l'écosystème de l'IA au Québec, cependant cela peut aussi être un problème. Ils ont permis de faire en sorte que l'écosystème de l'IA soit ce qu'il est aujourd'hui, mais cela masque de nouveaux chercheurs qui arrivent à se développer ou qui devraient se développer dans l'écosystème.

Il y a également le même problème en dehors des chercheurs. Ce sont souvent les mêmes joueurs qui ressortent dans l'écosystème de l'IA pour la création ou la gestion de nouvelles entités dans l'écosystème. Ces joueurs reçoivent la plupart des financements qui sont émis dans l'écosystème de l'IA au Québec. Selon l' {Entrevue 8} tout se joue autour de certains joueurs, car comme ils ont réussi dans le passé, cela devrait être de même à l'avenir. Cependant, beaucoup de bénéfiques personnels sont tout de même créés.

Les deux points précédents indiquent que le développement de potentiels chercheurs et d'autres acteurs de l'écosystème de l'IA est freiné par les chercheurs et les joueurs des entités déjà présents et cela n'est pas prêt de bouger pour le moment. C'est un point à travailler à nouveau et on y revient dans les recommandations.

5.3.4.5 Un écosystème récent

Il ne faut cependant pas oublier comme l'a rappelé l' {Entrevue 9} que l'écosystème de l'IA et tout ce qui est en train de se mettre en place autour est très jeune et en cours de développement. Les tendances actuelles ont encore la possibilité de changer. On ne connaît donc pas encore toutes les conséquences que va avoir cet écosystème. Le manque d'organisation aura-t-il une conséquence négative sur tout l'argent investi ou alors les bénéfiques vont-ils arriver dans un futur proche ? L' {Entrevue 4} pense que toute cette tendance de l'IA devrait se tasser dans les années à venir. Actuellement, il y a une tendance, mais une fois que tout le monde l'aura intégré dans ses processus,

cela devrait se calmer. Un problème est que Montréal et Québec souhaitent devenir des joueurs mondiaux en intelligence artificielle. Lorsque la tendance aura diminué, Montréal et Québec seront-ils ces joueurs ou alors est-ce que tout cet écosystème n'aura servi à rien ?

5.3.4.6 Potentiel de l'écosystème

Un point également revenu à travers les entrevues, est que l'écosystème de l'IA a aussi un très grand potentiel. Le fait d'avoir des chercheurs reconnus ou encore le fait d'être une des villes pionnières à établir une charte pour l'éthique de l'IA en sont de bons exemples. Il y a également sur Montréal un intermédiaire qui permet de faire un point d'ancrage entre les différents instituts. Ces nombreux points font en sorte que cet écosystème ait du potentiel. Mais il en existe d'autres (comme le manque d'organisation ou la répartition du financement) qui font en sorte de diminuer ce potentiel. Il faut travailler sur ces points pour que ce potentiel se développe autant que nécessaire.

Beaucoup de points intéressants sont ressortis tout au long de cette analyse. C'est pourquoi on va associer ces points avec d'autres entrevues et des connaissances personnelles pour proposer une organisation de l'écosystème de l'IA au Québec.

5.4 Recommandations et proposition d'organisation de l'écosystème de l'IA

On va reprendre les points précédents pour conclure et faire des recommandations selon d'autres entrevues sur les différents thèmes précédents. Puis, on propose une organisation de l'écosystème de l'IA au Québec qui devrait s'accorder à ce qui s'y passe actuellement. Pour cela, on va associer tout ce que l'on a vu avec d'autres entrevues d'entités qui ont un avis extérieur sur l'écosystème qui est en train de se créer, mais ayant de l'expérience dans le domaine.

On va tout d'abord reprendre selon les thèmes précédents des points importants et proposer des solutions avec un avis personnel et avec l'avis des entrevues.

5.4.1 Recommandations sur la collaboration

En ce qui concerne la collaboration, on a pu observer que la collaboration était bien présente dans cet écosystème, mais pas comme on l'espérait et le croyait. La collaboration se fait entre les professeurs et les chercheurs des différents intermédiaires de recherche et universités, mais il n'y a quasiment aucune collaboration directement entre les intermédiaires de recherche. Si un projet ne peut pas être réalisé par un intermédiaire en question, ils vont le recommander à un autre intermédiaire, mais ce n'est pas à proprement parler de la collaboration. Peut-on parler d'un écosystème collaboratif si finalement les intermédiaires ne collaborent pas entre eux ?

On verra, plus tard, qu'une entité neutre, qui favoriserait les projets entre les différents intermédiaires, pourrait fonctionner et faire en sorte que cet écosystème soit vraiment un écosystème collaboratif. Cela passerait toujours par les professeurs et les chercheurs, car ce sont eux qui gèrent la recherche, mais la mise en avant des intermédiaires de recherche est un point important afin que l'écosystème de l'IA du Québec se démarque mondialement.

5.4.2 Recommandations sur les apports aux universités et aux entreprises

En ce qui concerne les apports aux universités et aux entreprises, on a remarqué durant les entrevues qu'une grande partie voire toute la stratégie des intermédiaires de recherche est orientée vers les universités. Comme on a pu l'entendre plusieurs fois, ce n'est pas leur mission d'aider à l'adoption de l'IA dans les entreprises, mais ce serait idéal s'ils pouvaient continuer à faire de la recherche tout en aidant les entreprises.

Ce qui est fait actuellement n'est pas suffisant et ce n'est pas ce qui leur est demandé. L'intérêt premier de la recherche est la retransmission des connaissances à la société plus tard, il faudrait pour cela l'orienter de cette manière directement.

5.4.3 Recommandation sur l'écosystème et l'organisation de l'entité

Concernant l'avis sur l'écosystème, comme c'est un des points le plus importants on va en discuter point par point dans les paragraphes suivants.

Les différents points sont la présence d'une entité neutre et indépendante, la gestion de l'entité, la gestion du financement, la création d'une plateforme de regroupement et de formation, la formation au sein de l'écosystème et finalement la distinction de l'écosystème.

5.4.3.1 Présence d'une entité neutre et indépendante

Un des points les plus importants ressorti lors de l'analyse est la volonté d'avoir une entité neutre et indépendante. L' {Entrevue 6} montre que cela a été un point clé pour le développement des MA à Montréal au début des années 2000. Il faut que cette entité soit créée par le gouvernement pour avoir autorité sur les autres intermédiaires présents grâce à une équipe administrative neutre, tout en étant libre d'exercer pour éviter tout enjeux politiques et conflits d'intérêt. Par contrôle, on veut parler du fait qu'ils peuvent demander des retours sur l'investissement, un certain nombre de projets avec des PME, un retrait de financement s'ils ne respectent pas ses règles précédentes, etc. Les chercheurs n'ont pas apprécié, selon l' {Entrevue 6}, cette mise en place de contrôle pour les MA, mais tout l'intérêt de la recherche est la transmission à la société par la suite. Actuellement, il n'y a aucun contrôle sur ce qu'il se passe dans le domaine de la recherche à Montréal.

Comme en a parlé l' {Entrevue 7), une entité neutre et indépendante est en création dans la ville de Québec. Il reste à suivre son développement, et si elle atteint les objectifs qu'elle s'est donnée en tant qu'entité neutre et indépendante qui aiderait au mieux les entreprises et les universités.

Un point qui a été remarqué, mais pas évoqué directement dans l' {Entrevue 6} est le fait d'avoir eu un leader marquant dans la gestion de l'entité neutre et indépendante dans l'écosystème des MA au début des années 2000. Ainsi un leader du genre pourrait aider à la gestion de cette entité neutre et indépendante qui devrait se mettre en place dans l'écosystème de l'IA au Québec.

5.4.3.2 Gestion de l'entité

Ce qui serait nécessaire dans la gestion de cette entité neutre et indépendante est une équipe administrative permanente ce qui permettrait d'avoir une meilleure autonomie. De plus, la gestion de cette entité se ferait également avec un conseil d'administration qui regroupe chercheurs et entreprises, petites et grandes, à proportion égale, comme a mentionnée l' {Entrevue 6}. Cela permettrait d'avoir la meilleure collaboration possible en confrontant les besoins des entreprises aux besoins des chercheurs en permanence.

Un autre point important serait l'intérêt, pour ce conseil d'administration, qu'il ne soit pas entièrement constitué de noms de chercheurs et joueurs dans l'écosystème déjà connus. Cela permettrait tout d'abord de développer le potentiel d'autres chercheurs présents dans l'écosystème et cela permettrait d'éviter des conflits qui existent actuellement, que cela soit en termes de luttes politiques ou de conflits d'intérêts. Les structures dont ces chercheurs font partie seront présentes, mais cela serait intéressant de mixer les chercheurs présents en permanence.

Au fur et à mesure de l'intégration de l'IA au processus des entreprises, le conseil d'administration ne sera petit à petit plus que composé d'entreprises pour se tourner vers une coopération seulement entreprise-entreprise. En effet, on cherche à mettre en avant la présence d'entreprise dans ce conseil d'administration, car on entend toujours parler des mêmes qui se démarquent, mais au final il n'y en a pas assez dans l'écosystème et surtout pas assez avec un rôle important.

Si l'on reprend l' {Entrevue 9} l'écosystème est effectivement jeune, mais ce n'est pas une cause suffisante pour qu'il ne soit pas bien organisé ou structuré. Il faut mettre toutes les chances du bon côté pour faire en sorte que l'écosystème de l'IA atteigne le potentiel qu'il pourrait avoir d'ici quelques années. En ce moment, avec la tendance croissante de l'IA sur Montréal cela semble difficile à organiser et à structurer, mais ce n'est pas pour cela qu'il ne faut pas essayer.

5.4.3.3 Gestion du financement

Beaucoup de financement a déjà été distribué dans l'écosystème de l'IA au Québec. Cependant, l'entité neutre et indépendante qui devrait se créer devrait avoir la mainmise dessus en demandant des retours sur investissements à toutes les entités qui ont reçu du financement. Afin d'observer le pourcentage utilisé pour faire avancer la recherche et le pourcentage utilisé pour faire avancer les

entreprises. De plus, une fois que tout cela sera fait ils devront faire en sorte de mieux répartir le financement pour donner plus de chance à tout le monde. Une autre idée serait de distribuer le financement sur un an et non de donner toute une somme directement. Cela permettrait d'avoir un peu plus de contrôle sur ce que les entités font avec l'argent qu'ils reçoivent.

En ce qui concerne le financement de l'entité, il faudrait que cette entité neutre soit totalement indépendante. C'est-à-dire que son financement ne doit pas provenir, ou dépendre, d'autres entités dans l'écosystème, sinon il risque d'y avoir une restriction des libertés d'action et un risque de conflits d'intérêts par rapport aux autres entités de l'écosystème. Il peut par exemple provenir du gouvernement ou autre, mais l'entité neutre doit avoir de la liberté d'action par la suite

5.4.3.4 Création d'une plateforme de regroupement et de formation

Dans le concept de fonctionnement de cette entité, au départ, pour mieux orienter la collaboration entre les entreprises et les universités, elle pourrait reprendre le concept de NanoQuébec. Il faudrait ainsi créer une plateforme Web où les entreprises iraient déposer leurs problèmes. Les problèmes seraient proposés aux chercheurs et ils essaieraient de résoudre le problème en faisant progresser la recherche en même temps. Derrière, la structure fera en sorte de créer un projet entre les intermédiaires de recherche et les entreprises.

Ce point s'applique si les entreprises savent déjà formuler correctement leur problème pour faire un projet de recherche. Dans le cas contraire, l'entité neutre pourrait les accompagner à travers une visite interactive ou leur monter des études de cas, afin que les entreprises apprennent à reconnaître leurs problèmes et à transmettre des informations dessus, pour par exemple réaliser un projet de recherche.

Cependant, deux problèmes à priori se présentent avec la mise en place de cette plateforme. Un des problèmes va être que ce sont souvent les mêmes problématiques qui vont revenir avec les entreprises, car elles ont généralement sensiblement tous les mêmes besoins. Ainsi au bout d'un moment certains chercheurs ne voudront plus forcément chercher à résoudre ces problèmes, car ils auront déjà trop travaillé sur le sujet et ils ne feront plus vraiment avancer la recherche. Pour résoudre ce problème, l'entité pourrait faire en sorte de regrouper les projets de recherche qui se ressemblent et de créer des études de cas qui regroupent ces différents projets de recherche comme

en a parlé l' {Entrevue 5}. Ces études de cas seraient proposées aux entreprises avant qu'elles déposent leur problème pour voir si cela leur permettrait déjà de le résoudre en amont.

5.4.3.5 Formation au sein de l'écosystème par l'entité neutre

Le deuxième problème va être que certaines entreprises vont venir sur la plateforme pour mettre des problématiques pour faire de l'IA alors que leur structure ne leur permet pas d'en faire. Elles n'auront soit pas de données, soit l'IA n'est pas intéressant pour leur entreprise. Pour résoudre ce problème, il faudra faire intervenir l'entité pour qu'elle fasse des formations de sensibilisations aux entreprises pour qu'elles sachent ce qui est nécessaire pour faire de l'IA. En effet, comme cela a été répété dans les entrevues, la recherche opérationnelle permettrait de résoudre nombres de problèmes que les entreprises ont. Ce genre de formation est en cours de création ou existe déjà dans certaines structures de l'écosystème de l'IA au Québec. Ils pourraient faire en sorte de généraliser toutes ces formations sur une seule et même plateforme accessible aux entreprises et aux intermédiaires de recherche.

Un point important revenu dans les entrevues, par rapport à la formation, est que l'IA est un outil et une notion très vaste. L'IA ne devrait pas être utilisée partout s'il existe déjà une solution qui donne des résultats semblables. Si l'IA est utilisée, c'est qu'elle peut aider à une amélioration notable par rapport à ce qui existe déjà. Une formation semble nécessaire sur ce point, car beaucoup d'outils dans la recherche opérationnelle permettraient de résoudre de nombreux problèmes auxquelles les entreprises font face.

Une autre formation de l'IA est également nécessaire pour les grandes entreprises selon l' {Entrevue 5}. En effet, l'IA n'est pas une menace actuelle pour certaines grosses entreprises, car elle n'a pas encore assez de répercussions pour menacer leur marché. Ils adapteront leur processus au temps voulu, mais seulement quand cela sera nécessaire. Or, ces grosses entreprises pourraient vraiment être utiles dans le développement d'écosystème comme celui qui est en train de se créer. Ainsi une sensibilisation pour les grosses entreprises pourrait avoir des retours intéressants.

En plus de former les entreprises, il faudrait former la population du Québec, selon les entrevues, car ce sont les futurs travailleurs des entreprises qu'il faudrait former. En effet, selon l' {Entrevue 5}, seulement 4 % de la population canadienne pourrait expliquer à une autre personne

ce qu'est l'IA. Si le Québec avec le Canada souhaite devenir une référence mondiale dans le domaine de l'IA, cela semble être une mesure importante à mettre en place.

5.4.3.6 Distinction de l'écosystème

En plus de cela, il faut que cette entité fasse en sorte de se démarquer des autres pays qui cherchent eux aussi à devenir des leaders en IA. Pour cela, on peut faire une étude comme l'avait fait NanoQuébec pour déterminer les points forts de l'IA au Québec et de travailler uniquement dessus. Cela permettrait de mieux structurer ce qui se fait actuellement et surtout de se concentrer sur 4 ou 5 thèmes qui permettraient au Québec de se distinguer. Ce point est très important, car financièrement parlant le Québec et le Canada ne peuvent pas rivaliser avec d'autres pays. C'est pourquoi, s'ils veulent devenir des champions de l'IA au niveau mondial il faut qu'ils se concentrent sur leurs atouts pour devenir champions.

5.4.4 Proposition de l'organisation de l'écosystème de l'IA au Québec

Ainsi se termine cette sous-partie de recommandations. À partir de tous ces éléments trouvés, on va essayer de construire un modèle qui serait idéal pour un développement propice de l'écosystème et de l'adoption de l'IA au Québec.

La figure 5.2 représente ce modèle.

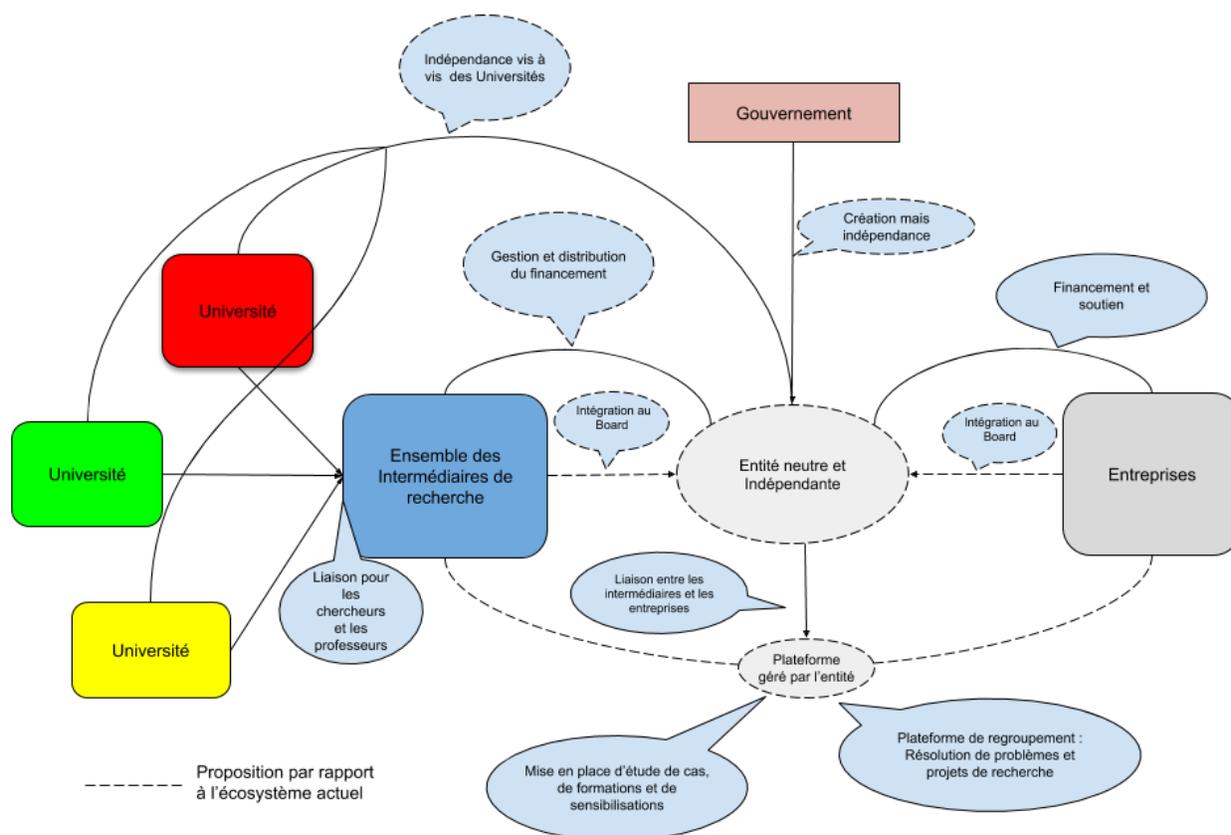


Figure 5.5 : Proposition d'organisation de l'écosystème de l'IA au Québec

Une figure plus lisible sera présentée dans l'annexe E.

L'écosystème actuel de l'IA est composé d'universités qui collaborent avec les entreprises directement ou via des intermédiaires de recherche. Le gouvernement finançant cette collaboration.

L'avantage des intermédiaires de recherche est que cela va permettre de faire des liaisons et de regrouper les différents professeurs des différentes universités.

Ainsi dans la proposition, on souhaite garder cette présence d'intermédiaires. Cependant, la collaboration ne se fera plus directement entre les intermédiaires/universités et les entreprises mais elle se ferait via l'intermédiaire d'une entité neutre et indépendante comme cela a été évoqué dans l'analyse.

Cette entité neutre et indépendante doit être créée par le gouvernement et elle doit être indépendante sur tous les aspects qu'il soit (finance, gestion, etc.). Par exemple, son financement ne doit pas provenir d'une liaison avec une université précise dans l'écosystème. Il doit être directement fourni par le gouvernement.

Un point qui ressort avec la mise en place de cette entité neutre et indépendante est la gestion du financement des intermédiaires et des entreprises. Le gouvernement ferait en sorte de distribuer le financement à cette entité qui se chargera de le répartir équitablement entre les différents acteurs de l'écosystème. L'entité fera également en sorte qu'il y ait des retours sur l'investissement sur les différents financements donnés.

Un autre point est la mise en place d'une plateforme WEB qui permettra l'ajout d'études cas ou de formations pour les entreprises et pour les intermédiaires. Les entreprises passeraient par cette plateforme pour déposer leurs problèmes. L'entité quant à elle se chargera de transférer ces problèmes aux entreprises pour proposer des projets de recherche. L'entité se chargera également de cette plateforme pour qu'elle soit un lieu de formation pour les entreprises et les intermédiaires.

Un dernier point important représenté sur ce schéma est la gestion de l'entité. On peut reprendre la proposition de l' {Entrevue 6} qui est de faire en sorte que le conseil d'administration de l'entité soit divisé entre des membres des intermédiaires de recherche et des membres des entreprises. Au fur et à mesure que l'écosystème évolue, le conseil d'administration pourrait se modifier pour correspondre aux besoins actuels de l'écosystème.

Après avoir présenté ce modèle, on va passer aux limites de l'analyse et du mémoire en général.

5.5 Limites de l'étude

Une des limites principales de ce projet est que c'est une étude exploratoire. On n'a pas de littérature précise pour confirmer ou infirmer les différentes analyses et recommandations qui ont été vues. Ainsi cette étude a pour but d'être poursuivie pour confirmer les propos ou au contraire pour les infirmer et ainsi devenir une ressource intéressante pour la littérature sur le sujet.

Toute l'analyse réseau se base sur des données secondaires, ainsi il est fort probable que le modèle présenté lors de l'analyse réseau ne représente pas fidèlement le modèle actuel qui existe. Il permet d'avoir une représentation proche du modèle actuel mais n'est pas totalement fiable.

En ce qui concerne l'analyse des entrevues, il existe aussi des limites dues au fait que l'ensemble de l'écosystème de l'IA à Montréal n'a pas pu être interrogé. On a interrogé une bonne partie de l'écosystème de recherche pour s'en faire idée, mais il faudrait prendre en compte l'écosystème de l'IA au complet pour compléter au mieux cette étude.

De plus, le modèle présenté à la fin de l'analyse est une proposition propre au chercheur. Le modèle n'a pas pu être validé par des experts et par les répondants des entrevues. Ainsi ce modèle, en admettant qu'il soit accepté, serait très certainement modifié par la suite pour être plus adapté aux besoins de l'écosystème.

Une autre limite est que la comparaison de l'écosystème de l'IA s'est faite avec l'écosystème des MA. La principale raison est que le chercheur connaissait un expert dans l'écosystème des MA qui s'y connaissait également sur l'écosystème de l'IA. Cependant, il existe pleins d'autres modèles au Québec et à Montréal auquel il aurait été intéressant de se comparer afin d'avoir une meilleure approche mais cela n'a pas pu se faire dans le cadre de ce projet de mémoire.

En addition au point précédent, on a essayé de répliquer le modèle de Nano-Québec mais beaucoup de points ne correspondent pas entre l'écosystème des MA et l'écosystème de l'IA, ainsi cette réplique même si elle semble correcte sur le papier aura certainement pleins de défauts lors de la mise en place.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'adoption de l'intelligence artificielle est un vrai défi dans la société actuelle tant pour son développement que pour trouver des solutions adaptées à la société. Cependant, il ne faut pas sous-estimer l'intelligence artificielle, car elle a le potentiel de révolutionner la société actuelle. Surprenant pour une technologie dont le concept existe depuis plus de 60 ans.

Ce mémoire s'insère dans un contexte où l'intelligence artificielle est en évolution et en développement dans un écosystème qui s'est créé au Québec et au Canada. Dans le cadre de ce mémoire, on s'intéresse à l'écosystème de recherche de l'IA au Québec. Cet écosystème est actuellement, principalement axé sur la recherche universitaire autour de l'intelligence artificielle et est composé d'universités, d'entités, que nous avons caractérisées comme intermédiaires de recherche, et d'entreprises.

C'est comme cela qu'est venue la question de recherche : « Est-ce que l'écosystème en émergence de l'intelligence artificielle, avec de nombreux intermédiaires de recherche, est propice à la collaboration et au développement de l'intelligence artificielle ? »

Le deuxième chapitre a permis de décrire l'intelligence artificielle et le contexte de cet écosystème au Québec. Ce chapitre s'est conclu sur le fait que l'écosystème de l'intelligence artificielle au Québec semble être collaboratif et qu'il y a également des intermédiaires de recherche qui se sont créés dans cet écosystème.

Ainsi on voulait d'abord voir à travers ce mémoire si cet écosystème de recherche est vraiment un écosystème collaboratif. L'écosystème de recherche actuelle selon la littérature serait plus considéré comme un réseau et non un écosystème. La principale raison est qu'un écosystème possède une organisation non territoriale avec des pratiques coopératives (Ben Letaifa & Rabeau, 2012). Actuellement, les intermédiaires de l'écosystème ne sont à priori pas collaboratifs entre eux. La majorité de la collaboration se fait directement via les chercheurs et non pas les entités. Ainsi l'écosystème de recherche de l'IA, tel qu'il est actuellement, est plus un réseau complexe et pas encore un écosystème. Une autre raison est la non-présence d'un leader de l'écosystème (Dedehayir et al., 2018). L'entité neutre proposée plus tard peut être un bon leader pour cet écosystème.

Un autre constat du contexte est l'appellation intermédiaire de recherche. On s'est rendu compte à travers cette analyse que les intermédiaires, dans le cadre de cette étude, tel qu'on les a nommés ne sont pas vraiment des intermédiaires. Une des raisons principales est qu'un intermédiaire, selon la littérature, est censé assurer un rôle de transfert entre les universités et les entreprises (Dauphin-Pierre, 2018; E. Villani et al., 2017; Wright et al., 2008). Or actuellement ce transfert n'est qu'unilatéral, soit des entreprises vers les universités. L'appellation choisie dans le cadre de cette étude ne convient ainsi pas aux entités présentes dans cet écosystème de recherche car ces entités ne sont pas des intermédiaires de recherche à proprement parler.

Le troisième chapitre discute de la littérature de la collaboration en général. On a remarqué que la littérature sur la collaboration université-entreprises est relativement complète. De plus, la littérature sur la collaboration université-entreprise, dans le domaine de l'intelligence artificielle, n'est pas encore aussi au point que celle sur la collaboration université-entreprises dans d'autres domaines. Ainsi on espère que cette littérature va se développer et que ce mémoire puisse aider pour de futures recherches.

Le quatrième chapitre revient sur la méthodologie que l'on a suivie pour la réalisation de ce mémoire. On a tout d'abord expliqué comment on a procédé pour réaliser l'analyse réseau qui permettrait de montrer que l'écosystème est collaboratif. Puis on a vu le raisonnement autour de la comparaison de l'écosystème de l'IA avec l'écosystème des MA. Enfin, on est revenu sur la démarche qui a été nécessaire pour procéder aux entrevues.

Le dernier chapitre se concentre sur les résultats. Dans un premier temps, l'analyse réseau a été réalisée, puis dans un deuxième temps celle de l'analyse de l'écosystème des MA ainsi que sa comparaison avec l'écosystème de l'IA, et dans un dernier temps, l'analyse des entrevues, les recommandations ainsi que la proposition d'organisation de l'écosystème de l'IA.

On arrive ainsi à des résultats intéressants et on propose un modèle qui pourrait fonctionner dans l'écosystème de recherche de l'intelligence artificielle au Québec et faire du réseau actuel un vrai écosystème de recherche. Le point à retenir serait la création d'une entité neutre, indépendante et qui aurait le droit d'action et de gestion sur les différentes entités déjà présentes dans l'écosystème pour mieux gérer et structurer cet écosystème.

Les deux propositions de départ sont respectivement : « Les intermédiaires de recherche présents dans l'écosystème d'innovation sont des nœuds de collaborations entre les universités et les entreprises. » et « La présence d'intermédiaires de recherche dans un écosystème d'innovation a une valeur ajoutée pour les entreprises et une valeur ajoutée pour les chercheurs et les universités. »

- **Proposition 1 confirmée.** Même si les intermédiaires de recherche ne sont pas les seuls nœuds existants entre les universités et les entreprises, on a remarqué qu'ils permettaient de créer les liens les plus nombreux. Cependant, les intermédiaires de recherche procèdent à créer le lien, mais ce sont les professeurs, chercheurs, etc. qui permettent vraiment la collaboration entre les différentes intermédiaires.
- **Proposition 2 non confirmée pour les entreprises, mais confirmée pour les universités.** En effet, cela était récurant dans les entrevues que les intermédiaires de recherche ont un apport pour les entreprises mais cela ne correspond pas entièrement à leur besoin dans le cas où elles souhaitent adopter l'intelligence artificielle. Cependant, comme on l'a remarqué précédemment, on n'a pas interrogé de vrais intermédiaires de recherche qui créent un lien de transfert entre les universités et les entreprises. Il faudrait interroger le reste de l'écosystème avant de finaliser cette proposition. Pour conclure, l'apport pour les universités est indéniable que cela soit en termes de recherche, de lieux de rassemblement pour les chercheurs, de création de sujet pour le personnel hautement qualifié ou encore pour l'aide au financement.

Comme il a été vu dans la section 5.5, ils existent de nombreuses limites à l'étude. Tout d'abord, les données ne sont peut-être pas complètes en ce qui concerne l'analyse réseau, mais elles sont suffisantes pour avoir une idée de « l'écosystème » et ont permis de justifier la première proposition. Cependant, les données ne sont pas suffisantes en ce qui concerne les entrevues. On n'a pu interroger que des intermédiaires de recherche dans l'écosystème de recherche du Québec, or l'écosystème de l'IA est bien plus vaste que l'écosystème ou le réseau de recherche. Parmi ces entités, il existe des entités qui complètent l'apport aux entreprises.

On va désormais voir les contributions de ce mémoire. Tout d'abord la mise en avant de la non-présence d'une entité neutre et indépendante dans l'écosystème de Montréal. On précise Montréal, car un centre du genre est en train de se créer dans la ville de Québec. Cette idée d'entité neutre et

indépendante s'inspire de ce qui s'est passé pour les matériaux avancés à Québec. Les matériaux avancés/nanotechnologies sont un secteur qui a fonctionné et qui fonctionnent toujours grâce à la collaboration donc pourquoi ne pas s'en inspirer ? Cependant, il reste à voir si cette entité sera toujours nécessaire dans 2 ou 3 ans quand l'émulation en intelligence artificielle aura diminué. Il serait utile pour mieux structurer et organiser ce qui se passe actuellement dans l'écosystème, mais sans, cela continuerait de fonctionner. On ne connaît pas les résultats que pourrait avoir une telle entité, mais cela serait certainement bénéfique pour l'écosystème. Il y a tout de même des limites à cette entité, car on a cherché à répliquer le modèle de NanoQuébec or ce modèle peut certainement ne pas être adapté aux besoins de l'écosystème de l'IA.

Une autre contribution est le fait de mettre en avant que l'écosystème de recherche que l'on a étudié n'est pas encore un écosystème. Il est en cours de développement et va certainement le devenir, mais actuellement on ne peut pas encore parler d'écosystème de l'IA. On doit tout de même modérer ce propos, car seulement le réseau de recherche de l'IA a été interrogé, ainsi il est probable que cette contribution change en interrogeant le reste de l'écosystème.

Une dernière contribution est le fait que l'appellation « intermédiaires de recherche » ne correspond pas aux entités interrogées dans le réseau de recherche de l'IA au Québec. La raison principale est qu'il n'y a pas de transfert technologique bilatéral, or selon la littérature, ce transfert est un des rôles principaux des intermédiaires de recherche. Les entités interrogées ne sont ainsi pas des intermédiaires, mais tous les potentiels intermédiaires n'ont pas été interrogés, ainsi il est fort probable que d'autres entités dans l'écosystème de l'IA et non pas dans l'écosystème de recherche jouent un vrai rôle d'intermédiaires de recherche.

Afin de compléter cette étude, pour aller plus loin et pour répondre aux limitations mentionnées, plusieurs pistes s'offrent aux chercheurs.

Une première piste est d'interroger un échantillon beaucoup plus grand dans l'écosystème. Cependant, il est clair que pour le moment les apports pour les entreprises ne sont pas suffisants. Si une entité neutre et indépendante, comme proposée avant, ne se fait pas, des solutions, citées par l'Entrevue 3, mais peu rentable, existent, comme la création d'un centre de consulting pour les PME. De plus, l'étude se déroulant au moment où l'intelligence artificielle progresse très rapidement, il serait intéressant de voir ce que cela donne dans quelques années si l'écosystème a fonctionné et si une telle entité se met en place.

Une autre piste est d'aller voir ce que d'autres écosystèmes, en IA ou autres, font, que cela soit au Canada ou ailleurs dans le monde afin d'avoir des bonnes pratiques. On pense, par exemple, au C2Mi qui est un centre international de collaboration dans la microélectronique situé à Montréal qui regroupe des bonnes pratiques pour l'écosystème des MA. Un autre exemple serait le RSRI qui est un écosystème d'innovation collaborative qui regroupe également des meilleures pratiques pour l'ensemble des consortiums de recherche université-entreprise au Québec. On pense également à Toronto avec leur écosystème de l'IA nommé Powerloo, ou à la France et l'Angleterre qui se démarquent également mondialement pour l'écosystème qu'il cherche à créer en IA. Ceci permettrait d'avoir un meilleur modèle de comparaison que l'écosystème des matériaux avancés, que l'on a présenté, même s'il a apporté des notions intéressantes pour l'écosystème de l'IA.

Un dernier point serait d'ouvrir l'étude en regardant tout ce qui concerne la gouvernance des écosystèmes, les partages et les droits de propriétés intellectuelles dans ce genre d'écosystème, la politique publique qui entoure ces écosystèmes ou encore la mesure de performance afin de pouvoir vraiment avoir des données quantitatives pour améliorer ces écosystèmes.

L'écosystème est en émergence et doit s'organiser. Il n'est pas impossible que cela soit déjà un des intermédiaires interrogés ou un des autres intermédiaires présents dans l'écosystème de l'IA qui prenne ce rôle d'entité neutre et indépendante. Mais, au moment de l'étude, les intermédiaires présents dans le réseau de recherche ne remplissent pas tous les critères qui semblent nécessaires, à travers notre analyse, pour prendre le rôle d'entité neutre et indépendante qui aiderait à une meilleure gestion de l'écosystème.

Pour terminer, les entreprises ne doivent pas sous-estimer l'impact que pourrait avoir l'intelligence artificielle dans leur processus et sur leurs structures. Ce n'est pas pour autant qu'elles doivent chercher à l'intégrer à tout prix si cela n'est pas nécessaire. De nombreuses autres étapes existent auparavant, mais il faut chercher à la comprendre et quels sont les bénéfices que cela pourrait avoir. Un jour, l'intelligence artificielle ne sera plus qu'un outil qu'il faudra intégrer dans notre entreprise, mais si l'entreprise n'est pas prête alors elle deviendra certainement obsolète. C'est pourquoi il vaut mieux autant s'y préparer maintenant alors que l'intelligence artificielle n'en est qu'à son début.

RÉFÉRENCES

- Ankrah, S., & AL-Tabbaa, O. (2015). Universities–industry collaboration : A systematic review. *Scandinavian Journal of Management*, 31(3), 387-408.
<https://doi.org/10.1016/j.scaman.2015.02.003>
- Baba, Y., Shichijo, N., & Sedita, S. R. (2009). How do collaborations with universities affect firms' innovative performance? The role of 'Pasteur scientists' in the advanced materials field. *Research Policy*, 38(5), 756-764. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.006>
- Ben Letaifa, S., & Rabeau, Y. (2012). Évolution des relations coopératives et rationalités des acteurs dans les écosystèmes d'innovation. *Management international*, 16(2), 57-.
<https://doi.org/10.7202/1008708ar>
- Berger-Douce, S., & de Conférences, M. (s. d.). *L'accompagnement entrepreneurial par un incubateur universitaire – Le point de vue critique d'un créateur*. 24.
- Boons, F., & Lüdeke-Freund, F. (2013). Business models for sustainable innovation : State-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 45, 9-19.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.007>
- Bozeman, B., Fay, D., & Slade, C. P. (2013). Research collaboration in universities and academic entrepreneurship : The-state-of-the-art. *The Journal of Technology Transfer*, 38(1), 1-67.
<https://doi.org/10.1007/s10961-012-9281-8>
- Chesbrough, H. (2004). Managing Open Innovation. *Research-Technology Management*, 47(1), 23-26. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671604>

Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). *Explicating Open Innovation : Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation*. 37.

Chesbrough, H. W. (2006). *Open Innovation : The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business Press.

Clarysse, B., Wright, M., Bruneel, J., & Mahajan, A. (2014). Creating value in ecosystems : Crossing the chasm between knowledge and business ecosystems. *Research Policy*, 43(7), 1164-1176. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.04.014>

Comment le futur de l'intelligence artificielle pourrait révolutionner le monde d'ici 25 ans. (2015, septembre 13). Consulté 18 septembre 2018, à l'adresse Le Huffington Post website : https://www.huffingtonpost.fr/2015/09/13/futur-intelligence-artificielle-humanite-immortalite-25-ans-2040_n_8123014.html

Dauphin-Pierre, S. (2018). *LA RELATION ENTRE INTERMÉDIAIRES DE RECHERCHE ET PME, ANALYSE ET IMPACTS*. 428.

Dedehayir, O., Mäkinen, S. J., & Roland Ortt, J. (2018). Roles during innovation ecosystem genesis : A literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.028>

Des matériaux intelligents et des systèmes intelligents pour l'avenir. (2000). Consulté 24 avril 2019, à l'adresse <http://www.journal.forces.gc.ca/vol1/no3/doc/7-14-fra.pdf> ?

Ezratty, O. (2016). *Les avancées de l'intelligence artificielle*. 159.

Ezratty, O. (2017). *Les usages de l'intelligence artificielle*. 362.

Futura. (2016). Qu'est-ce qu'un matériau intelligent ? Consulté 26 février 2019, à l'adresse Futura website : <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-materiaux-intelligents-55/page/2/>

Futura. (2018). Petite histoire de l'intelligence artificielle. Consulté 26 février 2019, à l'adresse Futura website : <https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/robotique-robotique-a-z-178/page/3/>

Geneviève Dansereau —2018. (s. d.). Consulté à l'adresse <http://biblos.hec.ca/biblio/memoires/m2018a603357.pdf>

Huang, M.-H., & Chen, D.-Z. (2017). How can academic innovation performance in university–industry collaboration be improved? *Technological Forecasting and Social Change*, 123, 210-215. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.024>

Huizingh, E. K. R. E. (2011). Open innovation: State of the art and future perspectives. *Technovation*, 31(1), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.10.002>

Hülsbeck, M., Lehmann, E. E., & Starnecker, A. (2013). Performance of technology transfer offices in Germany. *The Journal of Technology Transfer*, 38(3), 199-215. <https://doi.org/10.1007/s10961-011-9243-6>

Intelligence artificielle | Investissement Québec. (2019). Consulté 23 avril 2019, à l'adresse <https://www.investquebec.com/international/fr/secteurs-activite-economique/technologies-information-communications/Montreal-centre-mondial-de-l-intelligence-artificielle.html>

- Ivascu, L., Cirjaliu, B., & Draghici, A. (2016). Business Model for the University-industry Collaboration in Open Innovation. *Procedia Economics and Finance*, 39, 674-678. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30288-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30288-X)
- Johnson, M. P., Midgley, G., & Chichirau, G. (2018). Emerging trends and new frontiers in community operational research. *European Journal of Operational Research*, 268(3), 1178-1191. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.032>
- Kurzweil, R. (2005). *THE SINGULARITY IS NEAR*. 434.
- Lind, F., Styhre, A., & Aaboen, L. (2013). Exploring university-industry collaboration in research centres. *European Journal of Innovation Management*, 16(1), 70-91. <https://doi.org/10.1108/14601061311292869>
- McCarthy, J. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. 3.
- Milot, P., Conseil de la science et de la technologie (Québec), & Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie. (2005). *La commercialisation des résultats de la recherche universitaire : Une revue de la littérature : rapport soumis au Conseil de la science et de la technologie*. Montréal : Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie.
- Moore, J. F. (2006). Business Ecosystems and the View from the Firm. *The Antitrust Bulletin*, 51(1), 31-75. <https://doi.org/10.1177/0003603X0605100103>
- NanoQuébec et le Consortium Innovation Polymères deviennent Prima Québec. (2014). Consulté 23 avril 2019, à l'adresse Sherbrooke Innopole website :

innopole.com/fr/nouvelles/nanoquebec-consortium-innovation-polymeres-deviennent-
prima-quebec/

Nilsson, N. J. (2009). *The Quest for Artificial Intelligence : A History of Ideas and Achievements*.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511819346>

Oh, D.-S., Phillips, F., Park, S., & Lee, E. (2016). Innovation ecosystems : A critical examination.

Technovation, 54, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2016.02.004>

Perkmann, M., Tartari, V., McKelvey, M., Autio, E., Broström, A., D'Este, P., ... Sobrero, M.

(2013). Academic engagement and commercialisation : A review of the literature on university–industry relations. *Research Policy*, 42(2), 423-442.

<https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.09.007>

Polycarpou, I., Andreou, P., Laxer, C., & Kurkovsky, S. (2017). Academic-Industry

Collaborations. (:Unav). <https://doi.org/10.1145/3059009.3095098>

PRIMA. (2018).

Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Comment ça fonctionne ? (2018). Consulté 26 février

2019, à l'adresse L'intelligence Artificielle website :

<https://www.inprincipio.xyz/comprendre/>

Rajalo, S., & Vadi, M. (2017). University-industry innovation collaboration : Reconceptualization.

Technovation, 62-63, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.04.003>

Scandura, A. (2016). University–industry collaboration and firms' R&D effort. *Research Policy*,

45(9), 1907-1922. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.06.009>

- Théorie de l'Open Innovation: Données ouvertes, co-crédation de valeur, coopétition – H. Chesbrough. (2017, mai 29). Consulté 26 février 2019, à l'adresse SI & Management website : <http://www.sietmanagement.fr/modele-de-lopen-innovation-h-chesbrough/>
- Tsujimoto, M., Kajikawa, Y., Tomita, J., & Matsumoto, Y. (2018). A review of the ecosystem concept—Towards coherent ecosystem design. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.032>
- UBI Set To Save AI Victims | Sensors Magazine. (2017). Consulté 6 mars 2019, à l'adresse </embedded/ubi-set-to-save-ai-victims>
- Villani, C. (2018). *Donner un sens à l'intelligence Artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf
- Villani, E., Rasmussen, E., & Grimaldi, R. (2017). How intermediary organizations facilitate university–industry technology transfer: A proximity approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 86-102. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.004>
- Walt, S. (1987). Walt1987.pdf. Consulté 18 juin 2019, à l'adresse <http://ianchen.org/teaching/Walt1987.pdf>
- Wirsih, A., Kock, A., Strumann, C., & Schultz, C. (2016). Effects of University-Industry Collaboration on Technological Newness of Firms: EFFECTS OF UIC ON TECHNOLOGICAL NEWNESS. *Journal of Product Innovation Management*, 33(6), 708-725. <https://doi.org/10.1111/jpim.12342>

Wright, M., Clarysse, B., Lockett, A., & Knockaert, M. (2008). Mid-range universities' linkages with industry : Knowledge types and the role of intermediaries. *Research Policy*, 37(8), 1205-1223. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.04.021>

ANNEXE A : GUIDE D'ENTREVUE

Guide d'entrevue pour les organisations intermédiaires aidant à l'adoption de l'IA ou à la valorisation des données

Ce guide d'entrevue servira pour les entrevues semi-dirigées et les entrevues approfondies. Il n'y a pas de différence de question entre les entrevues semi-dirigées et les entrevues approfondies. La différence est que pour les entrevues approfondies nous demanderons plus de justifications via des exemples ou des études de cas.

À travers ce guide d'entrevue, lorsque nous parlerons d'adoption de l'IA cela comprendra l'adoption de l'IA au sens large ainsi que la valorisation des données.

Comment vous identifiez-vous ?

- Votre rôle
 - Votre appellation ?
 - Votre/vos expertise(s) technologique(s) ?

- D'où vient votre financement
 - Privé
 - Gouvernement
 - Bourse
 - Autre

- Votre clientèle cible
 - Taille entreprise (chiffre d'affaires, employés)
 - Industrie
 - Maturité technologique
 - En général ou en sont les entreprises que vous aidez à adopter la technologie ?
 - Comment la sélection se fait-elle ? Est-ce vous qui faites la démarche ou est-ce l'entreprise qui vient vers vous ?

- Proportion des entreprises approchées ou qui vous approchent que vous ne pouvez pas aider, car maturité technologique pas suffisante

- Votre Expertise technologique
 - Sur quoi se base votre expertise technologique ? Recrutement d'experts ?
 - Depuis quand est-ce que vous avez une expertise technologique en IA ? Si ce n'était pas l'origine de la création de l'organisation ?

- Petit historique
 - Date de création
 - Quelques moments clés (changement de stratégie par exemple ou origine de la création)

Informations supplémentaires pour l'analyse réseau

- Avez-vous des liens avec les autres organisations dans le domaine ?
 - Comment se concrétisent ses liens ?
- Projet de recherche ? Accompagnement ? Qu'est-ce que vous faites avec vos partenaires ?
- Est-ce que la liste des partenaires suivants vous semble correcte ? Montrer le tableau Excel puis si nécessaire l'analyse réseau.

Votre rôle et apport envers les entreprises

- Support
- Formation
- Encadrement
- Financier
- Commercialisation
- Autre

- Comment est-ce que vous sensibilisez les entreprises à l'importance des données pour l'IA ? Est-ce que cette sensibilisation est nécessaire ?
 - Est-ce que les entreprises savent ce qu'il faut faire de ces données ? Et le rôle des personnes dans ce domaine ?

- Comment caractérisez-vous les accompagnements que vous faites avec les entreprises qui souhaitent adopter l'IA
 - Donnez quelques indicateurs que vous jugez pertinents
 - Concrètement qu'est-ce que vous faites ?
 - Est-ce que vous passez du temps dans l'entreprise. Si oui quel pourcentage de temps ? (approximativement 25 %, 50 %, plus ?)
 - Est-ce quelqu'un de dédié à l'entreprise ou est-ce une personne qui s'occupe de plusieurs entreprises en même temps

- Quelles sont les contraintes que vous rencontrez en général ? Argent ? Temps ? Refus des conseils ? Résistance au changement ? ... ?

- Quels sont les besoins que vous détectez ?
 - Exemple ?
 - Est-ce que les entreprises complètent en vous disant leurs besoins ? Est-ce que vous résolvez principalement leurs problèmes ou les orientez pour une meilleure adoption ?

- En ce qui concerne les PME, est-ce que vous avez un traitement spécifique ?

Votre rôle et apport envers les universités et les chercheurs

1. Vos liens avec les universités

1. Avez-vous des liens avec les universités
2. Si oui, faites-vous réaliser des projets avec des partenaires universitaires ?
3. Comment caractérisez-vous vos liens avec les universités ? Stages ou autres ? Chercheurs universitaires impliqués dans vos activités ?

2. Quel est l'apport que vous apportez aux universitaires ?
 1. Un lien plus facile ?
 2. Des publications en collaboration ?
 3. Des créations de liens ?
 4. Du financement ?

3. Combien de vos chercheurs dans votre centre participent activement à la recherche en IA ?
 1. Est-ce qu'ils font partie de plusieurs centres ? Donc un esprit de collaboration ?
 2. Est-ce qu'il y a de la collaboration entre chercheurs dans les centres de recherche ? Lesquels sont des intermédiaires entre plusieurs centres en tant que tels ?
 3. Quel type de recherche faites-vous principalement ? Fondamentale ou appliquée ?

4. Est-ce que vous pensez qu'il y a une valeur ajoutée à la collaboration possible entre les différents centres de recherche ?

Valeur ajoutée d'un écosystème collaboratif

1. Est-ce que selon vous cet écosystème collaboratif a une vraie valeur ajoutée ?
2. Est-ce que vous auriez une idée d'entreprise qui est un succès en termes de collaboration ?

ANNEXE B : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Formulaire d'information et de consentement pour les organisations intermédiaires accompagnant les entreprises à valoriser leurs données et à adopter l'IA

Équipe de recherche :

Responsable du Projet : Nathalie De Marcellis-Warin

Professeure titulaire

École Polytechnique de Montréal

C.P. 6079, succ. Centre-ville Montréal (Québec) H3C 3A7

Tél. (514) 340-4711 poste 4127 Fax. (514) 985-4039

Courriel : Nathalie.demarcellis-warin@polymtl.ca

Maxence Albouze

Étudiant en MScA Génie industriel

École Polytechnique Montréal et CIRANO

Tél. (+33)6 48 96 03 12

Courriel : maxence.albouze@polymtl.ca

Genevieve Dufour

CIRANO

Directrice de Projets

Courriel : genevieve.dufour@cirano.qc.ca

Tél. (514)340-4711 poste 3014

Préambule :

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche qui vise à comprendre le mode de fonctionnement et les impacts des organisations intermédiaires entre les universités et les entreprises, car ce sont des acteurs importants pour le développement et l'adoption de

nouvelles technologies, comme l'intelligence artificielle, dans la société. Ce projet servira également à identifier les besoins et le soutien disponible pour les entreprises.

Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au directeur de recherche ou aux autres membres de l'équipe de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui ne serait pas clair.

Présentation du projet de recherche et de ses objectifs :

La présente étude se veut exploratoire et fait partie des projets du pôle de recherche au CIRANO sur les impacts socio-économiques de l'IA.

Nous aimerions nous entretenir avec vous afin de discuter du rôle de votre organisation dans l'accompagnement des entreprises à adopter l'IA ou à valoriser leurs données, du type d'aide que vous fournissez aux entreprises, du lien que vous créez entre les entreprises et les universités et des impacts que cela entraîne pour votre organisation et pour les entreprises que vous accompagnez.

Les résultats seront compilés dans un rapport de recherche à Polytechnique Montréal et au CIRANO.

Afin d'atteindre les objectifs, nous avons effectué une revue de littérature sur le sujet pour en ressortir les principaux axes de réflexion. Nous avons ensuite établi un guide d'entretien semi-dirigé compilant ces derniers à l'intention des organisations intermédiaires que nous souhaitons interroger. En parallèle des entrevues avec les organisations, nous effectuons des entrevues avec des acteurs importants de l'écosystème de l'IA afin d'en comprendre le fonctionnement et son apport auprès des organisations intermédiaires. Enfin nous effectuerons une compilation et analyse des témoignages reçus afin de confirmer ou infirmer les différentes propositions de motivations trouvées au sein de la revue de littérature, mais aussi de proposer des recommandations au domaine universitaire quant à des informations possiblement non identifiées. Des recommandations seront faites à deux niveaux (1) à l'intention des différents organismes ayant pour activité d'aider à la collaboration université-entreprise dans le domaine de l'IA et l'adoption de nouvelles technologies et (2) au Gouvernement pour les programmes d'aides aux entreprises.

Nature et durée de votre participation au projet de recherche :

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous vous invitons à participer à une entrevue (téléphonique ou en personne) d'une durée d'environ une heure. L'entrevue sera orientée autour de différents thèmes définis au préalable par le chercheur et consignés dans le guide d'entrevue.

Dans le cas d'une entrevue en personne, elle s'effectuera dans le lieu décidé par la personne interrogée.

Si, après réflexion, vous acceptez de participer au présent projet, veuillez signer le présent formulaire et le rendre à l'un des membres de l'équipe de recherche.

Avantages pouvant découler de votre participation au projet de recherche :

Vous ne retirerez aucun avantage direct. À terme toutefois, l'ensemble des organisations intermédiaires et autres établissements interrogés pourraient bénéficier des résultats de cette recherche. Cela pourrait s'avérer utile afin d'améliorer le système actuel de l'offre de soutien des organisations intermédiaires. En ciblant les enjeux, risques, et problématiques liés aux organisations intermédiaires, des recommandations pourraient être élaborées à l'attention du gouvernement pour répondre aux problématiques ainsi qu'à améliorer le système en général. Les participants pourront recevoir un exemplaire du rapport contenant les conclusions de l'analyse.

Inconvénients pouvant découler de votre participation au projet de recherche :

Le seul inconvénient lié à la participation à la recherche est le temps que vous devrez consacrer à l'entrevue.

Risques pouvant découler de votre participation au projet de recherche :

Le présent projet de recherche ne fera courir aucun risque plus grand que celui qui est encouru dans la vie de tous les jours. Le principal inconvénient est le temps consacré à l'entrevue.

Les questions posées portent sur l'activité, le fonctionnement et les impacts des organisations intermédiaires.

Si vous ne voulez pas répondre à certaines questions, vous avez le droit, et ce, sans justification.

Compensation financière :

Vous ne recevrez aucune compensation monétaire pour votre participation à ce projet de recherche.

Indemnisation en cas de préjudice et droits du participant :

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit par suite de votre participation à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, l'organisme subventionnaire ou l'établissement de leurs responsabilités légales et professionnelles.

Participation volontaire et possibilité de retrait :

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes libre de refuser d'y participer et pouvez à tout moment décider de vous retirer du projet sans avoir à motiver votre décision et sans risquer d'en subir de préjudice. Cela implique également que vous pouvez décider de mettre fin à l'entrevue à tout moment et sans motif particulier. Vous avez aussi la possibilité de ne pas répondre à toutes les questions posées dans le guide d'entrevue. Si vous décidez de vous retirer du projet, les informations recueillies seront détruites et les réponses ne seront pas considérées pour la recherche.

Les chercheurs ou le comité de la recherche de l'École Polytechnique pourront retirer les participants sans leur consentement, s'ils ne respectent pas les consignes du projet de recherche ou s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet, notamment pour des raisons de sécurité et de faisabilité.

Confidentialité :

Suite à votre entrevue, le chercheur responsable du projet recueillera et consignera les réponses aux questions auxquelles vous aurez répondu.

Seuls les renseignements nécessaires à la bonne conduite du projet de recherche seront recueillis dans le cadre de la présente étude.

Aucun nom ou position dans l'institution/organisme/entreprise de personnes rencontrées ne sera associé aux réponses colligées et par conséquent aucun nom ou position ne sera cité dans le rapport.

Tous les renseignements recueillis au cours du projet de recherche demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi.

Les informations fournies durant l'entrevue resteront anonymes. Si vous décidez que vous ne voulez pas que certaines voire toutes les données fournies dans l'entrevue soient publiées dans le rapport, vous pouvez prévenir l'équipe de chercheurs à tout moment et par tous les moyens de communication proposée ci-dessous avant la remise finale du rapport. Le chercheur responsable veillera alors à ce que toutes les informations que vous avez données soient détruites et ne figurent pas dans le rapport final. Dans le but de ne pas commettre d'erreurs ou de ne pas divulguer d'informations confidentielles, les chercheurs demanderont également une approbation/validation quant aux informations et données citées dans le rapport avant sa publication.

Les informations et données brutes seront conservées informatiquement de façon confidentielle sur une période de 10 ans sur le serveur sécurisé du CIRANO et seuls les chercheurs identifiés à l'étude y auront accès. Ce serveur se trouve dans une salle sécurisée au sein du CIRANO. Ces données seront par la suite détruites à la fin de la période de conservation de 10 ans.

Les données du projet de recherche pourront être publiées dans des revues scientifiques ou partagées avec d'autres personnes lors de discussions scientifiques. Toutefois, aucune publication ou communication scientifique ne renfermera quelques informations que ce soit pouvant permettre de vous identifier.

À des fins de surveillance et de contrôle, le projet de recherche pourra être évalué par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche de l'École Polytechnique de Montréal ou encore une personne mandatée par les organismes subventionnaires de recherche. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Vous avez le droit de consulter les informations que nous aurons recueillies auprès de vous pour vérifier l'exactitude des renseignements collectés aussi longtemps que le chercheur responsable du projet de recherche, ou l'établissement détient ces informations.

Diffusion des résultats aux participants :

Afin que vous puissiez valider l'exactitude des informations diffusées dans le rapport du projet ainsi que le respect de l'anonymat, un résumé simplifié, mais contenant toutefois toutes les informations vous sera envoyé si vous possédez un courriel.

Vous aurez également accès aux rapports publiés au CIRANO et à Polytechnique Montréal.

Conflits d'intérêts :

Il n'existe aucun conflit d'intérêt réel, potentiel ou apparent de la part d'un membre de l'équipe de recherche. Également, aucun conflit d'intérêts institutionnel ne risque d'avoir une incidence sur le projet de recherche.

Personnes-ressources :

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Nathalie De-Marcellis Warin par courriel à Nathalie.demarcellis-warin@polymtl.ca ou par téléphone au (514) 340-4711 poste 4127.

Consentement :

J'ai pris connaissance du présent formulaire d'information et de consentement. Je reconnais qu'on m'a expliqué clairement la nature de ma participation au projet de recherche, qu'on a répondu à mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision. Je consens à participer à ce projet de recherche aux conditions qui sont énoncées dans le présent formulaire dont on m'a remis une copie.

Nom et signature du participant de recherche

Date

Je certifie que j'ai expliqué au participant la nature de sa participation au présent projet de recherche, répondu aux questions qu'il avait à cet égard et lui ai clairement indiqué qu'il demeurerait libre de mettre un terme à sa participation à tout moment, et ce, sans subir le

moindre préjudice. Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter les modalités décrites dans le présent formulaire d'information et de consentement et déclare en avoir remis une copie signée au participant.

Nom et signature du chercheur

Date

ANNEXE C : CODE SUR LA PLATEFORME R-STUDIO POUR LA RÉALISATION DE L'ANALYSE RÉSEAU

On a ensuite réalisé l'analyse réseau sur R, car le logiciel s'y prêtait bien et que des connaissances dans ce langage de programmation ont été apprises au cours de la réalisation du mémoire. Pour bien réaliser cette analyse réseau, on s'est appuyé sur le site de Katia Ognyanova qui réalise des tutoriels sur le langage R (<https://kateto.net/networks-r-igraph>).

Pour débiter l'analyse, on a tout d'abord dû mettre en place les différentes bibliothèques que l'on va utiliser dans l'analyse réseau. Le langage R a besoin que l'on appelle les différentes bibliothèques que l'on souhaite utiliser ensuite dans le code. On arrive donc au code suivant :

```

{r}
library(igraph)
library(ggplot2)
library(ggthemes)
library(gsheet)
library(dplyr)

```

Figure C.1 : Code Analyse réseau, partie 1/6

Pour l'ensemble du code, on a à chaque fois un ensemble « `{r}` ». Ceci correspond au fait que l'on va ouvrir des chunk ou des sous-parties de code que l'on va pouvoir ensuite faire fonctionner morceau par morceau sur la plateforme Nuance-R.

La bibliothèque `igraph` permet la réalisation du graphe pour une analyse réseau. La bibliothèque `ggplot2` permet la réalisation de graphes. La bibliothèque `ggthemes` permet de modifier le thème des graphes et de rajouter des fonctions qu'il n'y a pas dans la bibliothèque de `ggplot2`. La bibliothèque `gsheet` permet d'importer des données sur R à partir de feuilles Excel sur Google Sheet. La bibliothèque `dplyr` permet d'analyser des données et rendre ces données plus facilement utilisables sur Nuance-R.

La prochaine étape a été de récupérer toutes les données que l'on a sur le Google Excel que l'on a réalisé précédemment et de bien organiser les données afin de pouvoir réaliser au mieux l'analyse réseau. Toutes les étapes qui ont été faites sur le Google Excel sont réalisables sur R, mais ont été réalisées sur Excel pour une facilité de réalisation. On a donc le code suivant :

```

`(`
#Récupération des données via Google Doc
nodes <-
  gsheet2tbl(
    "https://docs.google.com/spreadsheets/d/1T0dbEvXn8mI8_SCLnAnXYEMKoAUD1V81dk_HyG03nrU/edit#gid=664244030"
  )
links <-
  gsheet2tbl(
    "https://docs.google.com/spreadsheets/d/1T0dbEvXn8mI8_SCLnAnXYEMKoAUD1V81dk_HyG03nrU/edit#gid=464742232"
  )

```

Figure C.2 : Code Analyse réseau, partie 2/6

Ces deux premières lignes permettent d'associer l'ensemble des données du Google Excel à des dataframes respectivement nommé nodes et links. Des dataframes sont des tableaux regroupant des données sur R. Le lien URL associé à nodes correspond à la feuille [Liste Entité + ID] et le lien URL associé à Links correspond à la feuille [Entité + Partenaires mémoire].

```

#Suppression des colonnes et lignes inutiles

nodes$`3DSemantix` <- NULL
nodes$X4 <- NULL

nodes = nodes %>%
  na.omit()

links$X5 <- NULL

links = links %>%
  na.omit()

```

Figure C.3 : Code Analyse réseau, partie 3/6

Les lignes précédentes permettent de supprimer les données inutiles dans les data frames qui on a servis dans l'organisation de l'Excel ou des cases vides qui empêchent à l'analyse réseau de se faire. Par exemple la colonne où on a regroupé l'ensemble des entités et des partenaires et la colonne vide pour plus de visibilité entre Weight et cette colonne sont inutile pour R donc on les a supprimés avec les lignes 'nodes\$`3DSemantix` <- NULL' et 'nodes\$X4 <- NULL'. On a procédé de même avec la ligne 'links\$X5 <- NULL' pour supprimer la cinquième colonne de la feuille [Entité + Partenaire mémoire]. Les lignes 'nodes = nodes %>% na.omit()' et 'links = links %>% na.omit()' ont permis de supprimer des cases inutiles ou les mentions NA apparaissaient, car il n'y avait pas de données. Cela arrivait de temps en temps, quand par exemple on n'a pas

trouvé de partenaires pour un des centres de recherche, mais que l'on souhaitait que ce centre de recherche apparaisse toujours dans l'analyse réseau.

On arrive donc aux figures suivantes qui ne sont qu'une petite partie de l'ensemble des dataframes.

| From ↕ | To ↕ | Entité ↕ | Partenaires |
|--------|------|--------------------------------------------|---------------------------|
| s50 | s05 | CERC Data Science For Real Decision Making | Adopt : a Kronos Division |
| s50 | s32 | CERC Data Science For Real Decision Making | Bell Helicopter |
| s50 | s34 | CERC Data Science For Real Decision Making | Bixi |
| s50 | s41 | CERC Data Science For Real Decision Making | CAE |
| s50 | s54 | CERC Data Science For Real Decision Making | Chu Sainte-Justine |
| s50 | s96 | CERC Data Science For Real Decision Making | Ericsson |
| s50 | s97 | CERC Data Science For Real Decision Making | Erudite Science |
| s50 | s103 | CERC Data Science For Real Decision Making | ExPretio |
| s50 | s117 | CERC Data Science For Real Decision Making | Fujitsu |
| s50 | s119 | CERC Data Science For Real Decision Making | GIRO |
| s50 | s126 | CERC Data Science For Real Decision Making | Huawei |
| s50 | s127 | CERC Data Science For Real Decision Making | Humanitas |
| s50 | s128 | CERC Data Science For Real Decision Making | Hydro Québec |
| s50 | s129 | CERC Data Science For Real Decision Making | I perceptions |
| s50 | s130 | CERC Data Science For Real Decision Making | IBM |
| s50 | s137 | CERC Data Science For Real Decision Making | Intact Insurance |
| s50 | s143 | CERC Data Science For Real Decision Making | jda. |
| s50 | s148 | CERC Data Science For Real Decision Making | Kronos |
| s50 | s186 | CERC Data Science For Real Decision Making | Predict Anticipate & Save |
| s50 | s208 | CERC Data Science For Real Decision Making | Schneider Electric |
| s50 | s226 | CERC Data Science For Real Decision Making | Thales |
| s55 | s17 | CIFAR | amii |
| s55 | s43 | CIFAR | Canada |
| s55 | s164 | CIFAR | Mila |
| s55 | s258 | CIFAR | Vector Institute |
| s58 | s18 | Cirrelet | AMT |

Figure C.4 : Extrait du dataframe Links

| ID | Entité | Weight |
|-----|--------------------------------------------|--------|
| s01 | 3DSemantix | 2 |
| s02 | 4 Point 0 | 1 |
| s03 | aair | 1 |
| s04 | adeptmind | 1 |
| s05 | Adopt : a Kronos Division | 2 |
| s06 | ADRIQ | 1 |
| s07 | Aéro Montréal | 1 |
| s08 | agile DSS | 1 |
| s09 | AI OUTCOME | 1 |
| s10 | AIMS | 1 |
| s11 | Air Canada | 1 |
| s12 | AIRUDI | 1 |
| s13 | AlayaCare | 1 |
| s14 | algolix | 1 |
| s15 | Alma Mater Studiorum Universita di Bologna | 1 |
| s16 | Amazon.com | 1 |
| s17 | amii | 3 |
| s18 | AMT | 1 |
| s19 | Apogée Canada | 1 |
| s20 | ApSTAT | 1 |
| s21 | aqiii | 1 |
| s22 | AQT | 1 |
| s23 | ARC | 1 |
| s24 | Atlanstic | 1 |
| s25 | Automotive Partership Canada | 1 |
| s26 | Autorité des marchés financers | 1 |
| s27 | Axel | 1 |

Figure C.5 : Extrait du dataframe Nodes

Dans les figures suivantes, on a l'impression que rien n'a changé par rapport au tableau dans l'Excel, mais les données ont été importées avec succès sur la plateforme R et on ne le voit pas sur les figures en question, mais un tri des données a été réalisé.

```
#Vérification des données pour savoir si il y a des données dans Links et qu'il n'y a pas dans nodes
nodesID <- nodes$ID
c(links$From, links$To) %in% nodesID
linkscol23 <- links[,2:3]
...
```

Figure C.6 : Code Analyse réseau, partie 4/6

Les lignes précédentes ont permis de faire une vérification des données. Tout ayant été fait à la main sur l'Excel auparavant, des erreurs ont pu se produire que ce soit par exemple des erreurs de frappe, des manières différentes d'écrire une même entité ou des associations qui n'existaient pas ou que la plateforme R n'arrivait pas à retrouver pour faire l'analyse. La première ligne permettait de recréer un dataframe comprenant simplement les ID de nodes. Ensuite on comparait les colonnes 'From' et 'To' de Links à ce dataframe pour voir s'il y avait des choses qui ne correspondaient pas.

Ainsi ces lignes permettaient d'arriver à l'ensemble suivant.

```

Missing column names filled in: 'X4' [4]Missing column names filled in: 'X5' [5] [1] TRUE TRUE
TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
[31] TRUE TRUE
[61] TRUE TRUE
[91] TRUE TRUE
[121] TRUE TRUE
[151] TRUE TRUE
[181] TRUE TRUE
[211] TRUE TRUE
[241] TRUE TRUE
[271] TRUE TRUE
[301] TRUE TRUE
[331] TRUE TRUE
[361] TRUE TRUE
[391] TRUE TRUE
[421] TRUE TRUE
[451] TRUE TRUE
[481] TRUE TRUE
[511] TRUE TRUE
[541] TRUE TRUE
[571] TRUE TRUE
[601] TRUE TRUE

```

Figure C.7 : Vérification des correspondances des ID sur R

À chaque fois qu'il y a un TRUE, une correspondance correcte se faisait. Ici on a la vérification finale des données, mais la première fois que le programme a tourné il y avait beaucoup d'erreurs qui résultaient par un FALSE au lieu d'un TRUE.

```

... (r)

#Transformation en net

net <- graph_from_data_frame(d = links,
                             vertices = nodes,
                             directed = T)

net
...

```

Figure C.8 : Code Analyse réseau, partie 5/6

Les lignes précédentes permettent de transformer en net toutes les données précédentes. Pour cela on prend la fonction `graph_from_data_frame` auquel on incrémente les dataframe `links` et `nodes`. La ligne `net` permet d'afficher ces données et les liaisons qu'il obtient. La figure suivante montre ce que l'on obtient.

```

IGRAPH ba0d6e2 DN-- 262 309 --
+ attr: name (v/c), Entité (v/c), Weight (v/n), 3DSemantix (v/c), Lien (e/c), Partenaires (e/c)
+ edges from ba0d6e2 (vertex names):
[1] s50 ->s05 s50 ->s32 s50 ->s34 s50 ->s41 s50 ->s54 s50 ->s96 s50 ->s97 s50 ->s103 s50 ->s117 s50 ->s119 s50 ->s126 s50 ->s127 s50 ->s128
[14] s50 ->s129 s50 ->s130 s50 ->s137 s50 ->s143 s50 ->s148 s50 ->s186 s50 ->s208 s50 ->s226 s55 ->s17 s55 ->s43 s55 ->s164 s55 ->s258 s58 ->s18
[27] s58 ->s44 s58 ->s49 s58 ->s52 s58 ->s64 s58 ->s65 s58 ->s72 s58 ->s87 s58 ->s91 s58 ->s92 s58 ->s94 s58 ->s110 s58 ->s112 s58 ->s113
[40] s58 ->s114 s58 ->s115 s58 ->s122 s58 ->s128 s58 ->s134 s58 ->s142 s58 ->s147 s58 ->s148 s58 ->s149 s58 ->s162 s58 ->s165 s58 ->s167 s58 ->s168
[53] s58 ->s179 s58 ->s198 s58 ->s201 s58 ->s202 s58 ->s204 s58 ->s207 s58 ->s211 s58 ->s214 s58 ->s232 s58 ->s233 s58 ->s238 s71 ->s06 s71 ->s21
[66] s71 ->s22 s71 ->s46 s71 ->s47 s71 ->s59 s71 ->s80 s71 ->s100 s71 ->s101 s71 ->s142 s71 ->s188 s71 ->s194 s71 ->s200 s71 ->s223 s71 ->s224
[79] s74 ->s48 s74 ->s193 s74 ->s61 s74 ->s84 s74 ->s43 s74 ->s234 s74 ->s83 s74 ->s23 s74 ->s152 s74 ->s231 s118->s01 s118->s05 s118->s37
[92] s118->s51 s118->s53 s118->s76 s118->s81 s118->s83 s118->s96 s118->s99 s118->s111 s118->s119 s118->s123 s118->s126 s118->s128 s118->s142
+ ... omitted several edges

```

Figure C.9 : Création du net sur R

On voit bien dans la figure précédente que R va associer chacune des liaisons qu'il y avait entre les colonnes 'From' et 'To'. Ainsi l'analyse réseau d'une certaine manière est faite, il reste plus qu'à la rendre plus belle et de l'afficher sous forme d'un graphe. Le code suivant permet de faire ceci.

```

""{r}

# Set node size based on weight size:
V(net)$size <- V(net)$Weight * 0.2

# 1. Open a pdf file
pdf("analyseReseauEcosystemeCollaboratifIaMontreal.pdf")

# 2. Create the plot
plot(
  net,
  vertex.label = V(net)$Entité,
  vertex.label.color = "black",
  vertex.label.cex = 0.6 ,
  edge.arrow.size = .1,
  edge.curved = 0,
  layout=layout_with_fr(net),
)

# 3. Close the file
dev.off()

```

Figure C.10 : Code Analyse réseau, partie 6/6

La première ligne va être le moment où on utilise la colonne 'Weight' dans {Liste Entité + ID mémoire}. On va ainsi associer à chaque ID une taille de nœud qui sera proportionnelle à son poids

dans la colonne 'Weight'. La ligne suivante va permettre d'exporter l'analyse réseau que l'on obtiendra sous format PDF.

La partie suivante est la partie importante, on va créer le plot soit le graphe. Pour cela on se sert de la fonction plot, dans laquelle on va insérer le net créé précédemment. Vertex.label permet de nommer chaque extrémité du graphe soit chaque ID avec son nom correspondant. Vertex.label.color permet de définir la couleur de l'écriture du nom de chaque extrémité. Vertex.label.cex permet de définir la taille de la légende des ID. Edge.arrow.size permet de définir la taille des flèches reliant chaque ID entre elles. Edge.curved permet de définir si l'on veut que les flèches reliant les ID entre elles soient plus ou moins courbées. Layout permet de combiner plusieurs données du net précédent ensemble.

La dernière ligne permet de fermer et d'exporter le fichier PDF que l'on a créé.

Ainsi l'ensemble de ces lignes permet d'obtenir un graphe qui ressemblera à la figure suivante. La figure a été obtenue dans le tutoriel que l'on a consulté pour réaliser cette analyse réseau.

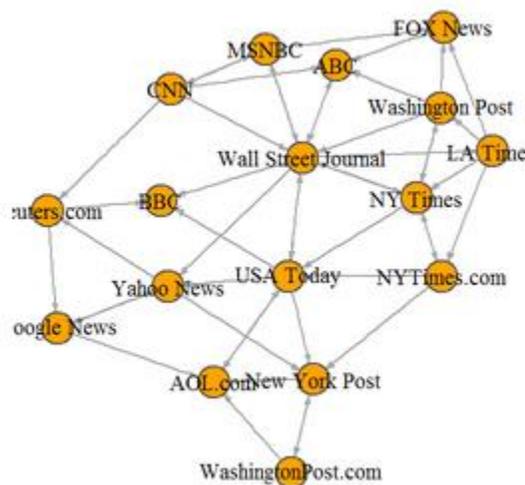


Figure C.11 : Exemple d'analyse de réseau

le graphe final d'analyse de réseau sera présenté dans la partie résultat du mémoire et sera analysé en même temps.

ANNEXE E : PROPOSITION D'ORGANISATION DE L'ÉCOSYSTÈME DE L'IA AU QUÉBEC INCLUANT UNE ENTITÉ NEUTRE ET INDÉPENDANTE

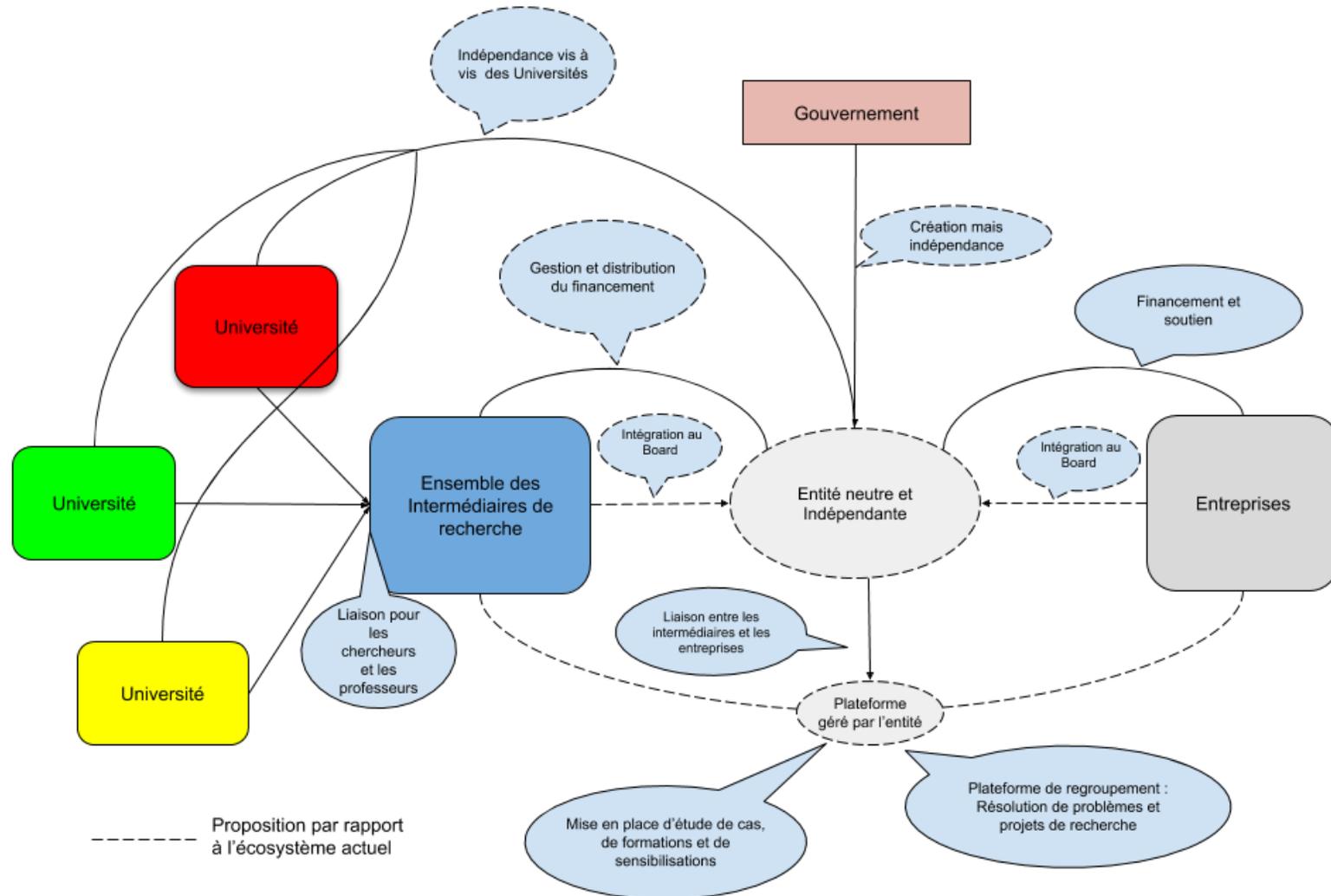


Figure E.13 : Proposition d'organisation de l'écosystème d'IA au Québec