

HEC Montréal

**Ville intelligente et grappe industrielle en intelligence artificielle ; le
cas de Montréal**

par

Valencia Pasteur Brun

**Sciences de la gestion
(Spécialisation Affaires internationales)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences
(M. Sc.)*

Ekaterina Turkina
HEC Montréal
Directrice de recherche

Août 2022

© Valencia Pasteur Brun, 2022

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de notre politique en cette matière.

Projet # : 2022-4355

Titre du projet de recherche : Industrie 4.0 : Montréal comme ville intelligente et analyse de sa grappe industrielle en intelligence artificielle

Chercheur principal :
Valencia-Pasteur Brun,
HEC Montréal

Directeur/codirecteurs :
Ekaterina Turkina
Professeur - HEC Montréal

Date d'approbation du projet : 01 décembre 2021

Date d'entrée en vigueur du certificat : 01 décembre 2021

Date d'échéance du certificat : 01 décembre 2022



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Résumé

Cette recherche porte sur la quatrième révolution industrielle, dont l'industrie 4.0 qui transforme les entreprises et organisations par la numérisation des données, des opérations et des processus. Cette numérisation est façonnée par les innovations technologiques de l'industrie 4.0, telles que l'Internet des objets et Big Data qui intègrent l'intelligence artificielle.

Par la mondialisation et l'implantation des innovations technologiques au sein des sociétés, cette recherche survole l'intérêt des villes intelligentes à incorporer les technologies de l'information et des communications et celles de l'industrie 4.0 dans les services et produits accessibles aux citoyens.

Ainsi, cette étude de cas explore le rôle de Montréal, ville reconnue à l'internationale pour ses initiatives de ville intelligente, et l'utilisation de sa grappe industrielle en intelligence artificielle en contexte de transformation numérique des organisations et des entreprises. Le thème de la compétitivité est abordé en lien avec la collaboration et la compétition saine entre les parties prenantes de la grappe et la diffusion de l'innovation, dans l'objectif d'appuyer les initiatives de ville intelligente. Également, le thème de la gouvernance des technologies de l'industrie 4.0, dont l'intelligence artificielle, est discutée en fonction de la gouvernance transparente des décideurs publics et la prise de décision des différentes parties prenantes de la société en ce qui concerne la conception et l'utilisation de l'intelligence artificielle. Finalement, nous abordons les différentes façons d'intégrer l'intelligence artificielle à la ville intelligente pour résoudre des enjeux d'ordre sociétaux.

Mots-clés : Intelligence artificielle, ville intelligente, grappe industrielle, industrie 4.0, transformation numérique, Internet des objets, Big Data, TIC, étude de cas.

Abstract

This research focuses on the fourth industrial revolution, including Industry 4.0, which is transforming companies and organizations through the digitization of data, operations, and processes. This digitization is shaped by Industry 4.0' technologies such as the Internet of Things and Big Data that integrate artificial intelligence.

With the globalization and implementation of technological innovations within societies, this study explores the interest of smart cities in incorporating information and communication technologies and Industry 4.0 technologies into the services and products available to citizens.

Through this case study, this research explores the role of Montreal, a city recognized internationally for its smart city initiatives, and the use of its artificial intelligence industrial cluster in the context of the digital transformation of organizations and businesses. The theme of competitiveness concerns collaboration and healthy competition between cluster stakeholders and the dissemination of innovation to support smart city initiatives. Also, the theme of Industry 4.0 technologies governance, including artificial intelligence, is discussed through transparent government from the public policy-makers and decision-making of different societal stakeholders. We examine their implication concerning the development and use of artificial intelligence. Finally, we discuss how artificial intelligence can integrate into the smart city to solve societal issues.

Key words: *Artificial intelligence, smart city, industrial cluster, industry 4.0, digital transformation, the Internet of Things, Big data, ICT, case study.*

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des tableaux	viii
Liste des figures	viii
Liste des abréviations et sigles	ix
Remerciements	x
Chapitre I Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Intérêts de la recherche	3
1.4 Choix de l'étude de cas	5
1.5 Structure du travail de recherche	6
CHAPITRE II	7
2.1 Quatre révolutions industrielles	7
2.1.1 Première révolution industrielle.....	8
2.1.2 Deuxième révolution industrielle.....	10
2.1.3 Troisième révolution industrielle.....	11
2.1.4 Quatrième révolution industrielle : industrie 4.0	12
2.2 Tendances actuelles de l'industrie 4.0	20
2.2.1 Internet des objets (IdO)	20
2.2.2 Big Data : extraction et analyse des données	25
2.2.3 Intelligence artificielle (IA)	31
2.3 Ville intelligente en contexte d'industrie 4.0	39
2.3.1 Définition de ville intelligente	39
2.3.2 Ville intelligente et TIC	41
2.3.3 Big Data, IdO et l'IA dans la ville intelligente en contexte industrie 4.0.....	44
2.3.5 Enjeux	45
2.4. Grappe industrielle et ville intelligente en contexte d'industrie 4.0	46

CHAPITRE III	48
3.1 Cadre conceptuel.....	48
CHAPITRE IV	53
4.1 Stratégie de recherche	53
4.1.1 Canevas de recherche.....	53
4.1.2 Étude de cas simple (unique)	53
4.2 Méthode de collecte de données	54
4.2.1 Établir la démarche de recherche	54
4.2.2 Documentation.....	54
4.2.3 Entretiens individuels semi-directifs.....	55
4.2.4 Échantillon	55
4.3 Procédures d'analyse	58
4.3.1 Codification.....	58
4.3.2 Critères de qualité	59
CHAPITRE V	61
5.1 Portrait de Montréal	61
5.2 Ville intelligente de Montréal	63
5.2.1 Vision de la ville intelligente – 2014 à 2017	63
5.2.2 Vision de la ville intelligente 2017 à 2030	66
5.3 Contexte historique et politique : Implications gouvernementales en IA	70
5.3.1 Grappe canadienne en IA.....	70
5.3.2 Grappe québécoise en IA	72
5.4 Portrait de la grappe industrielle en IA de Montréal.....	73
5.4.1 Acteurs en IA à Montréal.....	74
5.4.2 Retombées économiques et sociales de la grappe industrielle en IA dans la ville de Montréal.....	78
5.4.3 Défis de la grappe industrielle en IA de Montréal	78

CHAPITRE VI.....	80
6.1 Présentation des résultats	80
6.1.1 Partie 1 : Quatre révolutions industrielles.....	80
6.1.2 Partie 2 : Compétitivité dans la ville intelligente.....	86
6.1.3 Partie 3 : Gouvernance des technologies	91
6.1.4 Partie 4 : Implantation de l'IA dans la ville intelligente.....	93
6.2 Discussion	95
 CHAPITRE VII	 103
7.1. Sommaire	103
7.2 Limites de la recherche	104
7.3 Recherches futures	104
 Bibliographie.....	 105
Revue de presse : Étude de cas	111
Annexe i : Guide d'entrevue	xi
Annexe ii : Écosystème québécois en intelligence artificielle.....	xiv
Annexe iii : Classement mondial du Québec en intelligence artificielle	xv

Liste des tableaux

Tableau 2.1.4.1 Sommaire des technologies innovatrices actuelles dans le contexte d'industrie 4.0.....	14
Tableau 2.1.4.3 Compétences et métiers émergents dans l'industrie de production.....	19
Tableau 2.3.1.1 Caractéristiques et facteurs d'une ville intelligente.....	40
Tableau 4.2.4.1 Échantillon de la recherche.....	56
Tableau 4.3.2.1 Critères de qualité d'une étude de cas.....	60
Tableau 5.1.1 Portrait territorial de Montréal.....	61
Tableau 5.2.1.1 Classement des top 10 pays leaders en intelligence artificielle.....	72
Tableau 5.4.1 Grappe industrielle en IA de Montréal.....	74

Liste des figures

Figure 2.1.1 – Les quatre révolutions industrielles.....	8
Figure 2.1.4.2 – Les freins perçus par les chefs d'entreprise dans le déploiement de l'Industrie 4.0.....	18
Figure 2.2.3.1 – Les approches de l'IA accompagné d'un exemple.....	33
Figure 2.3.2.1 – Triple hélice de la ville intelligente.....	43
Figure 3.1.1 – Cadre conceptuel initial de grappe industrielle en IA et la ville intelligente en contexte d'industrie 4.0.....	52
Figure 5.2.1.1 – Sommaire des orientations stratégiques de la ville intelligente 2014-2017.....	64
Figure 5.3.1 – Relation d'interdépendance entre la grappe industrielle canadienne, québécoise et montréalaise.....	70
Figure 6.1.2 – Cadre conceptuel final.....	102

Liste des abréviations et sigles

AA	Apprentissage automatique
AI	« <i>Artificial intelligence</i> »
AP	Apprentissage profond
BVIM	Bureau de la Ville intelligente de Montréal
CPDQ	Caisse de dépôt et placement du Québec
DL	« <i>Deep learning</i> »
GAFAM	Google, Apple, Microsoft, Amazon, Facebook
IA	Intelligence artificielle
IdO	Internet des objets
IoT	« <i>Internet of Things</i> »
IVADO	Institut de valorisation des données
LIUM	Laboratoire d'innovation urbaine de Montréal
MEI	Ministère de l'Économie et de l'Innovation
Mila	Mila – Institut québécois d'intelligence artificielle
ML	« <i>Machine learning</i> »
PME	Petites et moyennes entreprises
RFID	Radio-identification
Scale AI	Supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA
STM	Société de transport métropolitain de Montréal
TI	Technologies de l'information
TIC	Technologies des communications et de l'information

Remerciements

Je tiens à remercier, tout d’abord, la patience, l’encadrement et la pédagogie de ma directrice de recherche, Ekaterina Turkina. Ta disponibilité, tes connaissances de mes sujets de recherche et ton soutien continu pendant près de deux ans m’ont permis de réaliser ce projet. Je me considère extrêmement chanceuse d’avoir été prise sur ton aile durant cette étape importante de ma vie!

Aussi, je souhaite souligner l’aide de mes collègues de l’industrie en intelligence artificielle de Montréal qui m’ont guidé et cru en moi. Merci à vous tous, et plus spécialement à la communauté du Mila qui a fait partie de ma vie tout au long de l’écriture de ce mémoire. Je me sens privilégiée d’avoir été actrice du développement de l’intelligence artificielle responsable au bénéfice de tous. Je tiens à remercier Vincent, Marie-Claude, Brigitte et Émélie de m’avoir ouvert les portes de Mila. Grâce à vous, j’ai pu concilier études et travail avec aisance. Je vous en serai toujours reconnaissante!

Par ailleurs, les études peuvent parfois être difficiles à accomplir lorsqu’on vit des situations ardues dans sa vie de jeune adulte. Je souhaite remercier Lisa – ma psychothérapeute en or – qui m’a offert des outils en santé mentale pour réaliser un des marathons du cycle supérieur. Merci de m’avoir dit les bons mots aux bons moments, de normaliser les moments de repos et de croire en moi. Ton approche thérapeutique et de coaching était plus que nécessaire dans cette étape de ma vie.

Également, un grand merci à mes proches et ma famille, plus précisément à *papi*, Marie-Lourdes, Josué, Faten, Élise, Maxime et Nathan, d’avoir enduré mes remises en question. Votre bienveillance et votre désir de me voir réussir ont fait partie du succès de ce mémoire complété.

Finalement, un grand merci à tous les gens inspirants que j’ai rencontré dans ma vie qui m’ont encouragé à chaque jalon du projet à travers les médias sociaux (Instagram, Snapchat, Facebook). Malgré la distance, vous avez pu être présents dans cette aventure!

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Contexte

À l'époque actuelle, nous vivons dans la quatrième révolution industrielle. Cette période, également intitulée l'« industrie 4.0 », incite les entreprises et organisations à numériser plusieurs activités, opérations et tâches, notamment par l'utilisation des données en temps réel (Koch *et al.*, 2014; Kohler et Weisz, 2016; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Rüßmann *et al.*, 2015; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018). À cet effet, ce concept a vu le jour en 2011, en Allemagne, suite à l'initiative du pays d'injecter 40 milliards d'euros chaque année jusqu'en 2020 pour accorder au secteur industriel de numériser leurs opérations et processus dans l'optique d'augmenter la productivité des usines et entreprises, et de mieux rivaliser à l'international (Koch *et al.*, 2014).

À présent, plusieurs pays construisent des projets en lien avec la numérisation des organisations et entreprises et innovations technologiques. Sur le plan des technologies de l'industrie 4.0, on compte une panoplie d'entre-elles dont Big Data, l'Internet des objets (IdO) et l'intelligence artificielle (IA) qui sont en mesure d'user de l'Internet et des technologies de l'information et des communications (TIC).

Par la suite, les technologies de l'industrie 4.0 créent le phénomène qu'on appelle aujourd'hui la transformation numérique des organisations et des entreprises. Cette transformation propose une numérisation des données, un processus d'automatisation et parfois la refonte d'infrastructure technologique pour les amener à être plus efficaces et compétitives. Cependant, cette ère s'accompagne d'enjeux en matière de transformation de la main-d'œuvre, de cybersécurité et d'enjeux éthiques liés à la protection des données et la vie privée des gens (Kohler et Weisz, 2016). Bref, bien qu'elle comporte des défis non négligeables, l'industrie 4.0 amène divers industries et secteurs de la société, tels que le transport, la santé et l'éducation, à évoluer et changer à travers le temps pour combler les demandes et besoins des consommateurs et des citoyens. Ces enjeux sociétaux influencent particulièrement les populations qui résident dans les villes (Townsend, 2013).

Les villes sont appelées à se transformer à partir des mouvements urbains. L'Organisation des Nations unies (ONU) prévoit que d'ici 2030, 60 % de la population mondiale vivra dans des villes (United Nations, 2020). Depuis des milliers d'années, les villes ont été les endroits où nous constatons une production de la richesse économique et de l'innovation (Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Reese, 2018). Le Goix (2005 : 29) appuie que dans le processus de diffusion de l'innovation, une innovation atteindra tout d'abord les plus grandes villes avant d'aboutir aux plus petites. Donc, depuis des décennies, il remarque qu'on assiste à une ouverture des frontières des pays, une économie de plus en plus mondialisée et un exode rural vers les villes ; des territoires et régions se sont transformés en créant des « villes globales » ou mondiales comme New York, Londres, Paris, Singapour ou Francfort (Le Goix, 2005 : 16). Par ailleurs, dans un contexte de mondialisation, les villes sont en mesure de rester connectées et de s'accroître par les flux d'informations, d'humains, de services et d'échanges commerciaux à l'échelle mondiale (Le Goix, 2005).

Cela étant dit, les villes sont constituées d'une plus grande diversité de citoyens appartenant à différentes classes économiques et sociales qui les obligent et les décideurs publics à répondre aux différents besoins, pour ultimement assurer des conditions optimales de bien-être et de qualité de vie à tous (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014). Par conséquent, les réalités sociales et économiques incitent les villes à intégrer différentes innovations technologiques au sein de leurs industries et secteurs pour s'adapter aux environnements changeants. Dans le cadre de l'industrie 4.0, les études démontrent que maintes de ces technologies peuvent s'appliquer à celui de la « ville intelligente » (Allam et Dhunny, 2019; Lom, Pribyl et Svitek, 2016).

La ville intelligente est un concept qui est étudié depuis une vingtaine d'années par la communauté scientifique. À l'échelle de la ville intelligente, des chercheurs (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Dameri, 2017; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Nam et Pardo, 2011; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017) sont d'avis que l'objectif des villes intelligentes est d'améliorer la qualité de vie des citoyens tout en offrant un environnement durable pour résoudre les enjeux sociétaux à l'aide des technologies, dont les TIC. Les TIC offrent l'opportunité aux villes intelligentes d'effectuer une meilleure « gestion de ressources » optimales au fonctionnement de celles-ci et aux besoins des citoyens (Bakıcı, Almirall et Wareham, 2013). Par contre, bien que l'implémentation des TIC dans la ville intelligente soit essentielle, à ce jour, on constate l'usage des technologies de l'industrie

4.0 telles que Big Data, l'IdO (Allam et Dhunny, 2019; Gupta, Chauhan et Jaiswal, 2019) et l'IA (Allam et Dhunny, 2019; Tomitsch, 2018) dans les villes. Il a été démontré qu'elles offraient aux décideurs de prendre de meilleures décisions, notamment par leur capacité de recueillir, de traiter et d'analyser les données en temps réel (Allam et Dhunny, 2019).

À ce jour, on compte certaines villes qui semblent s'approcher du modèle de ville intelligente. En 2021, selon l'organisme à but non lucratif, Smart city governments, les sept premières villes intelligentes sont Singapour, Séoul, Londres, Barcelone, Helsinki, la ville de New York et Montréal (Smart city governments, 2021). Ses villes intègrent une multitude de technologies novatrices, dont celles de l'industrie 4.0, afin d'offrir une meilleure qualité de vie à leurs citoyens.

Par ailleurs, lorsqu'on soulève les concepts de ville intelligente et d'innovation, il est aussi attrayant de s'attarder à celui d'une grappe industrielle. Selon Porter (1998), une grappe industrielle dans un lieu géographique favorise la compétition, la collaboration et l'innovation par le transfert de connaissances, la contribution des institutions de recherche, des entreprises et des talents humains et le soutien des politiques mises en place pour l'encadrer et la développer. Il suggère qu'elle permet aux pays, régions et villes d'acquérir des connaissances à un endroit précis, d'établir des industries, d'attirer et de développer leurs talents et des fonds d'investissements publics et étrangers.

1.2 Intérêts de la recherche

La revue littéraire exposée au prochain chapitre relate qu'au courant de l'histoire, les trois dernières révolutions industrielles échelonnées sur près de 300 ans ont mené à des innovations technologiques afin de répondre aux enjeux économiques et sociétaux. Malgré tout, certains de ces défis sont toujours d'actualité tels que la productivité dans les entreprises et organisations, l'accès aux données et informations pour les parties prenantes de la société et la réponse efficace aux besoins des consommateurs et citoyens en temps réel. Conséquemment, l'industrie 4.0 souhaite résoudre à ceux-ci, notamment par des technologies telles que Big Data, l'IdO et l'IA instaurées dans tous types d'industries. Elles sont adoptées à grande échelle par divers pays, régions et villes bénéficiant d'investissements nationaux et internationaux.

Toutefois, ses technologies comprennent des défis en matière d'employabilité, de surveillance, de contrôle, de cybersécurité et de protection de données personnelles, d'éthique et de leur application

à grande échelle dans les organisations et entreprises. De ce fait, la communauté scientifique et différentes instances régionales et mondiales se penchent actuellement sur leurs enjeux en proposant des recommandations et solutions. Donc, bien qu'elles ne soient pas parfaites, on note une efficacité de répondre à différents types d'enjeux, notamment dans les villes intelligentes qui souhaitent améliorer la qualité de vie des citoyens et d'assurer un environnement durable.

Également, même si le concept de ville intelligente a comme technologie centrale les TIC (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Caragliu, Del Bo et Nijkamp, 2013; Dameri, 2017; Gupta, Chauhan et Jaiswal, 2019; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017), on démontre dans la revue littéraire qu'il existe des projets et initiatives reliés aux villes intelligentes intégrant les technologies de l'industrie 4.0. De surcroît, sachant que les TIC s'inscrivent dans l'ordre de la troisième révolution industrielle et que nous sommes à l'heure actuelle dans l'ère de l'industrie 4.0 – qui propose des technologies novatrices pour répondre également à des enjeux économiques et sociétaux –, il serait intrigant d'étendre sur la capacité de l'IA en tant qu'une des technologies centrales et de pont entre les TIC, l'IdO et Big Data dans la ville intelligente.

Ainsi, cette recherche souhaite démontrer qu'en contexte d'industrie 4.0, il est indispensable dans une ville intelligente d'utiliser l'IA ; il a été démontré que les TIC, Big Data (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019; George Sr *et al.*, 2019; Reese, 2018) et l'IdO (Xu, Xu et Li, 2018) intègrent celle-ci pour être plus efficace. En outre, dans une dizaine d'années, cette percée scientifique prendra plus de place dans nos vies, étant donné qu'elle représentera près 14 % de la production totale des biens (PricewaterhouseCoopers, 2017 : 1). Par conséquent, l'IA obligera la société – au sens large – à se transformer de pair avec elle.

De ce fait, dans cette étude, nous souhaitons démontrer la mise en usage des technologies de l'industrie 4.0 par la grappe industrielle de l'IA dans la ville intelligente. À cet effet, des chercheurs (Amacifuen Vilchez, 2018; Bakıcı, Almirall et Wareham, 2013) ont démontré qu'il est pertinent pour une ville intelligente d'avoir des grappes industrielles pour contribuer au développement de celle-ci. En outre, des efforts dans la recherche ont été effectués sur le phénomène de grappe industrielle en IA de Montréal. Savoie Dansereau (2018) a réalisé une recherche sur les facteurs de conditions d'émergence et du développement des grappes industrielles, notamment sur le cas de la grappe de l'IA de Montréal et les facteurs locaux et globaux qui la déterminent. Cependant,

la littérature ne semble pas intégrer les concepts de ville intelligente et de grappe industrielle en IA en contexte d'industrie 4.0.

1.3 Questions de recherches

En prenant compte que la communauté scientifique, l'industrie et la société doivent continuer leurs efforts de construire une IA éthique et favoriser son utilisation responsable, notre question principale de recherche, basée sur notre revue littéraire et de notre cadre conceptuel, est : *en contexte d'industrie 4.0, comment une ville peut-elle employer sa grappe industrielle en intelligence artificielle pour soutenir ses initiatives de ville intelligente?*

Également, dans notre revue littéraire et notre cadre conceptuel, nous avons retenu que la ville intelligente et la grappe industrielle en IA contiennent les capacités de contribuer à la compétitivité et d'assurer une gouvernance responsable des technologies. Dans l'intention d'améliorer la qualité de vie des citoyens, nous souhaitons mettre en évidence les liens entre la grappe en IA et la ville intelligente sur le plan de la compétitivité des entreprises et organisations. Alors, notre première sous-question de recherche (SQ) est :

SQ1 : *Comment une grappe industrielle en IA peut-elle avantager une meilleure compétitivité de la ville intelligente?*

Ensuite, ces éléments seront analysés en fonction de l'apport des parties prenantes dans le développement de la ville intelligente, notre deuxième question de recherche est :

SQ2 : *Comment une grappe industrielle en IA peut-elle impliquer ses parties prenantes dans le développement des technologies de l'industrie 4.0 de la ville intelligente?*

Enfin, sachant que les technologies de l'industrie 4.0 – notamment par l'IA – sont actuellement utilisées dans certaines villes intelligentes, notre troisième sous-question de recherche est :

SQ3 : *Comment l'implantation de l'IA dans la ville intelligente peut-elle répondre à des enjeux sociétaux?*

1.4 Choix de l'étude de cas

Dans le cadre de cette étude réalisée dans un contexte universitaire, nous avons choisi d'effectuer une étude de cas sur la ville de Montréal, au Canada, car elle regroupe des initiatives de ville intelligente et grappe industrielle en IA en contexte d'industrie 4.0.

D'une part, en 2014, la ville de Montréal s'est dotée d'une stratégie de ville intelligente, notamment pour se distinguer auprès d'autres villes à l'échelle internationale (Ville de Montréal - Cabinet du maire et du comité exécutif, 2014). Avec certaines réalisations, elle a été élue en 2016, par l'organisme Intelligence Community Forum, comme la ville la plus intelligente dans le monde (Ville de Montréal, 2017a) et se place, à ce jour, en 7^e position mondiale par une analyse du Smart city governments. Par ailleurs, en 2021, elle dévoila un plan de dix ans en matière d'initiatives de ville intelligente avec quatre grands objectifs soutenus par 41 engagements (Ville de Montréal, 2021).

D'autre part, la grappe industrielle en IA de Montréal se développe depuis quelques années suite aux initiatives des gouvernements canadiens et québécois en termes d'IA, et de rayonnement à l'international. Cette grappe attire quelques acteurs internationaux tels que des étudiants, des chercheurs et des laboratoires corporatifs de recherche en vue de développer l'IA. Plus de 95 000 emplois à Montréal sont reliés à l'IA en 2020, et la ville obtenait la cinquième position des « talents les plus abordables en IA en Amérique du Nord » (Laperrière, 2021). Par ailleurs, Montréal se démarque par ses initiatives en matière d'éthique de l'IA, notamment par la Déclaration de Montréal IA responsable (Université de Montréal, 2018, 4 décembre).

1.5 Structure du travail de recherche

Cette étude présentera la revue littéraire qui portera sur les révolutions industrielles et le portrait des technologies de l'industrie 4.0 dont l'IdO, Big Data et l'IA. Les concepts de ville intelligente et de grappe industrielle seront détaillés dans cette partie, qui finira par une présentation de la problématique de recherche. Ensuite, nous développerons notre cadre conceptuel en décortiquant nos sous-questions de recherche et les concepts qui seront abordés. Par la suite, nous aborderons la méthodologie qui sera utilisée afin de ramasser nos données de recherche. Nous étalerons notre outil d'analyse qui est l'étude de cas, suivi d'un chapitre sur l'analyse et l'interprétation des résultats se terminant par une discussion. Enfin, nous finirons la recherche par une conclusion qui exposera un sommaire de la recherche, les limitations de celle-ci et les possibilités futures de recherche.

CHAPITRE II

REVUE LITTÉRAIRE

Dans ce chapitre, nous déploierons la revue littéraire portant sur les différentes révolutions industrielles, les tendances technologiques actuelles de la quatrième révolution industrielle (industrie 4.0), les concepts de ville intelligente et de grappe industrielle. Nous débuterons par définir chaque révolution et son implication au sein de la société actuelle. Ensuite, nous détaillerons les retombées de l'industrie 4.0 en définissant certaines technologies novatrices à l'exemple de Big Data, l'IdO et l'IA qui nous serviront à mettre en contexte et faire le lien entre les villes intelligentes et les grappes industrielles.

2.1 Quatre révolutions industrielles

Les révolutions industrielles sont une référence pour mieux comprendre les sociétés. Les sociétés occidentales évoluent en fonction des enjeux sociaux, politiques, économiques, culturels, environnementaux, et elles se transforment dans des périodes précises de l'histoire – notamment lors des révolutions industrielles (Verley, 1997). Dans le cadre de cette recherche, il est intrigant de s'attarder au phénomène de révolution industrielle – qui est considéré comme un changement radical dans la société (Allen, 2017; Makridakis, 2017; Schwab, 2017) – pour mieux comprendre l'évolution de certains pays occidentaux qui s'est étalé sur presque trois siècles.

Nous préciserons et étalerons quatre révolutions industrielles, sous leur approche économique, sociétale et technologique. Ses révolutions ont été enclenchées par les innovations produites au Royaume-Uni, en France, en Allemagne, aux États-Unis (Cochet et Henry, 1995; Verley, 1997) et au Japon (Allen, 2017). « L'invention n'acquiert de rôle économique qu'en devenant innovation, c'est-à-dire son application à une échelle suffisamment large pour exercer une influence sur la productivité, la production, le marché, l'organisation du travail d'un secteur industriel important » (Verley, 1997 : 49). Ainsi, les révolutions industrielles porteront sur la puissance de la vapeur et de l'eau et la mécanisation des machines, les avancées en chimie et physique, le pouvoir de l'électricité et la production de masse, l'électronique, l'ordinateur et les technologies de l'information (TI), et le numérique, comme présenté dans la figure 2.1.1.

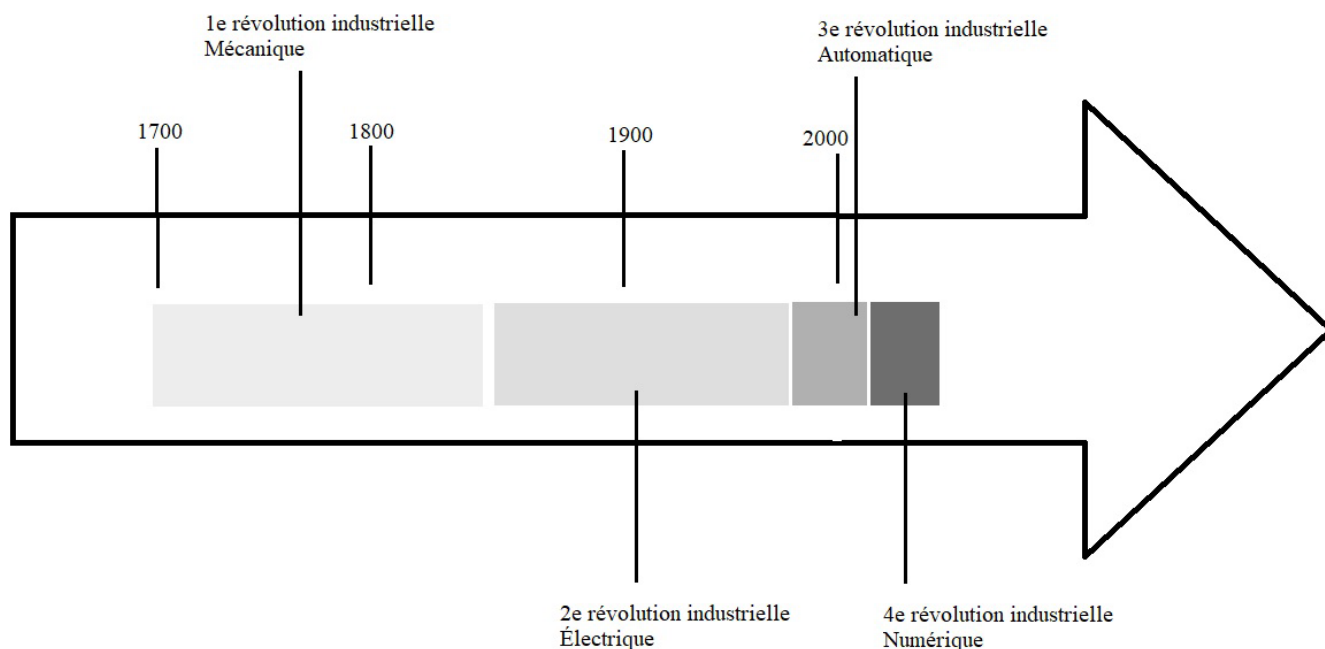


Figure reproduite 2.1.1 – Les quatre révolutions industrielles

Source : Nathalie Julien et Martin, Eric (2021). *L'usine du futur : stratégies et déploiement industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques*, vol. 2e édition, Malakoff, Dunod, 255 p. 4.

2.1.1 Première révolution industrielle

La première révolution industrielle est un point historique marquant des sociétés occidentales. Aux alentours des années 1750 et 1760 débuta la première révolution industrielle par l'avènement de l'industrie du fer et la mécanisation des machines par l'eau et la vapeur qui remplaçait le travail à la main. Également, ceux-ci contribuaient à une production industrielle de biens et de produits dans des secteurs de la société tels l'industrie du manufacturier et du transport (Allen, 2017; Greenwood, 1997; Mantoux, 2013; Xu, Xu et Li, 2018). On nota quelques autres innovations marquantes dans l'industrie du coton, de la sidérurgie et du textile (Allen, 2017; Cochet et Henry, 1995).

Par la suite, cette période a débuté, en autres, en Grande-Bretagne, première puissance économique mondiale. Sa « révolution agricole » a orienté la société anglaise vers un mode de travail axé sur l'agriculture et l'économie de subsistance à un mode de travail axé sur le volume de la production (Cochet et Henry, 1995; Couture, 1986; De Vries, 1994; Verley, 1997). De ce fait, avec les bénéfices de celle-ci, il eut une augmentation de la population, et un changement de mentalité

observé dans les foyers familiaux : acquérir plus de biens, consommer davantage et s'adonner à de nombreux loisirs (Couture, 1986; De Vries, 1994).

En outre, la première révolution industrielle a influencé le commerce. Avec les débuts de la mondialisation moderne – marqué par la révolution industrielle britannique –, les besoins en importation et exportation se sont multipliés dans les pays occidentaux ce qui encourageaient une production importante de produits (De Vries, 1994; Verley, 1997). Couture (1986 : 381) mentionne que la hausse du marché interne, la croissance démographique et le développement du marché colonial ont influencé les industries à créer en plus grande quantité et à un moindre coût par les inventions. Cependant, Yin, Stecké et Li (2018 : 848) indiquent que bien qu'on aperçût des efforts de créer davantage de biens, le rendement ne comblait pas la demande.

D'autre part, il a été accentué que l'adoption des nouveaux procédés et technologies dans les industries fût lente. Intégrer ses nouvelles formes de technologies dans la société fut un long processus qui peut être expliqué par le concept de diffusion des technologies. Verley (1997) suggère que la diffusion des technologies – le transfert des connaissances, informations et ressources à différents niveaux d'adoption et d'utilisation des consommateurs – aux différentes parties prenantes du monde industriel, s'est maintenue sur une certaine période. Il souligne que pour que les technologies émergentes puissent être adoptées par les sociétés, elles doivent être accessibles sur le plan monétaire et de ressources aux manufacturiers, compris par ceux-ci et acceptés par la société. À cet effet, il stipule qu'il fût difficile d'effectuer un transfert technologique et de connaissances en raison que peu de techniques étaient formalisées et nécessitaient une demande de savoir-faire : les entreprises devaient investir des sommes d'argent considérables pour les machines et nouveaux procédés de l'époque en empruntant de l'argent aux banques ou aux épargnants sous forme de valeurs mobilières. Néanmoins, le transfert a été facilité par le voyage de nombreux experts de l'industrie britannique et par la migration ouvrière à l'étranger.

Durant cette période de mondialisation, de grandes puissances internationales ont pris connaissance des avancées de la Grande-Bretagne. Des pays tels que l'Allemagne, les États-Unis, le Japon et la Russie se sont industrialisés en imitant et en adaptant ses techniques (Julien et Martin, 2021 : 4). Dans la prochaine section, nous mettrons en avant la deuxième révolution industrielle apparue environ 100 ans plus tard.

2.1.2 Deuxième révolution industrielle

Tout d'abord, la deuxième révolution industrielle est caractérisée par ses avancées scientifiques dans différents secteurs. Débutant vers la fin du 19^e siècle, Mokyr et Strotz (1998 : 1) stipulent qu'elle s'est enclenchée par certaines innovations technologiques considérables par la science observée dans l'énergie, les matériaux et les produits chimiques. Ils argumentent qu'elle était marquée par une transformation des sociétés occidentales par quelques inventions basées sur des « processus scientifiques plus complexes » comparés à la première révolution, en accentuant qu'elles avaient peu ou pas de base scientifique.

Par la suite, cette période a eu un effet considérable dans le monde industriel de production. Il fut créé, en autres, l'acier, les pièces interchangeables, la pasteurisation, certains produits chimiques (les fertilisants, les colorants artificiels, le bicarbonate de soude, la dynamite, le potassium, le caoutchouc, etc.), l'électricité – dont l'invention de l'ampoule – et la conception de l'automobile (moteur à diesel et à gaz) introduits dans les pays européens et aux États-Unis (Cochet et Henry, 1995; Mokyr et Strotz, 1998). Ces innovations ont permis de transformer des industries et secteurs tels que le manufacturier au sujet de l'utilisation de matériaux de bonne qualité et accessible à un moindre coût, le transport et la facilité de déplacement, la distribution de matériaux bruts et la préservation des aliments, les avancées dans la médecine (Mokyr et Strotz, 1998) et l'augmentation de la productivité dans l'agriculture (Mokyr et Strotz, 1998; Yin, Stecké et Li, 2018).

En outre, cette ère se témoigne par la création de l'électricité et de son développement utile au sein des usines, étant donné qu'elle avait la possibilité d'accéder à des économies d'énergie et un meilleur contrôle de la vitesse de la machine. Par contre, il est noté qu'il fallut plus de 90 ans pour que l'électricité soit adoptée par toutes les entreprises, et de mettre en évidence une augmentation de la productivité des usines (Makridakis, 2017 : 49).

Donc, à partir des innovations, la deuxième révolution industrielle a changé les habitudes de consommation, le monde du travail et la manière de produire les biens. Soutenues notamment par les courants tayloristes (augmentation de la productivité des salariés) et fordistes (montage à la chaîne) véhiculés à cette époque (Martin et Julien, 2021; Yin, Stecké et Li, 2018), ces innovations et la division du travail ont permis aux usines de produire plus efficacement, de favoriser les économies d'échelle et de créer la production de masse – présente à ce jour (Kohler et Weisz,

2016; Martin et Julien, 2021; Rüßmann *et al.*, 2015; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018; Yin, Stecke et Li, 2018). Ces nombreux facteurs ont accru l'offre de produits commercialisés sur le marché occidental et la force de travail. D'ailleurs, il a été ponctué que les technologies se sont diffusées plus rapidement à cette période par la circulation des hommes, des idées et du matériel (Cochet et Henry, 1995). Dans la prochaine section, nous exposerons la troisième révolution industrielle.

2.1.3 Troisième révolution industrielle

Les études ont certaines appellations pour désigner la troisième révolution industrielle qui commença aux alentours des années 1970 et 1980. Greenwood (1997) la surnomme « la révolution des technologies de l'information (TI) », Yin, Stecke et Li (2018) discutent de l'« Industrie 3.0 » et d'autres chercheurs (Bourdin, 2013; Kohler et Weisz, 2016; Martin et Julien, 2021; Mowery, 2009; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018) préfèrent simplement la désigner comme « la troisième révolution industrielle ».

La troisième révolution industrielle a influencé le monde industriel par les innovations de type électronique et les effets de ceux-ci dans le commerce. À ce sujet, cette époque a été marquée, en autres, par le progrès technologique, l'accroissement des investissements et l'augmentation de la productivité (Bourdin, 2013; Cochet et Henry, 1995; Greenwood, 1997; Martin et Julien, 2021). Greenwood (1997 : 10) suggère qu'elle représente aussi la capacité des ordinateurs à stocker, traiter et communiquer des informations à distance par les systèmes usant d'Internet, son utilisation personnelle sur le marché dans les années 1980 et le pouvoir du réseautage. À ce titre, il mentionne que ces différents concepts ont permis aux entreprises d'économiser des coûts importants en main-d'œuvre pour la collecte et le traitement de l'information, dans l'objectif de hausser la productivité des entreprises, et d'éviter les tâches répétitives aux humains.

D'ailleurs, cette ère est également synonyme du début de l'automatisation des opérations, des processus et des tâches. Les avancées d'automatisation de l'époque, stimulée par les TI, ont permis aux hommes d'effectuer des tâches moins dangereuses qui soutenaient la production (Martin et Julien, 2021; Xu, Xu et Li, 2018). Par exemple, de multiples tâches furent laissées aux ordinateurs et aux machines, notamment dans les usines, pour assurer la sécurité des travailleurs. De même, Yin, Stecke et Li (2018 : 848) soulignent que les innovations de cette ère telles que l'analogique au digital et l'intégral au modulaire ont eu un effet sur la réduction du cycle de vie moyen des produits

et un impact sur l'industrie électronique. Ils ont observé qu'il eut une demande du rendement axé sur le volume, la variété et le temps de transport.

Ensuite, le rôle des États-Unis a été crucial dans les innovations technologiques. Mowery (2009) révèle que malgré les investissements considérables du gouvernement américain – première puissance mondiale à cette époque et à ce jour – dans la biotechnologie et dans la recherche et développement (R & D) industrielle à la suite de la Deuxième Guerre mondiale, les TI et la biotechnologie ont connu une évolution considérable suite à quelques changements au sein du monde industriel international :

Les grandes entreprises ont réduit ou supprimé leurs laboratoires centraux de R&D, augmentant leur dépendance à l'égard de sources externes de R&D et de connaissances, telles que les universités, les alliances interentreprises, les transactions de licence et les acquisitions d'autres entreprises. À la même période, les nouvelles entreprises qui avaient été d'importantes sources d'innovations commerciales ont maintenu et même accru leur importance en tant qu'innovateurs, en particulier dans les secteurs des technologies de l'information et de la biotechnologie. (Mowery, 2009 : 13, traduction libre).

Par conséquent, l'avenue de l'Internet et de l'ordinateur personnel, l'intégration verticale de la R&D et de la connaissance dans la chaîne de valeur, la biotechnologie, les TI et la collaboration entre les différentes parties prenantes et collaborateurs des entreprises dans le marché américain et mondial ont transformé les façons de faire, les modes de fonctionnement des entreprises et la façon dont l'innovation est créée. Différentes innovations technologiques qui façonnent la quatrième révolution industrielle seront analysées dans la prochaine section.

2.1.4 Quatrième révolution industrielle : industrie 4.0

Définition et éléments

Nous sommes actuellement dans la quatrième révolution industrielle qui est en constante transformation. Les études accentuent que cette période est désignée par le concept d' « industrie 4.0 » (Koch *et al.*, 2014; Kohler et Weisz, 2016; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Oztemel et Samet, 2020; Rüßmann *et al.*, 2015; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018). Pour définir le terme, Buer, Strandhagen et Chan (2018) dévoile que l'industrie 4.0 est : « l'utilisation de produits et de processus intelligents, qui avantage la collecte et l'analyse autonomes des données de même que l'interaction entre les produits, les processus, les fournisseurs et les clients via Internet » (: 2925, traduction libre). Oztemel et Samet (2020 : 166) proposent :

L'industrie 4.0 est une philosophie de fabrication qui comprend des systèmes d'automatisation modernes avec une autonomie de niveau léger, des échanges de données flexibles et efficaces permettant la mise en œuvre de technologie de production de nouvelle génération, l'innovation dans la conception, et d'être plus agile et personnelle dans la production ainsi que des produits personnalisés. (traduction libre).

Quant à Xu, Xu et Li (2018 : 2942), ils suggèrent que ce concept vise à la numérisation complète et la possibilité d'intégrer des « écosystèmes industriels numériques » (*digital industrial ecosystem*) étant capables de trouver des solutions complètement intégrées pour les entreprises et organisations.

Par ailleurs, l'industrie 4.0 touche à différentes composantes du commerce. Selon un rapport de PricewaterhouseCoopers (PwC) publié en 2014, l'industrie 4.0 est marquée par la numérisation de différentes fonctionnalités importantes à la productivité des entreprises, et elle requiert que tous les aspects de l'entreprise – la verticalisation accrue de la R&D, la logistique, les achats, les opérations, le marketing et les ventes et les communications internes – soient numérisés dans l'optique de rendre les chaînes de valeur plus transparentes pour améliorer l'expérience du client (Koch *et al.*, 2014). Par exemple, les entreprises qui seront en mesure de numériser hautement leur chaîne de valeur pourront observer une hausse de gains en efficacité de 4,1 % annuellement et voir une augmentation de 2,9 % de leur revenu dans une année (Koch *et al.*, 2014 : 11). Pourtant, Kohler et Weisz (2016 : 29) argumentent que l'objectif de l'industrie 4.0 ne se veut pas d'une automatisation complète, mais d'une synchronisation en temps réel de tout ce qui est relié à la chaîne de valeur en partant du client. D'ailleurs, selon eux, les systèmes cyber-physiques, présentés dans le tableau 2.1.4.1 suivant, sont au cœur de l'industrie 4.0. Moeuf *et al.* (2018) stipulent que son but soit que les technologies de celle-ci – qui seront exposées plus loin dans la recherche – favoriseront un meilleur contrôle et des opérations qui pourront être adaptés en temps réel.

Donc, l'industrie 4.0 est une idéologie innovatrice qui incite les entreprises et organisations à s'ajuster en fonction de l'univers numérique. Bien que ce concept n'ait pas une seule définition auprès de la communauté scientifique – avec plus d'une centaine de définitions proposées (Moeuf *et al.*, 2018) –, Kohler et Weisz (2016) soulignent que « le caractère révolutionnaire de l'Industrie 4.0 ne vient pas d'une rupture technologique, mais davantage l'ajout d'une brique technologique transversale qui interconnecte et synchronise les différents systèmes de production les uns avec les autres, quelle que soit leur localisation géographique » (: 27).

Technologies

Dans cette partie, l'industrie 4.0 présente plusieurs technologies novatrices. Cette période qui regroupe certaines innovations technologiques et électroniques de sa révolution précédente, étant donné qu'elle suggère d'utiliser, entre autres, l'Internet, les TIC avancées et les données en vue d'automatiser certaines composantes d'entreprises et organisations (Kong *et al.*, 2019; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Oztemel et Samet, 2020; Xu, Xu et Li, 2018). Le tableau 2.1.4.1 présente un sommaire des technologies actuelles de l'industrie 4.0 (qui peuvent changer et évoluer). Certaines d'entre elles interagissent pour assurer leur bon fonctionnement.

Tableau 2.1.4.1 Sommaire des technologies innovatrices actuelles dans le contexte d'industrie 4.0

Sources	Technologie	Définition
(Koch <i>et al.</i> , 2014; Martin et Julien, 2021; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Oztemel et Samet, 2020; Plumpton, 2019; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015; Schwab, 2017; Wang, Törngren et Onori, 2015; Yin, Stecke et Li, 2018)	Big Data	« Ce terme désigne la capacité à collecter, stocker et traiter en temps réel des flux très importants de données de nature diverse en vue de leur appliquer toutes sortes de traitements analytiques et statistiques qui relèvent de l'intelligence artificielle » (Martin et Julien, 2021 : 209).
(Buer, Strandhagen et Chan, 2018; Dobson-Lohman, 2020; Koch <i>et al.</i> , 2014; Lee <i>et al.</i> , 2018; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Martin et Julien, 2021; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Nicolescu <i>et al.</i> , 2018; Oztemel et Samet, 2020; Plumpton, 2019; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015; Schwab, 2017; Wang, Törngren et Onori, 2015; Xu, Xu et Li, 2018; Yang <i>et al.</i> , 2019; Yao <i>et al.</i> , 2019)	Internet des objets (IdO)	« L'Internet des objets est l'interconnexion d'appareils physiques, de véhicules, de bâtiments et d'autres éléments intégrés à l'électronique, aux logiciels, aux capteurs, aux actionneurs et à la connectivité réseau qui permettent à ces objets de collecter et d'échanger des données » (Oztemel et Samet, 2020 : 154, traduction libre).
(Buer, Strandhagen et Chan, 2018; Lee <i>et al.</i> , 2018; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Oztemel et Samet, 2020; Plumpton, 2019; Wang, Törngren et Onori, 2015; Xu, Xu et Li, 2018; Yao <i>et al.</i> , 2019; Yin, Stecke et Li, 2018)	Systèmes cyber-physiques (SCP)	Les systèmes cyber-physiques sont l'intégration de processus informatiques et physiques qui établissent un réseau d'objets et de systèmes grâce aux protocoles standard d'Internet (Oztemel et Samet, 2020; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015) et supportent un environnement virtuel engendré par la simulation informatique d'objets et de comportements dans le monde réel (Oztemel et Samet, 2020).
(Koch <i>et al.</i> , 2014; Martin et Julien, 2021; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Nicolescu <i>et al.</i> , 2018; Wang, Törngren et Onori, 2015; Xu, Xu et Li, 2018; Yin, Stecke et Li, 2018)	Informatique de nuage (<i>cloud computing</i>)	« Différents systèmes informatiques impliquant un grand nombre d'ordinateurs connectés entre eux et échangeant des messages en temps réel via l'Internet. Un calcul ou un stockage d'informations, lancé sur un ordinateur, peut ainsi être pris en charge par un réseau d'ordinateurs connectés entre eux – créant ainsi un <i>cloud</i> » (United Nations Educational, 2018 : 41). Cette technologie permet de partager certaines informations à travers différents systèmes et réseaux en temps réel et elle rend les données et applications disponibles en tout temps à partir de n'importe quel terminal (Moeuf <i>et al.</i> , 2018).
Martin et Julien, 2021; Oztemel et Samet, 2020; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015; Schwab, 2017; World Economic Forum, 2016)	Robotique intelligente	Des robots qui sont capables d'effectuer des tâches compliquées et qui intègrent plusieurs technologies telles que l'intelligence artificielle, la réalité augmentée, la vision par ordinateur, etc. (Oztemel et Samet, 2020)

(Koch <i>et al.</i> , 2014; Martin et Julien, 2021; Oztemel et Samet, 2020; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015)	Réalité augmentée	« Superposition de la réalité et d'éléments virtuels, calculés par un système informatique en temps réel (sons, images 2D, 3D, vidéos, etc.) » (United Nations Educational, 2018 : 41). L'image réelle est regardée à partir d'un écran, des lunettes ou un viseur (Martin et Julien, 2021).
(Koch <i>et al.</i> , 2014; Oztemel et Samet, 2020; Yao <i>et al.</i> , 2019; Yin, Stecke et Li, 2018)	Fabrication virtuelle	« La fabrication virtuelle (VM) est l'utilisation d'ordinateurs pour modéliser, simuler et optimiser les opérations et entités critiques dans une usine » (Oztemel et Samet, 2020 : 159, traduction libre)
(Koch <i>et al.</i> , 2014; Oztemel et Samet, 2020; Schwab, 2017; World Economic Forum, 2016; Yin, Stecke et Li, 2018)	Impression en 3D	Processus dans lequel il est possible d'imprimer en dimension 3D des objets à structures géométriques (Yin, Stecke et Li, 2018).
(Dobson-Lohman, 2020; Schwab, 2017; Yin, Stecke et Li, 2018)	Intelligence artificielle (IA)	L'intelligence artificielle permet aux machines et ordinateurs d'apprendre d'une expérience et de s'adapter aux différents entrants dans l'objectif d'effectuer des tâches presque comme un humain ou au-delà de celui-ci (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019).
(Martin et Julien, 2021; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015)	Cybersécurité	«[La cybersécurité] Ou sécurité des systèmes d'informations (SSI), ensemble de moyens techniques, organisationnels, juridiques et humains nécessaires à la mise en place de moyens visant à empêcher l'utilisation non-autorisée, le mauvais usage, la modification ou le détournement du système d'information » (Martin et Julien, 2021 : 239).
(Oztemel et Samet, 2020; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015)	Simulation	La simulation est un processus qui utilise les données et l'informatique pour créer des modèles et elle est souvent utilisée dans les SCP (Oztemel et Samet, 2020).
(Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Oztemel et Samet, 2020)	Communication Machine à Machine	« Machine à machine (M2M), fais référence à la communication directe entre des appareils utilisant n'importe quel canal, filaire ou sans fil » (Oztemel et Samet, 2020 : 146, traduction libre).
(Buer, Strandhagen et Chan, 2018; Koch <i>et al.</i> , 2014; Moeuf <i>et al.</i> , 2018; Oztemel et Samet, 2020)	ERP	« Un logiciel ERP (<i>Entreprise resource planning</i>) est un système qui aide une entreprise à rassembler les processus et les données qui sont exécutés dans tous les processus, des ventes à la comptabilité, de la production aux ressources humaines, de la gestion des stocks aux achats » (Oztemel et Samet, 2020 : 56, traduction libre).
(Dobson-Lohman, 2020; Martin <i>et al.</i> , 2015; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015)	Jumeau numérique	« Le jumeau numérique ou double numérique est un modèle logiciel dynamique d'un objet ou d'un système physique qui repose sur les données de capteurs Un jumeau numérique est un modèle virtuel d'un processus, d'un produit ou d'un service utilisé pour détecter des problèmes, tester et simuler des scénarios sur le modèle physique d'une unité de production » (Julien et Martin, 2021 : 18).
(Martin et Julien, 2021)	Réalité virtuelle	« La réalité virtuelle est un environnement stimulé créé par ordinateur dans lequel l'utilisateur est immergé et avec lequel il peut interagir. Elle peut remplacer les plateaux physiques de conception par des plateaux virtuels où tous les métiers entourant la conception sont réunis pour travailler sur un projet, même à distance, via Internet » (Julien et Martin, 2021 : 18).

Mises en pratique

En premier lieu, l'industrie 4.0 est appliquée dans toutes les types d'industries. Par exemple, le *Boston Consulting Group* signale que dans le secteur manufacturier, les technologies de l'industrie 4.0 appuieront les usines leur capacité de productivité, de flexibilité, de vitesse et de qualité du processus de production qui favorisera une croissance industrielle significative. Et façonnera la main-d'œuvre ayant un impact sur la compétitivité des entreprises et des régions. Aussi, il stipule que la restauration observera une plus grande flexibilité qui soutiendra sa productivité, et

l'industrie pharmaceutique et des semi-conducteurs profiteront d'une réduction des taux d'erreurs à l'aide des avancées dans l'analyse des données (Rüßmann *et al.*, 2015 :11).

En deuxième lieu, il est observé que des industries ont déjà implémenté des concepts de l'industrie 4.0. C'est le cas de l'automobile et l'aéronautique qui profitent de l'automatisation et de la numérisation des données (Kohler et Weisz, 2016). À l'échelle des pays, les sociétés occidentales avec une main-d'œuvre hautement qualifiée seront en mesure de tirer avantage du haut degré d'automatisation et de la demande accrue pour une main-d'œuvre encore plus qualifiée. Quant aux pays émergents avec de jeunes professionnels œuvrant en technologique, qu'ils pourront saisir l'occasion de l'industrie 4.0 pour créer des concepts de fabrication entièrement nouveaux qui leur seront profitables à grande échelle (Rüßmann *et al.*, 2015 : 11).

Les projets

Par la suite, à l'échelle planétaire, certains pays ont conçu des projets nationaux et internationaux qui visent à intégrer différentes composantes de l'industrie 4.0. À cet effet, le terme « industrie 4.0 » a tout d'abord apparu en Allemagne, en 2011, à l'Hannover Fair, (Lom, Pribyl et Svitek, 2016 : 1) suite à l'initiative du pays de soutenir les industries et entreprises du territoire allemand aux fins d'intégrer efficacement les innovations à leurs opérations. L'objectif du pays est de conserver son avantage concurrentiel à l'échelle de l'industrie manufacturière (Kohler et Weisz, 2016; Schwab, 2017; Yin, Stecke et Li, 2018). Ainsi, le gouvernement allemand a octroyé un financement de 40 milliards d'euros chaque année jusqu'en 2020 aux entreprises et organisations (Koch *et al.*, 2014; Lom, Pribyl et Svitek, 2016). Il prévoyait une augmentation du chiffre d'affaires pour les entreprises allemandes entre 20 et 30 Mrd EUR à chaque année d'ici 2025 (Kohler et Weisz, 2016 : 9). D'ailleurs, l'Union européenne (UE) s'est inspiré de l'Allemagne en s'engageant à investir 140 milliards par année à leur pays membres (Koch *et al.*, 2014; Lom, Pribyl et Svitek, 2016).

Aussi, plusieurs pays ont suivi l'exemple de l'Allemagne. En 2015, la France a lancé un plan dans le cadre de leur transformation de l'industrie manufacturière sous le nom de « l'industrie du futur », en offrant un milliard d'euros en forme de prêt aux PME pour les aider à créer de nouveaux produits reliés à la robotique, à la numérisation ou aux projets à efficacité énergétique (Kohler et Weisz, 2016; Martin et Julien, 2021; Oztemel et Samet, 2020). D'autre part, Yin, Stecke et Li

(2018 : 853) soulignent le projet *Society 5.0* du gouvernement japonais vise, notamment, l'intégration d'un système intelligent de la communauté japonaise dans les infrastructures et les usines. Quant à la Chine, elle a créé le plan *Chinese Manufacturing 2025* pour favoriser la transformation de la production en valeur ajoutée, et de se placer comme leader mondial dans l'industrie manufacturière (: 853).

En somme, certaines entités mondiales souhaitent que leurs industries soient en mesure de s'adapter aux différents changements provoqués par les technologies innovantes. Sommer (2015) mentionne que les initiatives qui découlent de l'industrie 4.0 doivent être soutenues par les pays et exécutés autant dans les grandes entreprises que les PME pour assurer leur pérennité.

Les enjeux

Toutefois, bien que cette ère mène à une transformation numérique à multiples niveaux, elles comportent aussi des enjeux. L'industrie 4.0 est adaptée à différents niveaux et façons par les pays, industries, entreprises et organisations (Rüßmann *et al.*, 2015 : 11). Dans le contexte allemand, Sommer (2015) relève que celle-ci comporte une multitude d'idées, mais peu de résultats à l'heure actuelle en soulevant que des PME – qui constituent une grande majorité du monde industriel allemand –, se sentent peu concernées par la numérisation de leurs opérations. Il évoque que bien que plusieurs entreprises – dont les PME – reconnaissent l'importance de la numérisation des opérations, certaines d'entre elles ne sont pas pleinement préparées à celles-ci par leur insécurité face à la sécurité des données et l'immaturité des technologies. Pour contrer ces enjeux, il suggère qu'il ait des investissements publics pour diminuer les barrières aux PME, d'offrir des programmes et des formations dans les écoles et universités pour qualifier le personnel et de soutenir séparément les PME des grandes entreprises sur le plan financier, technologique, et les défis liés aux employés. Elles pourront investir des sommes quant à l'achat de fournitures, de services numériques (contrats de maintenance de logiciels, développeurs à déployer, plateformes d'achats numériques) et la maintenance de ceux-ci (Koch *et al.*, 2014 : 31). À cet effet, l'Allemagne a implémenté un budget de cinq millions consacrés au soutien des PME dans le cadre de l'industrie 4.0 (Xu, Xu et Li, 2018 : 2955).

D'autre part, l'industrie 4.0 est un concept nouveau dont les critères sont à définir, notamment en fonction de chaque pays, villes, entreprises et organisations. Les retombées et l'ensemble des

gains de l'industrie 4.0 pour les entreprises sont incertains, pas encore tous connus (Moeuf *et al.*, 2018; Schwab, 2017) et quelques éléments de celle-ci sont encore « au stade embryonnaire » (Kohler et Weisz, 2016 : 37). Certaines technologies sont peu accessibles et complexes ; il est ardu de les intégrer à toutes les industries (Xu, Xu et Li, 2018). Toutefois, nombreuses d'entre elles seront appliquées dans le marché dans les cinq à dix prochaines années avec l'aide des avancées dans la recherche (Park, 2018 : 439, cité dans Rivera and van der Meulen 2014).

En outre, les entreprises doivent s'adapter aux demandes que requièrent l'industrie 4.0. Par exemple, les projets TI dans les entreprises apportent une incertitude sur le plan technique tout comme une incertitude dans le marché, puisqu'ils requièrent un haut taux d'investissement et sont souvent irréversibles (Lee et Lee, 2015 : 7). Kohler et Weisz (2016) précisent qu'on recense des enjeux reliés à la standardisation des systèmes utilisés et des communications qui sont reliés aux machines, à la cybersécurité et aux attaques. Ils soutiennent qu'il est alors considérable d'offrir aux entreprises des systèmes adaptés et en mesure d'évoluer avec celles-ci selon leur taille. Également, la figure 2.4.1.2 présente les freins perçus par les chefs d'entreprises reliés à l'implémentation de l'Industrie 4.0 dont la standardisation, l'organisation des processus et du travail, la disponibilité des produits, les nouveaux modèles d'affaires, la sécurité et la protection des savoir-faire, la disponibilité des ressources humaines, la recherche, la formation initiale et continue et le cadre juridique.

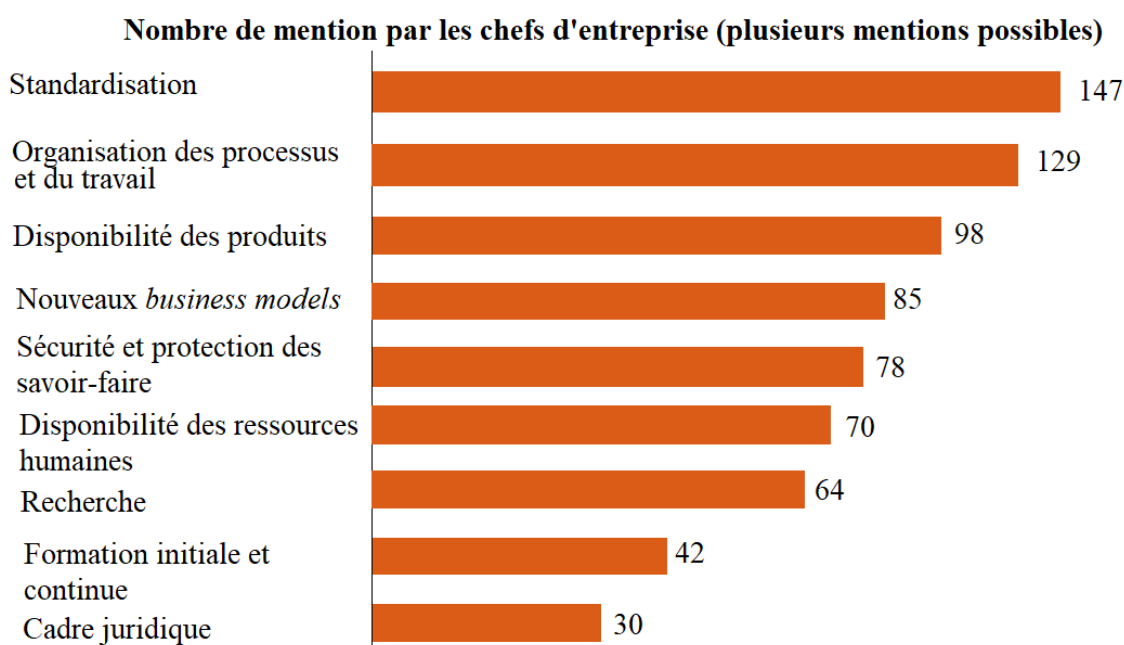


Figure reproduite 2.1.4.2 – Les freins perçus par les chefs d’entreprise dans le déploiement de l’Industrie 4.0

Source : Forschungsunion, Acatech (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, p. 29, dans Kohler, Dorothée et Jean-Daniel Weisz (2016). *Industrie 4.0 : Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand*, Paris, La documentation Française, p.89

À l’échelle sociétale, le milieu du travail continuera d’être transformé par la numérisation et l’intégration des machines. Reese (2018 : 85) stipule que certains chercheurs pensent que les technologies, dont les robots, remplaceront tous, certains ou aucun emploi. À titre d’exemple, Kohler et Weisz (2016) soulignent qu’une étude américaine illustre qu’en 2013, aux États-Unis, 47 % des emplois étaient menacés par la numérisation (: 65). Également, ils stipulent que la demande accrue d’ingénieurs dans les entreprises menacera les emplois d’informaticiens, d’électroniciens, de mécaniciens et de mécaniciens. Cependant, cela aura pour effet de créer le métier de « technologue de production », qui est actuellement demandé dans les l’industrie manufacturière (: 80). Par ailleurs, le World Economic Forum (2016 : 11) soulève que les compétences requises pour les emplois changeront avec le temps, et que pour 2020, les industries étaient davantage à la recherche de personnes ayant des compétences dans les domaines de l’informatique, des mathématiques et de l’architecture de l’ingénierie. Par exemple, le tableau 2.1.4.3 illustre plusieurs compétences technologiques et d’autres non-technologiques requis et de nouveaux métiers qui seront créés dans l’industrie de production (Julien et Martin, 2021 : 58-59).

Donc, l’industrie 4.0 comprend des défis reliés au soutien des gouvernements dans l’intégration des technologies dans les organisations et entreprises, notamment dans les PME, à la cybersécurité et à la transformation et la formation de la main-d’œuvre. Comparée à la première révolution industrielle, elle influence autant l’industrie manufacturière que tous les types d’industries et secteurs de la société. Dans cette perspective de compréhension de son caractère révolutionnaire et de la transformation numérique, la prochaine partie sera consacrée à ses innovations technologiques.

Tableau 2.1.4.3 Compétences et métiers émergents dans l’industrie de production

Compétences technologiques	Compétences non technologiques	Métiers émergents
• Connectivité • IIoT (<i>Industrial Internet of Things</i>) • Réseaux • Interopérabilité	• Gestion de la connaissance • Partage de l’information • Ergonomie physique et cognitive des équipements et des outils • Autonomie et responsabilité	• Expert en fabrication additive • Chef de projet IoT • Scientifique de données • Architecte de données

• Sécurisation des données • Réalité virtuelle • Réalité augmentée • Cobotique	• Initiative et prise de décision • Créativité • Gestion de projet • Ingénierie système • Qualité de vie au travail • Médias sociaux.	• Responsable des données numériques • Ingénieur cybersécurité • Technicien robotique • Ingénieur mécanique • Responsable e-CRM • Ingénieur virtualisation • Responsable de la chaîne d'approvisionnement
---	--	---

Source : Nathalie Julien et Martin, Eric (2021). *L'usine du futur : stratégies et déploiement industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques*, vol. 2e édition, Malakoff, Dunod, p. 58-59.

2.2 Tendances actuelles de l'industrie 4.0

Dans le cadre de cette recherche, nous étalerons sur les technologies actuelles les plus marquantes recensées dans la littérature liée aux sciences de la gestion et des villes intelligentes qui sont l'IdO, Big Data et l'IA. Nous préciserons chaque technologie, leur mise en pratique dans les entreprises, les organisations et dans la société, leur projets internationaux et leurs enjeux.

2.2.1 Internet des objets (IdO)

Définition et éléments

L'Internet des objets (IdO) est déjà implanté dans nos sociétés. On chiffre environ 1 million de milliards de capteurs connectés à Internet, et on compte des milliards d'appareils, tels que les téléphones intelligents et les tablettes qui sont connectés à Internet (Schwab, 2017 : 137). Certaines technologies se servent de l'Internet, dont l'Internet des objets (*Internet of Things (IoT)* en anglais) – technologie issue de l'industrie 4.0 (Buer, Strandhagen et Chan, 2018; Kohler et Weisz, 2016; Moeuf *et al.*, 2018; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018). Dérivée des TIC et de l'Internet, l'IdO nécessite un standard de protocole de communication autorisant d'interconnecter un réseau aux multiples objets qui peuvent être contrôlés à distance (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Khan et Salah, 2018). Les ordinateurs qui souhaitent communiquer avec un des objets leur étant connectés utiliseront l'*Internet Protocol* (IP) pour traduire le message par un autre protocole qui sollicite une interface spéciale (Gershenfeld, Krikorian et Cohen, 2004 : 78).

Selon Gubbi *et al.* (2013), cette technologie est :

[l'] interconnexion de dispositifs de détection et d'actionnement qui offrent la possibilité de partager des informations entre les plateformes via un cadre unifié et qui développent une image de fonctionnement commune pour permettre des applications innovantes. Ceci est réalisé par une détection à grande échelle

transparente, une analyse des données et une représentation de l'information à l'aide d'une détection omniprésente de pointe et de l'informatique en nuage. (Gubbi *et al.*, 2013 : 4, traduction libre).

Quant à Oztemel et Samet (2020 : 154), ils mentionnent que : « l'Internet des objets est l'interconnexion d'appareils physiques, de véhicules, de bâtiments et d'autres éléments intégrés à l'électronique, aux logiciels, aux capteurs, aux actionneurs et à la connectivité du réseau qui dote ces objets de collecter et d'échanger des données » (traduction libre).

Par la suite, l'IdO favorise la communication de différentes façons. Il permet aux objets, aux lieux physiques (United Nations Educational, 2018) et aux personnes (Manu, 2015), d'à travers le monde, d'être connecté et communiqué via Internet. En raison de son pouvoir d'interconnecter les objets et appareils entre eux, il est démontré que l'IdO permet aux systèmes manufacturiers « de prendre des décisions plus rapides, plus optimistes et vites (Oztemel et Samet, 2020 : 154, traduction libre) », et de décentraliser l'analyse et la prise de décision pour faciliter la réponse en temps réel (Moeuf *et al.*, 2018; Rüßmann *et al.*, 2015). L'IdO offre une forme d'« identité digitale » et une sorte de réseau aux éléments physiques qui nous entourent, ce qui facilite la communication et le partage d'information (Adat et Gupta, 2018 : 423).

Par ailleurs, l'IdO est une technologie qui s'arrime avec d'autres technologies pour fonctionner efficacement. Dans l'objectif d'interconnecter des objets entre eux et de communiquer et partager l'information, il comprend de nombreux éléments technologiques, dont la technologie de la radio-identification (RFID) (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Gubbi *et al.*, 2013; Hammoudi, Aliouat et Harous, 2018; Mahmoud *et al.*, 2015; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018). Les systèmes RFID, qui ont des microprocesseurs attachés à une antenne, soutiennent l'envoi et la réception d'un signal d'une personne ou d'un objet presque en temps réel (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Schwab, 2017; Xu, Xu et Li, 2018). Par conséquent, l'IdO collabore avec les systèmes RFID qui coopèrent avec les réseaux capteurs autorisant, par exemple, de suivre le statut des objets plus efficacement (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Hammoudi, Aliouat et Harous, 2018). Ces fonctionnalités transmettent l'information d'identification au moyen des lecteurs de communication sans fil (Xu, Xu et Li, 2018 cité dans Xu, He et Li, 2014), dont les réseaux de capteurs sans fil (WSN) (Gubbi *et al.*, 2013; Hammoudi, Aliouat et Harous, 2018; Khan et Salah, 2018; Lee et Lee, 2015; Mahmoud *et al.*, 2015).

D'autant plus, l'IdO use des technologies innovatrices de cette ère-ci. Pour être en mesure de connecter différents appareils et objets, l'IdO peut utiliser le Bluetooth, le Wifi (Adat et Gupta, 2018; Gubbi *et al.*, 2013; Manu, 2015; Xu, Xu et Li, 2018), le 6LoWPAN (Adat et Gupta, 2018) tout comme les réseaux cellulaires ou la communication en champ proche (NFC) (Manu, 2015; Xu, Xu et Li, 2018) et autres (Khan et Salah, 2018). Dans la prochaine section, nous montrerons les mises en pratique de l'IdO.

Mises en pratique

Sur le plan industriel, l'IdO vise à soutenir la numérisation des organisations et entreprises dans l'objectif d'augmenter leurs gains de productivité. Une étude du BI Intelligence a noté que le chiffre d'affaires annuel des entreprises qui utilisent l'IdO s'est accru de 28,5 %, entre 2013 à 2014 (Julien et Martin, 2021 : 23). Selon Atzori, Iera et Morabito (2010 : 2787), il peut aider les entreprises, car il facilite « l'automatisation et la fabrication industrielle, la logistique, la gestion de l'entreprise, le transport intelligent des gens et des produits » (traduction libre). À cet effet, ils ressortent que l'IdO est appliqué dans de nombreuses sphères de la société, telles que le transport et la logistique en matière de surveillance de production et de la facilitation d'envoi d'informations. Par exemple, par les tags et capteurs intégrés aux routes, il est en mesure d'envoyer des données concernant le trafic et le ramassement des ordures aux partis ciblés.

En outre, l'IdO est plus que nécessaire dans le secteur manufacturier. Jumelé à la technologie RFID, il est en mesure d'appuyer une meilleure gestion des entrepôts par la fonctionnalité de suivre, tracer et d'identifier des objets spécifiques (Lee *et al.*, 2018 : 2755) et de redéfinir le flux de travail dans les usines et d'optimiser le cout de distribution (Lee et Lee, 2015 : 1). Lee *et al.* (2018) soulèvent qu'il facilite le déploiement des entrepôts automatisés, en raison de son système de contrôle qui permet de gérer les machines, produits et ressources industriels par son infrastructure.

À l'échelle du consommateur, l'IdO occupe de plus en plus de place dans sa vie et ses habitudes de consommation. « Le but de l'IdO est de transformer la façon dont nous vivons aujourd'hui en faisant en sorte que les appareils intelligents qui nous entourent effectuent des tâches et des corvées quotidiennes » (Mahmoud *et al.*, 2015 : 336, traduction libre). Par exemple, le

propriétaire d'une maison peut être commander par l'IdO, par le fait que les sous-réseaux (serveur, haut débit de connexion, point d'accès sans fil, l'interface de ligne électrique) lui accordent de vérifier à distance si les portes d'une maison sont fermées et les appareils éteints (Gershenfeld, Krikorian et Cohen, 2004). D'ailleurs, Novak et Hoffman (2019 : 216) soulignent que le produit populaire de reconnaissance vocale, Alexa d'Amazon, use de l'IdO avec une commande vocale qui agit comme l'assistant personnel de l'utilisateur, et est utilisée dans la maison, les appareils et la voiture pour effectuer des tâches précises. Elle est en mesure « de programmer une alarme, commander des produits sur Amazon, allumer la télévision, et plus » (traduction libre).

De surcroît, l'IdO permet aux consommateurs de rester à jour sur les informations personnelles qu'ils souhaitent recevoir. Dans une optique d'information en continu, la montre Apple Watch use de l'IdO, car elle reçoit et donne de la rétroaction constante à la personne en étant constamment attachée à la peau : elle peut savoir sa localisation en tout temps, suivre et noter ses activités, connaître ses réponses biométriques et être constamment à jour sur les informations de l'utilisateur (Manu, 2015).

Projets

Cette partie exposera les projets mondiaux reliés à l'IdO dans le cadre de l'industrie 4.0. Tout d'abord, le European Commission 7th Framework program (EU-FP7) a développé quelques projets en matière de l'IdO dans le but de : « établir une plateforme de coopération et une vision de la recherche pour les activités IdO en Europe et devenir un point de contact pour la recherche IdO dans le monde » (Gubbi *et al.*, 2013 : 17, traduction libre). Aussi, l'Internet of Things European Research Cluster (IERC) a développé le projet *Internet of Things Architecture (IoT-A)* qui constitue à trouver un modèle de référence architectural aux éléments liés à l'IdO (Gubbi *et al.*, 2013 : 17). En Amérique du Nord, les États-Unis ont créé un plan de fabrication intelligent (*Smart Manufacturing Leadership Coalition*) en vue de connecter tous les appareils et objets à l'aide de cette technologie (Yin, Stecke et Li, 2018, cité dans Porter et Heppelmann 2014, 2015). Finalement, le CASAGRAS2, un regroupement international de partenaires (États-Unis, Chine, Japon et Corée du Sud), parcourt les enjeux reliés à la RFID dans l'IdO (Gubbi *et al.*, 2013 : 17).

Enjeux

Par la suite, bien que l'IdO ait certains avantages à différents niveaux d'une entreprise ou d'une organisation, on dénombre des défis liés à sa sécurité. Il faut s'assurer de sécuriser les différents appareils connectés, les connexions et les données qui figurent dans le réseau (Adat et Gupta, 2018 : 430), en raison de son environnement vulnérable aux cyberattaques (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Khan et Salah, 2018; Schwab, 2017). À ce titre, il est plus sensible aux attaques que d'autres TIC sous prétexte que ses multitudes de communications sans-fil et appareils et objets connectés facilitent l'écoute clandestine (Atzori, Iera et Morabito, 2010 : 2801), le piratage et le vol des données (Mani et Chouk, 2018 : 800). En 2014, une étude du *Hewlett Packard* mentionnait que 70 % des appareils reliés à l'IdO révèlent des enjeux élevés de vulnérabilité (Lee et Lee, 2015 : 9), et la RFID, le WSN et les nuages informatiques sont plus sensibles aux attaques (Hammoudi, Aliouat et Harous, 2018 : 376). C'est pourquoi les attaques peuvent mettre en péril l'intimité des données en révélant, par exemple, la localisation exacte, les mouvements, les conditions de santé des gens et les choix d'achat des consommateurs (Lee et Lee, 2015 : 9).

Aussi, les ingénieurs font face à des enjeux structurels reliés à l'IdO. Certaines composantes de celui-ci ne sont pas énergivores – nécessitent peu de ressources informatiques et ont une faible capacité de traitement –; ils ne soutiennent pas adéquatement des « schémas complexes » pour assurer une sécurité accrue du système (Atzori, Iera et Morabito, 2010; Khan et Salah, 2018). Par conséquent, il est conseillé d'avoir un bon mécanisme de cryptage (Khan et Salah, 2018 : 397) pour assurer la confidentialité, l'intimité et l'intégrité des données, et d'aménager régulièrement de nouveaux capteurs et de mettre à jour ceux existants pour se protéger des attaques malveillantes (Gubbi *et al.*, 2013 : 15). Il est aussi nécessaire que les entreprises offrent des formations aux développeurs axés sur les systèmes de prévention d'intrusion et les pare-feux pour contrer les problèmes de sécurité (Lee et Lee, 2015 : 9).

En outre, la possibilité d'être connecté à travers une multitude d'objets compose d'autres défis. L'authentification dans les appareils qui utilisent l'IdO constitue un défi pour les ingénieurs et les utilisateurs, étant donné que les étiquettes de RFID ne sont pas en mesure d'échanger une grande quantité de messages avec les serveurs d'authentification (Atzori, Iera et Morabito, 2010 : 2801). En revanche, à l'aide d'avancées technologiques, il est maintenant possible de « renforcer » les protocoles de sécurité d'authentification des appareils en proposant aux consommateurs l'authentification double et l'utilisation des données biométriques (rythme de battement de cœur)

(Mani et Chouk, 2018 : 802). Qui plus est, les gestionnaires et professionnels de TI ont l'option d'investir dans la technologie chaîne de blocs (*blockchain*)¹ pour assurer une meilleure sécurité dans le cryptage, l'authentification et la protection des données (Allam et Dhunny, 2019; Khan et Salah, 2018; Mani et Chouk, 2018).

Par ailleurs, chaque système IdO est unique. Bien qu'on quantifie des efforts de standardiser l'IdO (Atzori, Iera et Morabito, 2010), il n'a pas de modèle standard (Adat et Gupta, 2018; Hammoudi, Aliouat et Harous, 2018). Il a une structure unique en fonction des systèmes, appareils et objets qui lui sont connectés et qui ne facilite pas les solutions généralistes reliées à ces défis. À plus forte raison, les données constituent un enjeu de taille, en raison de la quantité de données créées et générées par les capteurs et les appareils, il est difficile pour l'IdO d'analyser celles hétérogènes provenant de différentes sources (Lee et Lee, 2015).

Pour éviter le chaos dans le monde de l'IdO hyperconnecté, les entreprises doivent faire tout leur possible pour réduire la complexité des systèmes connectés, améliorer la sécurité et la standardisation des applications, et garantir la sécurité et la confidentialité des utilisateurs à tout moment, n'importe où, sur n'importe quel appareil. (Lee et Lee, 2015 : 10, traduction libre).

Manu (2015) stipule qu'il est crucial de bien organiser les données recueillies pour obtenir de meilleure analyse et assurer une meilleure prise de décision.

Finalement, ceux qui usent de l'IdO doivent développer des connaissances générales sur les technologies. Les appareils intelligents qui utilisent l'IdO peuvent être complexes à utiliser pour les utilisateurs qui ne possèdent pas les compétences nécessaires concernant le fonctionnement de ces appareils, et de bénéficier des services et fonctionnalités offerts (Mani et Chouk, 2018 : 803). Dans la prochaine section, Big Data sera présenté.

2.2.2 Big Data : extraction et analyse des données

Définition

Big Data est une technologie qui marque l'industrie 4.0. En 2012, McAfee *et al.* (2012 : 4) ont remarqué qu'il y avait plus de données qui parcouraient Internet que depuis les 20 dernières années

¹ Définition de chaîne de blocs (*blockchain*) : « Une blockchain est fondamentalement un registre de base de données décentralisé, distribué, partagé et immuable qui stocke le registre des actifs et des transactions sur un réseau peer-to-peer (P2P). Il a enchaîné des blocs de données qui ont été horodatés et validés par les mineurs. » Khan, Minhaj Ahmad et Khaled Salah (2018). « Iot security: Review, blockchain solutions, and open challenges », *Future generation computer systems*, vol. 82, p. 395-411.

de celle-ci. « Chaque jour, 2,5 millions de quadrillions d'octets de données sont créés et 90 % des données dans le monde aujourd'hui ont été produites au cours des deux dernières années » (Wu *et al.*, 2013 : 2, cité de IBM 2012, traduction libre). Par exemple, le géant Google est capable de traiter 24,000 téraoctets de données (Davenport, Barth et Bean, 2012 : 22).

Ensuite, sans les données qu'on retrouve sur Internet, Big Data n'existerait pas. Ces données créées proviennent de nombreux types de technologies à l'exemple des GPS, des capteurs, des discussions publiques sur les sites Internet et des images et textes partagés sur les plateformes de médias sociaux comme Twitter, Facebook, LinkedIn, etc. (Wu *et al.*, 2013 : 14) À cet effet, Big Data capture des données par les actions et énoncés informatisés des individus (Zuboff, 2015). D'ailleurs, le rapport de *Transforming Data With Intelligence* (TDWI) soulève que bien qu'il ne soit pas un nouveau concept, mais plutôt sa capacité d'analytique efficace qui l'est, il permet de prendre des actions complexes et considérables en temps réel par le volume élevé de données produit et partagé sur Internet et des TI (Russom, 2011 : 7).

Pour définir Big Data, plusieurs chercheurs proposent une définition de celui-ci. Wu *et al.* (2013) ont développé le théorème HACE pour le définir et les aider à trouver des solutions à celui-ci : « Big Data commence par des sources volumineuses, hétérogènes et autonomes avec un contrôle distribué et décentralisé et cherche à explorer des relations complexes et évolutives entre les données » (: 2, traduction libre). Julien et Martin (2021 : 20) formulent que pour extraire et analyser des données, il use des algorithmes (règle de calcul) issus de l'IA – une technologie qui sera développée plus loin dans la recherche. Les algorithmes favorisent diverses sortes de traitements analytiques et de statistiques avancées des données par les approches de l'IA.

À cet effet, puisque que Big Data produit, extrait et analyse les données en temps réel, cela accorde, par exemple, aux chercheurs de prédire des catastrophes naturelles, telles que les tremblements de terre, et des événements sociaux majeurs, avec beaucoup de précision, notamment au moyen de Twitter (McAfee *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013). D'ailleurs, il contribue à la recherche de traitements et de remèdes pour des maladies sévères (Davenport, Barth et Bean, 2012 : 22). Aussi, sa production grandissante de données, sa capacité de stockage et son processus d'analyse rigoureux et complexe accordent aux entreprises et organisations d'opérer et de prendre des actions en temps réel (Moeuf *et al.*, 2018; Schwab, 2017). McAfee *et al.* (2012 : 8) stipulent que les

entreprises engagent des « scientifiques de données » en mesure d'analyser les données extraites par Big Data pour les aider à prendre des décisions opérationnelles et financières.

Donc, Big Data est une technologie de l'industrie 4.0 qui transforme nos sociétés par sa capacité d'extraire et d'analyser les données. Il est un outil qui est caractérisé – en autres – par ses composantes reliées à son volume, sa rapidité et sa variété, qui comportent certains enjeux dans l'extraction et l'analyse des données (McAfee *et al.*, 2012; Russom, 2011).

Mises en pratique et enjeux

Volume

Le volume élevé de Big Data contribue à l'une des caractéristiques qui le démarque. « En raison de la taille et de l'incompatibilité du traitement de Big Data à l'aide des systèmes d'information existants, des technologies de l'information avancées sont nécessaires pour extraire une valeur maximale des données » (Akter *et al.*, 2020 : 20, traduction libre). À cet effet, certaines instances privilégient l'informatique en nuage (*cloud computing*) avec une haute performance de plateforme de calcul pour l'extraction des données tout en utilisant des outils et des modèles de programmation pour l'analyse et la « génération de grands ensembles » de données à l'exemple des algorithmes de MapReduce et d'Enterprise Control Language (ECL) (Wu *et al.*, 2013), de la plateforme Hadoop Distributed File System (HDFS) et du Structured Query language (SQL), etc. (Russom, 2011 : 28) Toutefois, bien que certains chercheurs (Moeuf *et al.*, 2018) sont d'avis que l'informatique de nuage est une solution plus viable pour les PME – par sa capacité de stocker un grand nombre de données –, Russom (2011 : 31) soutient que des entreprises vendent des produits de stockage et d'analyse de Big Data abordables pour celles-ci, telles que IBM, Cloudera, EMC Greenplum, Impetus Technologies, SAND Technology, etc.

Par ailleurs, par un haut volume de données, Big Data avantage une meilleure productivité des entreprises. Selon McAfee *et al.* (2012 : 4), il aide les entreprises et gestionnaires de prendre des décisions sur les données et la rigueur et non sur l'intuition. Il favorise une réduction des coûts et rehausse le revenu d'une entreprise (Russom, 2011). Cependant, les entreprises doivent être sensibilisées aux choix d'outils et de systèmes, puisque maintes données ne signifient pas qu'elles seront toutes utiles (Moeuf *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2013). Un grand nombre de données peut comporter des défis ; les entreprises doivent protéger et assurer la sécurité des données, car

certaines d'entre elles dévoilent les informations personnelles et privées des usagers si les données analytiques ne détiennent pas une bonne gouvernance, des paramètres privés et une sécurité rigoureuse (Russom, 2011 : 34).

Autrement, Big Data révèle des enjeux environnementaux. Sachant que les ensembles de données volumineux générés sur Internet sont principalement stockés dans des nuages sur des serveurs – qui se trouvent dans machines entreposées dans des centres de données –, Shehabi *et al.*, (2016 : ES1) constataient aux États-Unis que les centres de données dépensent une grande quantité d'énergie, en autres, dû aux données produites et conservées. Il eut une augmentation de la consommation d'électricité de 4 % entre 2010 et 2014, dont les centres affichent 1.8 % de la consommation électrique totale du pays en 2014. Néanmoins, ils remarquent que les centres deviennent plus efficaces avec le temps, ce qui réduit la consommation d'électricité.

Rapidité

À chaque révolution industrielle, l'information se propage de plus en plus rapidement, et devient vitale pour les sociétés et les entreprises. L'une des caractéristiques clés de Big Data est les données partagées en temps réel (Davenport, Barth et Bean, 2019; McAfee *et al.*, 2012; Russom, 2011; Wu *et al.*, 2013). L'information qui sera recueillie à partir de ces données offre à l'entreprise de devenir plus agile face à ses concurrents, vu qu'elle aura la possibilité d'obtenir une longueur d'avance à l'aide de données fournies par Big Data (McAfee *et al.*, 2012). « Un avantage concurrentiel important pour une entreprise est sa capacité à répondre aux exigences individuelles de divers clients » (Yin, Stecké et Li, 2018 : 854, traduction libre), et de satisfaire le plus rapidement que possible les demandes et besoins du client final et de manière personnalisée, avec les données récoltées en contexte d'industrie 4.0 (Kohler et Weisz, 2016).

Par la suite, il devient plus que nécessaire aux gestionnaires d'organisations et entreprises de connaître ou de maîtriser Big Data. Davenport, Barth et Bean (2012 : 23) précisent que bien que les entreprises aient le pouvoir de mieux identifier et de comprendre les besoins de leurs consommateurs avec le volume, la variété et la rapidité des données, les gestionnaires doivent rester aux aguets, en raison d'un délai entre l'extraction et l'analyse qui peut faire en sorte que les décisions soient prises trop tard. Ils suggèrent d'opter pour des approches en temps continu pour mieux capturer les tendances des utilisateurs, telles que l'analyse des médias sociaux, de considérer les données changeantes et qu'elles doivent être analysées rapidement, et d'entraîner et de recruter

des scientifiques de données qui seront en mesure de traiter les données adéquatement. D'ailleurs, d'un point de vue social, Wu *et al.* (2013 : 22) souhaite que Big Data prodigue la possibilité de mieux comprendre la société en temps réel pour qu'on puisse mieux la desservir.

Variété

Big Data comporte une panoplie de données différentes l'une des autres. Elle est constituée de types de données hétérogènes complexes : des données structurées, non-structurées, semi-structurées, etc. (Akter *et al.*, 2020; Hariri, Fredericks et Bowers, 2019; Wu *et al.*, 2013). Caractérisées ainsi, elles sont des données tabulaires, des bases de données graphiques, des images, des vidéos, de l'audio et du texte récolté à partir de schémas d'une multitude de collecteurs d'informations et de diverses applications (Wu *et al.*, 2013 : 13). D'ailleurs, bien que la majorité des données soient structurées, Russom (2011 : 27) dégage une tendance des entreprises à récupérer des données non-structurées, car les outils d'exploration et d'analyse de texte sont en mesure de trouver « des faits sur les entités commerciales » et de remanier ceux-ci en données structurées utilisables. Toutefois, Big Data s'avère être une technologie complexe qui nécessite des connaissances à son sujet pour bien la maîtriser. Townsend (2013) met en évidence que Big Data peut provoquer de l'incertitude aux gestionnaires s'ils ne savent pas lire ou s'ils se méfient des données : ils risquent de continuer à se fier à leur intuition, prendre des décisions immatures ou conclure des scénarios hâtifs lorsqu'ils devront réagir rapidement lors d'une période de crise. En outre, les différents types de données détiennent divers types de vitesse et de fréquences qui complexifient l'extraction et l'analyse (Russom, 2011 : 4). Il n'y a aucun modèle qui peut entièrement gérer Big Data par son caractère disparate et complexe (Wu *et al.*, 2013 : 13). Hariri *et al.* (2019 : 2) dénombrent diverses données incertaines qui peuvent nuire à l'analyse de l'information, étant donné qu'elles sont imprécises, inexactes, incomplètes ou ambiguës. Cependant, ils soutiennent que bien que Big Data produit des données pas entièrement représentatives ou exactes, ils existent les grandes approches de l'IA donnant des résultats plus précis, rapides et évolutifs.

Projets

De nombreux projets mondiaux sont reliés à la conception de Big Data. Wu *et al.*, (2013) dénotent plusieurs d'entre eux. En 2012, les États-Unis lancent l'initiative « BIGDATA » qui a permis de soutenir des projets dirigés par quelques universités, dont University of Washington, Brown

University, Carnegie Mellon University et Rutgers University, d'étudier les fondements de la gestion de celui-ci et de créer des méthodes, des algorithmes, des cadres et des infrastructures dans le but de récolter des quantités massives de données qui peuvent être gérées et interprétées par les humains). Ils dénombrent divers autres projets tels que *Big Data Fast Response: Real-time Classification of Big Data Stream* de 2013 à 2015 par l'Australian Research Council (ARC) et *Pattern Matching and Mining with Wildcards and Length Constraints* de 2013 à 2016 par National Natural Science Foundation of China (NSFC). Également, Julien et Martin (2021 : 138) illustrent l'exemple de l'aéroport Charles-de-Gaulle qui permet à ses avions d'user du Big Data et de l'IA pour assurer une maintenance de ceux-ci. Les données recueillies grâce aux nombreux capteurs implantés dans les équipements sont partagées en temps réel par le Wifi aux ingénieurs d'entretien.

Enjeux

Toutefois, Big Data a suscité certaines réactions dans le monde académique et dans la société concernant l'extraction et l'analyse de données. Zuboff (2015) argumente qu'une bonne partie des données extraites par les entreprises, comme Google, sont faites en l'absence d'un dialogue ou de consentement avec le consommateur. Il soutient percevoir un manque de transparence par la façon que Big Data extrait les données, car – extraites directement des individus –, en règle générale, la population ne sait pas comment l'information est recueillie, sauvegardée, traitée et utilisée. De plus, Schwab (2017 : 144) révèle les enjeux liés à la vie privée des citoyens et la modification dans les structures légales liés à Big data. Aussi, il mentionne que certains emplois considérés manuels deviendront obsolètes face à celui-ci.

Donc, Big Data est un concept de l'industrie 4.0 qui prédomine dans les organisations et entreprises en raison de leurs activités et opérations qui se numérisent de plus en plus. Au niveau des entreprises, elles nécessitent d'obtenir une grande quantité de données et d'informations leur procurant de surpasser leurs objectifs mesurables (McAfee *et al.*, 2012). Big Data met à leur disposition de mieux « se comprendre », suivre les comportements changeants des consommateurs (Russom, 2011 : 4), tout en prédisant le comportement actuel et futur de ceux-ci. Par contre, Zuboff (2015) résume qu'il doit être traité en fonction d'assurer une meilleure sécurité des données et un respect de la vie privée des gens. Il est crucial pour les entreprises de collecter et de comprendre les données, car Rüßmann *et al.* (2015 : 3) stipulent que les décisions en temps réel à partir de Big Data deviendront la norme dans les sociétés.

2.2.3 Intelligence artificielle (IA)

Définitions et éléments

À l'heure actuelle, l'intelligence artificielle (IA) est l'une des technologies les plus discutées auprès des sociétés. Bien que l'IA soit une technologie qui parut vers 1950 (Brynjolfsson et McAfee, 2017; George Sr *et al.*, 2019; Gibert, 2021; Marr, 2019; Reese, 2018) ; il semble avoir un regain d'intérêt et un engouement, depuis une décennie, auprès de la communauté scientifique et de la société (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019), notamment par sa capacité d'analyser les données recueillies par l'IdO et Big Data. Plusieurs chercheurs (George Sr *et al.*, 2019; Marr, 2019; Reese, 2018; Schwab, 2017) mentionnent que l'IA est l'un des concepts de la quatrième révolution industrielle.

Tout d'abord, l'IA s'inspire du domaine de l'informatique, des mathématiques et de l'ingénierie. Composée de formules mathématiques et d'algorithmes (règles de calcul), Marr (2019 : 3) définit l'IA comme un outil qui permet aux systèmes d'ordinateurs et aux machines de démontrer un « comportement intelligent » et d'apprendre de manière autonome à l'aide d'un humain. Dans cette optique, elle utilise les données et algorithmes pour prédire des scénarios et résultats, prendre de meilleures décisions (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016; Marr, 2019) et d'appliquer des décisions préprogrammées (Makridakis, 2017). Donc, bien qu'on ne note pas de définition précise de l'IA, elle est – en général – montrée par sa capacité d'offrir aux machines et ordinateurs d'apprendre d'une expérience et de s'adapter aux différents « entrants » dans l'objectif que les machines et robots puissent effectuer des tâches presque comme un humain (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019).

Ensuite, l'IA à différents types d'appellations. Elle est surnommée par les termes « IA restreinte » ou « IA faible » et « IA générale (AGI) » ou « IA forte » ; actuellement, la société exploite l'IA restreinte – qui permet aux ordinateurs de résoudre des problèmes ou de performer des tâches – tandis que l'IA générale –, qui a une intelligence identique ou « supérieure » aux humains, – n'existe pas à l'heure actuelle, mais est en conception (Reese, 2018; United Nations Educational, 2018). D'ailleurs, « dans l'expression « intelligence artificielle » (IA), le mot « intelligence » n'est qu'une métaphore. Car, si sa capacité calculatoire dépasse celle de l'homme, l'IA est incapable de donner une signification à ses propres calculs » (United Nations Educational, 2018 : 15).

Approches

La figure 2.2.3.1 illustre quelques approches de l'IA: l'apprentissage automatique (AA) (*machine learning* (ML)) (Brynjolfsson et McAfee, 2017; Gibert, 2021; Marr, 2019; Reese, 2018), l'apprentissage de la représentation (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016) et l'apprentissage profond (AP) (*deep learning* (DL)) (Brynjolfsson et McAfee, 2017; Marr, 2019). L'apprentissage par renforcement qui regroupe plusieurs approches de l'IA est également une approche préconisée dans la société (Brynjolfsson et McAfee, 2017; Gibert, 2021; Goodfellow, Bengio et Courville, 2016; Marr, 2019; McAfee *et al.*, 2012). D'ailleurs, peu importe l'approche, les scientifiques usent du calcul par GPU (*graphics processing units*) ou des processeurs dans le but de faire interagir une gamme de machines ensemble (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016 : 432). Bref, actuellement, l'attention des entreprises et de la société est rivée sur l'AA et l'AP (George Sr *et al.*, 2019; Goodfellow, Bengio et Courville, 2016; Marr, 2019; United Nations Educational, 2018).

Tout d'abord, l'AA est l'une des approches de l'IA que les entreprises utilisent dans leur système au sujet de la numérisation. Elle se sert des « réseaux neuraux artificiels » disposant aux machines de créer des règles par elles-mêmes et de recréer la façon dont notre cerveau humain apprend par les données brutes et l'expérience (George Sr *et al.*, 2019; Goodfellow, Bengio et Courville, 2016; Marr, 2019). Elle a la capacité de résoudre des problèmes et prendre des décisions qui nous semblent subjectives, et d'effectuer des tâches difficiles qui ne peuvent être faites par des programmes conçus par les humains (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016). À partir d'exemple, la machine peut comparer, classer des données et reconnaître des figures complexes (United Nations Educational, 2018). D'ailleurs, la montée de l'IA découle – en partie – de la numérisation dans la société et l'ère de Big Data, qui aident aux applications de l'AA d'être plus efficaces (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016; United Nations Educational, 2018). C'est-à-dire que les données extraites par l'IA lui allouent de faire des analyses plus approfondies (George Sr *et al.*, 2019).

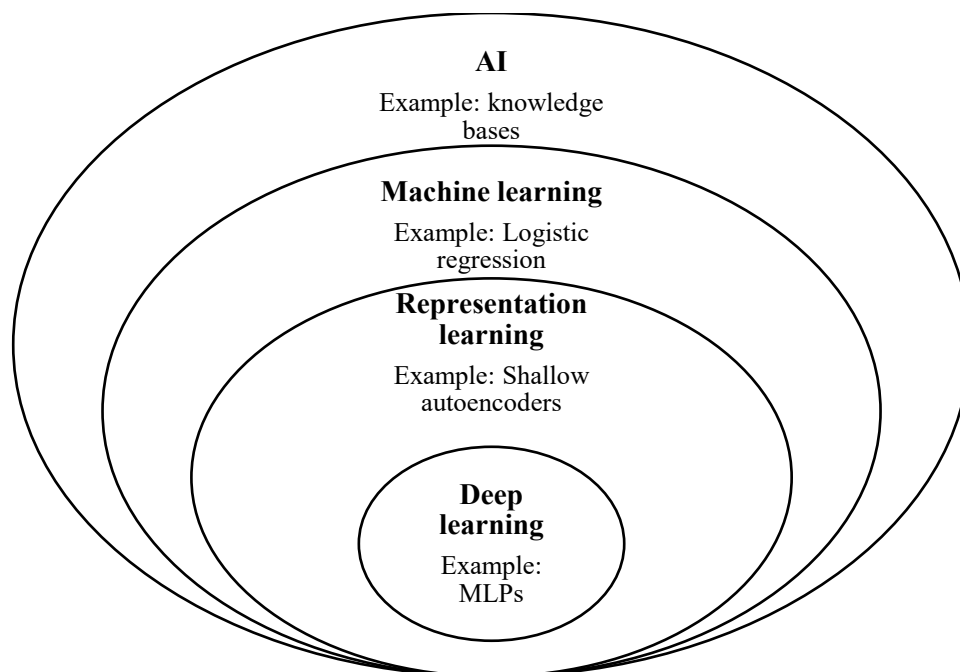


Figure reproduite 2.2.3.1 – Les approches de l’IA accompagné d’un exemple

Source : Goodfellow, Ian, Bengio, Yoshua et Courville, Aaron (2016). *Deep learning*, Cambridge, MIT press, p.9

Ensuite, l’AP est utilisée dans des problèmes de la machine qui sont plus complexes. « Lorsque l'apprentissage automatique utilise maintes couches de réseaux neuraux artificiels pour apprendre à partir des données d'entraînement (ce qui les rend plus puissantes), nous l'appelons l'apprentissage profond » (Marr, 2019 : 5, traduction libre). Avec une infrastructure matérielle et logicielle de haute qualité, l’AP offre à l’ordinateur la possibilité de construire des « concepts compliqués » par des « concepts simples » (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016 : 5). À cet effet, elle est utile à la reconnaissance vocale, la détection des piétons, la segmentation des images, la classification des panneaux de signalisation, la vision par ordinateur et le traitement automatique des langues (TAL) (*Natural language processing (NLP)*)² (Goodfellow, Bengio et Courville, 2016).

² Définition du traitement automatique des langues : « Le traitement automatique des langues (TAL) est l'utilisation de langues humaines, telles que l'anglais ou le français, par un ordinateur. Les programmes informatiques lisent et émettent généralement des langages spécialisés conçus pour permettre une analyse efficace et sans ambiguïté par des programmes simples. Les langues plus naturelles sont souvent ambiguës et défient la description formelle. Le traitement automatique des langues comprend des applications telles que la traduction automatique, dans lesquelles l'apprenant doit lire une phrase dans une langue humaine et émettre une phrase équivalente dans une autre langue humaine. » Ian Goodfellow, Yoshua Bengio et Aaron Courville, « *Deep learning* », Cambridge, MIT press, 2016, 775 p.

« L'apprentissage profond nous a donné bon nombre des avancées récentes de l'IA, telles que la capacité des ordinateurs à voir et à reconnaître quoi ou qui se trouve dans une image (vision artificielle). Ou cela a donné aux machines la capacité de comprendre et de reproduire des textes écrits ou des mots parlés, ce que nous appelons le traitement du langage naturel et que nous voyons dans les *chatbots* de sites Web ou les haut-parleurs intelligents à domicile comme Echo d'Amazon » (Marr, 2019 : 5).

D'ailleurs, l'IA s'insère dans une panoplie de technologies. On constate qu'elle intègre diverses technologies de l'industrie 4.0 comme Big Data, (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019; George Sr *et al.*, 2019; Reese, 2018) et l'IdO par la production de données en temps réel et en créant conjointement des choses et des objets intelligents (Xu, Xu et Li, 2018 : 2945). Par conséquent, l'IA et certaines des technologies de l'industrie 4.0 contribuent à l'automatisation des tâches, l'analyse de données et la prise de décision en temps réel (Marr, 2019; Moeuf *et al.*, 2018).

Mises en pratique

À l'heure actuelle, l'IA est utilisée dans tous types d'industries. Depuis les dernières années, on observe l'apparition de véhicules autonomes usant de l'AA développées par des entreprises comme Tesla (Marr, 2019 : 311), Apple, Mercedes-Benz, BMW, etc. (Brodsky, 2016 : 856) Selon Makridakis (2017 : 51), ces voitures ont l'avantage de ne pas dépasser les limites de vitesse, d'être sous l'influence de substances illégales au volant, d'éprouver de la fatigue ou d'être distrait par un téléphone intelligent – comparé aux humains –, ce qui causera moins d'accidents sur la route.

Également, l'IA permet des innovations qui servent à différents besoins de la société. Dans le livre *Artificial Intelligence in Practice*, Marr (2019) énumère des entreprises qui usent l'IA pour le bien commun : Twitter combat les fausses nouvelles et les « *Spambots* », Elsevier use de l'IA en vue d'améliorer les décisions prises dans le secteur de la santé et la recherche scientifique, Infervision exploite la vision par ordinateur pour détecter des cancers et les accidents vasculaires cérébraux et John Deere adopte l'IA pour réduire la pollution de pesticide dans l'agriculture. Aussi, une robotique intelligente intégrée d'IA a le pouvoir d'alléger notre charge de travail et d'automatiser des tâches (United Nations Educational, 2018 : 13) : les gens peuvent se concentrer dans des choses plus importantes et soustraire du temps sur des tâches.

Par la suite, l'IA favorise les gains de productivité des entreprises et organisations. Selon un rapport du PwC publié en 2017, d'ici 2030, l'IA risque d'atteindre plus de 14 % de la production totale des biens. L'Amérique du Nord notera son PIB augmenté de 36 % en raison de l'IA (PricewaterhouseCoopers, 2017 : 1). Par ailleurs, selon un sondage de Forrester Global Business

Technographies en 2017, 30 % des 1476 entreprises interviewées mentionnent qu'elles utilisaient ou planifient d'intégrer l'IA à leur entreprise pour hausser l'efficacité de leurs opérations (George Sr et al., 2019 : 105). « *AI opens up profit opportunities currently hidden from human observation by the sheer magnitude of data sets describing customer demand and the waste costs of the resulting order fulfillment processes* » (: 105). À cet effet, Marr (2019 : 6) illustre qu'elles peuvent l'exploiter pour transformer leur compréhension des besoins des consommateurs et leurs interactions, proposer des produits et services plus intelligents et bonifier et automatiser leurs processus. À titre d'illustration, Amazon a utilisé l'AP dans ses outils de prédiction pour amplifier sa performance d'entreprise, mieux automatiser ses entrepôts et offrir de meilleures recommandations de produits à ses clients par son moteur de recherche. En outre, jumelé avec une stratégie de données, il stipule que l'AP permet aux gestionnaires d'identifier leurs occasions et menaces stratégiques et de choisir leurs « applications » les plus percutantes (: 29). Bref, l'IA peut soutenir une meilleure prise de décision de la part des gestionnaires, et améliorer l'expérience des consommateurs (Duan, Edwards et Dwivedi, 2019 : 63).

Au courant des prochaines années, l'IA forcera les entreprises à se transformer. Les modèles d'affaires devront s'adapter ou changer en fonction de celle-ci pour aussi être en concordance avec la quatrième révolution industrielle (Bornet, Barkin et Wirtz, 2021; Duan, Edwards et Dwivedi, 2019; Marr, 2019). Haenlein et Kaplan (2019 : 5) dénotent qu'elle affectera nos vies personnelles et changera le processus de décision et la façon dont les entreprises interfèrent avec leurs parties prenantes (employés, clients). D'ailleurs, elle amènera des secteurs tels que la banque, les assurances, la santé et la défense à se transformer (United Nations Educational, 2018).

Par ailleurs, dans un aspect sociétal, on perçoit certaines mises en pratique de l'IA qui contribuent à la recherche et à l'intérêt du bien commun. Reese (2018) met en relief qu'à partir des données de trafic routier, elle aide les diverses technologies à bâtir des routes plus intelligentes, synchroniser les feux de circulation en fonction des conditions routières et réduire les accidents. Aussi, il stipule qu'une grande quantité de données brutes provenant des données satellites octroie à l'IA de découvrir d'anciennes villes recherchées par les archéologues, traquer des animaux en voie de disparition et examiner la flore. Aussi, selon lui, dans un avenir rapproché, avec l'IA et par nos téléphones intelligents, les gens auront la possibilité d'avoir accès aux meilleurs professionnels (docteurs, thérapeutes, diététiciens, mécaniciens, etc.) (: 287). Et, il est d'avis

qu'avec l'Internet et l'IA, les pays défavorisés pourront avoir accès à autant de connaissances que les pays riches : cela stimulera les innovations à travers le monde et contribuera à diminuer la pauvreté au long terme. Quant à Allam et Dhunny (2019), ils signalent qu'elle contribue à réduire les effets des changements climatiques.

Projets

Les opportunités d'affaires reliées à l'IA, les gains en productivité possibles pour les entreprises et la capacité de transformer les entreprises et sociétés encouragent quelques pays à devenir des leaders mondiaux du domaine. Tout d'abord, Marr (2019 : 2-3) souligne que les États-Unis ont publié, en 2016, un rapport s'intitulant *Preparing for the Future of Artificial Intelligence*, qui fit havre de base la stratégie américaine en IA. Également, dans le contexte de la quatrième révolution industrielle, la Chine à l'intention d'être le leader dans ce secteur d'ici 2030 (Marr, 2019) : elle a créé le plan *Made in China 2025*, qui applique les approches et composantes de l'IA (George Sr *et al.*, 2019; Schwab, 2017). Dans la même veine, en 2017, le Canada a instauré un plan de stratégie Pan-canadienne d'IA afin de se positionner aussi comme leader en investissant 125 millions CAD (NewsWire, 2017). Finalement, en 2018, la France a annoncé qu'elle investirait 1,5 € dans l'IA d'ici 2022 (FRANCE24, 2018).

Enjeux

Cependant, l'IA est loin d'être parfaite comme technologie, et plusieurs chercheurs se posent des questions sur sa conception et sa mise en pratique au sein des sociétés. Malgré les avancées dans la science de l'IA, cette technologie a déçu certaines entreprises et organisations, sous prétexte que sa conception est lente et qu'il reste encore à développer (George Sr *et al.*, 2019; Reese, 2018). En particulier, Reese (2018 : 78) signale qu'elle n'est toujours pas en mesure de complètement contextualiser ce qu'elle voit ou son environnement ou d'improviser : tout est crypté pour agir ou réagir en fonction de certaines situations préétablies. Par exemple, un agent conversationnel comme Alexa ou Siri ne sera pas en mesure de participer à des conversations complexes avec un humain pendant plus d'une heure (United Nations Educational, 2018 : 13). En outre, Reese (2018 : 80) précise que le résultat qu'une machine fait défaillance peut s'avérer plus catastrophique que si c'était un humain. À cet effet, en 2016, une voiture autonome de Tesla en mode pilote

automatique – conduit à neuf miles km/h de plus autorisé sur la route – a eu un accident et a mené au décès du conducteur (Etzioni et Etzioni, 2017 cité de Levin et Woolf, 2016).

Également, l'IA révèle une gamme de défis au niveau de son utilisation dans les sociétés. Elle peut reproduire des inégalités sociales (Jaume-Palasi, 2019; Reese, 2018). À ce sujet, les biais conscients et inconscients des chercheurs sont parfois transmis dans les modèles et durant l'entraînement, ce qui peut discriminer les individus en fonction de leur couleur de peau et genre (Jaume-Palasi, 2019; United Nations Educational, 2018). Par exemple, es études démontrent que des systèmes de reconnaissance faciales perçoivent mieux les visages européens qu'africains, et certains d'entre eux sont plus efficaces sur les hommes que les femmes (United Nations Educational, 2018 : 20). Aussi, Jaume-Palasi (2019 : 487) stipule, que dans un avenir rapproché, elle discriminerait dans la distribution de l'énergie et de ressources importantes, les services de consommation et même dans le secteur de la santé et des services sociaux.

Par la suite, certains redoutent la présence considérable de robots et de machines intelligentes dans la société. Les individus se questionnent sur la capacité de ces objets à occuper tous les emplois, et si l'IA deviendra aussi intelligente ou même plus que l'humain (Makridakis, 2017; Reese, 2018). À cet égard, Makridakis (2017 : 57) porte à l'attention que les experts redoutent que la « structure sociale » puisse être ébranlée par une grande et rapide réduction d'emplois que pourrait entraîner l'introduction massive de l'IA dans les entreprises et organisations ; ils craignent qu'on assiste à une hausse de l'inégalité de la richesse entre ceux qui possèdent des emplois et les mises en pratique de l'IA, et ceux sans emplois.

En revanche, Yoshua Bengio, un des pionniers de l'AP, mentionne que l'IA a actuellement une intelligence réduite à la grenouille (United Nations Educational, 2018 : 18). Selon, Goodfellow, Bengio et Courville (2016), un des défis principaux de l'IA est « de résoudre des tâches faciles à accomplir pour les gens, mais difficile à décrire formellement – des problèmes que nous résolvons intuitivement, qui semblent automatiques, comme reconnaître des mots prononcés ou des visages dans des images (: 1, traduction libre). » En outre, certains chercheurs (Bornet, Barkin et Wirtz, 2021 ; Julien et Martin, 2021) et institutions (United Nations Educational, 2018; World Economic Forum, 2016) établissent que bien que certains emplois disparaîtraient, l'IA créera des emplois dans le futur, et que le travail est appelé à se transformer et à demander aux gens de nouvelles compétences.

D'autre part, l'IA est une technologie complexe dont les chercheurs tentent de la maîtriser. Personne ne prétend connaître les limites et toutes les implications de l'IA (Reese, 2018). Gibert (2021 : 50) mentionne que quelques membres de la communauté scientifique en IA croient qu'il y a 50 % de chance qu'on parvienne à déployer une IA qui serait semblable à l'intelligence humaine d'ici 2050. Cet élément fait ressortir l'enjeu du contrôle de la société par celle-ci (Gibert, 2021). C'est-à-dire que certains craignent que les machines deviennent plus intelligentes que les humains et prennent toutes les décisions à notre place dans le scénario où, par exemple, qu'un agent conversationnel choisit le restaurant et commande les mets, prend toutes les décisions dans la conduite automobile ou gère les usines nucléaires (Makridakis, 2017 : 59). Aussi, la création de systèmes d'armes létales automatiques, dits « robots tueurs », qui pourraient créer des armées de robots, inquiète les sociétés (Reese : 2018 ; United Nations Educational, 2018). Par contre, des instances telles que l'initiative IEEE sur *Ethics of Autonomous Systems*, the *Foundation for Responsible Robotics* et le *Partnership on AI* se penchent sur l'éthique de l'IA et des robots (Dignum, 2018). Également, les membres de l'UNESCO ont établi un accord sur l'éthique de l'IA (UNESCO, 2022), le Canada a présenté, en 2022, la proposition de loi C-27 qui souhaite régir l'IA (Bill c-27, 2022), et des villes canadiennes assises des déclarations sur l'éthique de l'IA comme Montréal (Déclaration de Montréal IA responsable) et Toronto (*Toronto Declaration on AI*) (McKelvey et MacDonald, 2019 : 45).

Par ailleurs, l'éthique de l'IA est au sujet de plusieurs débats académiques et sociétaux. Dignum (2018) précise que, dans le but d'offrir une forme d'éthique « humaine » à l'IA, cela devra être en concordance avec les différentes valeurs sociétales, morales et éthiques de différentes parties prenantes de divers environnements complexes. Et que les chercheurs doivent être capables d'expliquer le raisonnement intellectuel de l'humain, et garantir une transparence pour favoriser une confiance et une compréhension et le respect des droits de la personne et civils. Parallèlement,

au lieu d'essayer de réglementer l'IA elle-même, la meilleure façon d'éviter de telles erreurs est probablement de développer des exigences communément acceptées concernant la formation et le test des algorithmes d'IA, éventuellement en combinaison avec une certaine forme de garantie, similaire aux protocoles de test de consommation et de sécurité utilisés pour les tests physiques des produits. (Haenlein et Kaplan, 2019 : 7, traduction libre).

Aussi, des membres de la société souhaiteraient que l'IA possède la conscience humaine pour permettre aux machines et robots de faire des tâches exactement comme des humains. Certains auteurs mentionnent que la machine ne pourra pas substituer l'homme : l'humain possède un désir

et une conscience que la machine n'a pas (United Nations Educational, 2018 : 15). Selon Reese (2018 : 256), si les humains croient qu'ils sont des êtres complexes avec une conscience reliée à leur esprit, il est alors impossible que les robots possèdent ce type de conscience. Donc, dans cette perspective de déjouer l'enjeu potentiel de la domination des machines sur l'humain, Makridakis (2017) signale qu'il est préférable « d'identifier les risques reliés et concevoir des actions efficaces pour éviter leurs conséquences négatives » (: 58, traduction libre).

Enfin, les enjeux sociétaux et le futur incertain qu'occasionne l'IA influencent l'acceptabilité sociale de celle-ci. Duan, Edwards et Dwivedi (2019) précisent que l'acceptation de celle-ci réside dans les différentes cultures et valeurs personnelles des gens : pour l'intégration de l'IA, il faudra un changement de culture des organisations et des comportements humains et un rôle considérable du gouvernement dans la protection de l'impact de l'IA dans la société.

Sommaire de l'industrie 4.0, l'IdO, Big Data et l'IA

Pour résumé, nous avons présenté l'industrie 4.0 et plusieurs de ces technologies dont Big Data, l'IdO et l'IA. Nous avons défini et révélé leurs éléments et leurs mises en pratique dans la société et les entreprises et organisations et leurs différents enjeux. On remarque que ces technologies sont intimement reliées ensemble. À cet égard, on s'aperçoit qu'elles touchent au développement social, économique, environnemental et technologique de la société. Certains chercheurs (Allam et Dhunny, 2019; Lom, Pribyl et Svitek, 2016) établissent le lien entre l'industrie 4.0 et ses technologies au concept de ville intelligente, qui seront étudiées dans la prochaine section.

2.3 Ville intelligente en contexte d'industrie 4.0

2.3.1 Définition de ville intelligente

Les innovations technologiques sont au cœur de l'industrie 4.0 tout comme les villes intelligentes. La technologie – au sens large – a changé la façon dont on est interconnecté, et les « systèmes urbains » qui influencent notre manière d'interagir et de vivre ensemble (Allam et Dhunny, 2019). Ainsi, la technologie contribue au développement des initiatives de ville intelligente (Chourabi *et al.*, 2012).

Selon Caragliu, Del Bo et Nijkamp (2013 : 50), « *a city to be smart when investments in human and social capital and traditional (transport) and modern (ICT) communication infrastructure fuel*

sustainable economic growth and a high quality of life, with a wise management of natural resources, through participatory governance ». Quant à Washburn *et al.* (2009 : 2) qui définit la ville intelligente par les « technologies de l'informatique intelligentes » (*Smart computing*), car elles permettent de s'attaquer et résoudre des problèmes sous la responsabilité de la ville, dont « l'administration municipale, l'éducation, les soins de santé, la sécurité publique, l'immobilier, les transports et services publics ».

À ce titre, le concept de ville intelligente est présent dans la société depuis une vingtaine d'années. On dénote de nombreuses définitions de la ville intelligente recensée dans la littérature (Dameri, 2017 : 26), alors il est difficile de s'entendre sur une définition commune. Toutefois, plusieurs chercheurs (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Caragliu, Del Bo et Nijkamp, 2013; Dameri, 2017; Lom, Pribyl et Svitek, 2016; Nam et Pardo, 2011; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Tomitsch, 2018; Washburn *et al.*, 2009) s'entendent pour dire que l'objectif global de la ville intelligente est d'améliorer la qualité de vie des citoyens, et de créer un modèle d'environnement durable des villes pour les générations actuelles et futures à l'aide de technologies. Elle souhaite répondre aux enjeux d'urbanisation, en raison des villes qui possèdent un rôle pivot aux défis environnementaux, sociétaux et économiques (Dameri, 2017 : 21).

À cet effet, les villes ont plusieurs enjeux auxquels la ville intelligente essaye d'y remédier. Peris-Ortiz, Bennett et Yábar (2017 : 16) mettent en évidence que 75 % des ressources et de l'énergie consommés par les villes contribuent à 80 % de l'effet de serre, et que le niveau de pollution augmente dans les grandes villes, ce qui nuit à la qualité de vie des citoyens. Ils stipulent que les villes souhaitent devenir plus intelligentes pour mieux répondre aux besoins des citoyens, des systèmes et de leur gestion, par l'amélioration des infrastructures en proposant d'investir sur le capital social et humain et la participation des citoyens aux décisions publiques. Le tableau 2.3.1.1 comprend l'ensemble des caractéristiques et facteurs qui classent les initiatives de villes intelligentes en Europe, selon Giffinger *et al.* (2007).

Tableau 2.3.1.1 Caractéristiques et facteurs d'une ville intelligente

Caractéristiques	Facteurs
<i>Smart economy</i> (compétitivité)	• Esprit d'innovation • Entrepreneuriat • Image économique & marques • Productivité • Flexibilité du marché du travail

	• Intégration internationale • <i>Capacité à se transformer</i>
<i>Smart people</i> (capital social et humain)	• Niveau de qualification • Affinité avec l'apprentissage tout au long de la vie • Pluralité sociale et ethnique • Flexibilité • Créativité • Cosmopolitisme/Ouverture d'esprit • Participation à la vie publique
<i>Smart governance</i> (Participation)	• Participation à la prise de décision • Services publics et sociaux • Gouvernance transparente • <i>Stratégies et perspectives politiques</i>
<i>Smart mobility</i> (Transport et ICT)	• Accessibilité locale • Accessibilité (interne-)nationale • Disponibilité de l'infrastructure TIC • Des systèmes de transport durables, innovants et sûrs
<i>Smart environment</i> (ressources naturelles)	• Attractivité des conditions naturelles • La pollution • Protection environnementale • Gestion durable des ressources
<i>Smart living</i> (qualité de vie)	• Équipements culturels • Conditions de santé • Sécurité individuelle • Qualité du logement • Installations éducatives • Attractivité touristique • La cohésion sociale

Source : Giffinger, Rudolph, Christian Fertner, Hans Kramar, Robert Kalasek, Natasa Pichler-Milanović et Evert Meijers (2007). « Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. Vienna, Austria: Centre of regional science (srf), Vienna University of Technology », p. 12.

En outre, la ville intelligente est un concept novateur, en contexte d'industrie 4.0, qui se distingue du rôle classique des villes. Anttiroiko, Valkama et Bailey (2014 : 326) suggèrent que la ville intelligente se différencie d'un produit, un service ou un processus d'innovation parce que son approche « d'innovation paradigmatique » permet de changer les croyances et d'assurer une compréhension des différentes idées qui pourraient être appliquées dans les « politiques urbaines ».

2.3.2 Ville intelligente et TIC

Tout d'abord, les inventions technologiques de la troisième révolution industrielle sont au cœur de la ville intelligente. À cet effet, les TIC figurent comme partie intégrante de celle-ci (Allam et Dhunny, 2019; Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Caragliu, Del Bo et Nijkamp, 2013; Dameri, 2017; Gupta, Chauhan et Jaiswal, 2019; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017). « *The fundamental idea behind this scheme is that smart information and communication systems are needed to build smart creative social systems, which again are conducive to sustainable urban life* » (Anttiroiko,

Valkama et Bailey, 2014 : 327). Anttiroiko, Valkama et Bailey (2014) démontrent que les TIC ont été appliquées dans des systèmes de paiements intelligents de transport tels que les cartes prépayées Oyster de Londres (: 328). De plus, les TIC concèdent aux dirigeants des villes de prendre de meilleures décisions (Allam et Dhunny, 2019), étant donné qu'elles offrent la possibilité de donner de meilleurs services et d'avoir des interactions plus engagées avec les citoyens, les organisations et au sein de leur entité : les informations recueillies appuieront la réduction du fossé qui existe entre ce que veulent les citoyens et ce qui est offert (Pereira *et al.*, 2017).

Ensuite, l'information en temps réel devient de plus en plus importante dans les villes, notamment dans les villes intelligentes. La capacité de la ville intelligente à récolter des données en temps réel permet de contrer différents enjeux de la ville et la possibilité aux décideurs publics, entreprises et citoyens de prendre de meilleures décisions (Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Tomitsch, 2018). Tomitsch (2018 : 27) signale que c'est le cas de villes qui ont choisi d'offrir des données ouvertes et du Wi-Fi gratuit aux citoyens dans le but de servir à ces différentes fonctions. Cela a permis de rendre accessibles les données de transport en temps réel, l'horaire en continu de la collecte de vidange, des applications mobiles pour trouver une place de stationnement et aux décideurs publics de rendre d'autres services de la ville plus accessibles à tous. « En implantant les technologies de l'information et de la communication dans les services municipaux, les villes deviennent plus intelligentes dans leur gestion des ressources » (Bakıcı, Almirall et Wareham, 2013 : 137, traduction libre).

Par la suite, les TIC ne sont pas les seules composantes qui garantissent le succès d'une ville intelligente. Quand bien même de devenir une ville plus intelligente, Peris-Ortiz, Bennett et Yábar (2017) stipulent qu'il faut investir autant dans les solutions technologiques, telles que les TIC, que l'éducation et la formation générale, les enjeux sociaux, les infrastructures, l'énergie, le transport, etc. Certains chercheurs (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Chourabi *et al.*, 2012; Dameri, 2017; Pereira *et al.*, 2017; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017) stipulent que les villes doivent aller au-delà de la promotion et l'implantation des TIC : elles doivent impliquer différentes parties prenantes et la fonction publique afin d'améliorer la gouvernance des services offerts à la population. Townsend (2013 : 285) suggère de « bâtir des villes intelligentes qui sont centrées sur l'humain, inclusives et résilientes » (traduction libre), qui touchent aux principes de design, de

planification et de gouvernance de celles-ci. Par ailleurs, Nam et Pardo (2011) soutiennent que les facteurs humains, technologiques et institutionnels figurent au cœur du concept de ville intelligente. Parmi les parties prenantes, la figure 2.3.2.1 révèle le modèle de triple hélice de la ville intelligente analysé par Dameri (2017 : 28). Il suggère que les universités, l'industrie et le gouvernement doivent être en harmonie sur leur vision de la ville intelligente sur le plan social, environnemental et culturel.

D'autre part, l'opinion de la société au développement de la ville intelligente est cruciale pour son développement. Anttiroiko, Valkama et Bailey (2014); Dameri (2017); Peris-Ortiz, Bennett et Yábar (2017) stipulent que le processus d'idée, d'innovation et de prise de décision devrait être approcher de bas en haut (*bottom-up*) – débuté par les citoyens jusqu'aux décideurs publics – pour assurer une meilleure représentativité des enjeux, mieux comprendre les défis et leur complexité et de répondre aux différents besoins urbains et des citoyens. D'ailleurs, Anttiroiko, Valkama et Bailey (2014 : 327) soutiennent que les décideurs publics doivent faire participer les citoyens et les « leaders des communautés » aux décisions pour comprendre leur point de vue, promouvoir les « innovations créatives sociales », et instaurer un sentiment de confiance et de transparence. Dans la prochaine partie, nous traiterons des technologies de l'industrie 4.0 dans le contexte de ville intelligente.

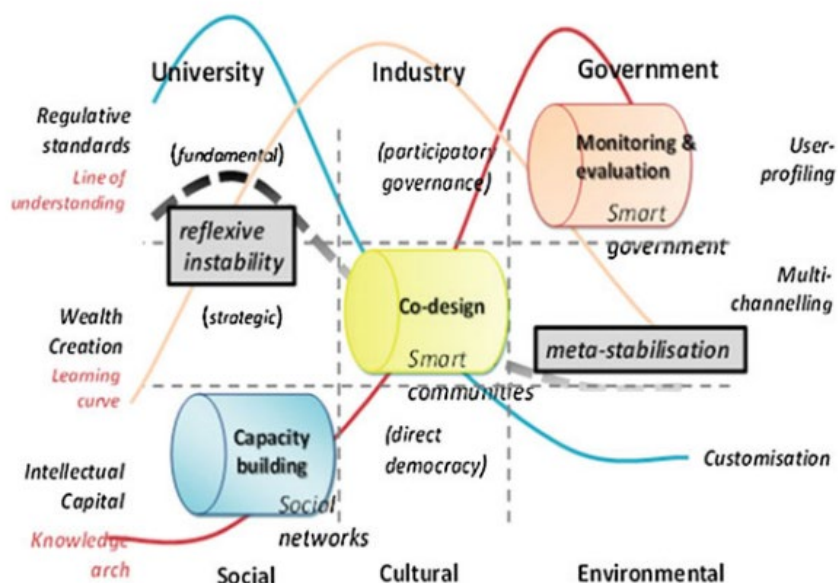


Figure 2.3.2.1 - Triple hélice de la ville intelligente

Source : Leydesdorff and Deakin (2011) dans Dameri, Renata Paola (2017). « The conceptual idea of smart city: University, industry, and government vision », dans *Smart city implementation*, Springer, p. 15.

2.3.3 Big Data, IdO et l'IA dans la ville intelligente en contexte industrie 4.0

Les villes intelligentes doivent s'adapter aux innovations technologiques pour mieux répondre aux besoins de leurs parties prenantes. Lom, Pribyl et Svitek (2016) formulent que l'industrie 4.0 a comme idéal d'offrir des services intelligents, dans un temps réel, pour réduire les ressources à exploiter et maximiser l'utilisation des infrastructures déjà existantes, notamment dans le contexte de ville intelligente. À part les TIC, les études proposent d'autres technologies qui incorporent celles-ci comme que l'IdO, Big Data (Allam et Dhunny, 2019; Gupta, Chauhan et Jaiswal, 2019) et l'IA (Allam et Dhunny, 2019; Tomitsch, 2018). Allam et Dhunny (2019) stipulent que leur capacité à extraire des données à partir d'appareils intelligents et d'analyser les données dans le contexte de ville intelligente peuvent aider à différentes ressources pour améliorer le « tissu urbain », et de mieux comprendre les dynamiques dans les quartiers. En outre, ils mentionnent qu'il a été démontré que les décisions, en contexte urbain, par l'analyse de données en temps réel et des technologies modernes étaient plus efficaces, orientées vers le citoyen et durables.

2.3.4 Projets

Tout d'abord, avec l'intérêt de la société et de la recherche effectuée au sujet des villes intelligentes, de nombreux projets internationaux ont été créés. En 2013, le gouvernement du Royaume-Uni a investi 95 millions £ dans la recherche des villes intelligentes (Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017 : 8). En Espagne et dans d'autres pays, le projet *Smart Santander* a permis aux citoyens de plusieurs villes d'obtenir en temps réel des informations reliées au trafic, au niveau de la pollution, etc. (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014 : 329), et en 2014, il eut 60 initiatives reliées aux villes intelligentes (Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017 : 24, cité dans RECI, 2015). D'ailleurs, il peut être complexe et coûteux d'intégrer des initiatives de ville intelligente ; pendant près de 10 ans, plus de 100 millions USD a été investi dans la ville intelligente de Songdo, en Corée du Sud (Tomitsch, 2018 : 152).

De plus, certaines initiatives de villes intelligentes ont intégré les technologies de l'industrie 4.0 à leurs projets. La ville de Rio de Janeiro a utilisé Big Data et les données ouvertes pour suivre, en temps continu, la vie quotidienne de ces citoyens aux fins de leur offrir des services adaptés à leurs

besoins, ce qui lui a valu le prix *du World Smart City*, en 2013 (Pereira *et al.*, 2017 : 219). Par la suite, IBM a créé des projets innovants de ville intelligente en juxtaposant les TIC et Big Data, dans l'intention d'encourager « un meilleur engagement avec les citoyens » (Dameri, 2017 : 34). Également, des pays comme l'Inde, la Chine et Singapour démontrent l'efficacité d'avoir un système IdO dans la ville intelligente (Gupta, Chauhan et Jaiswal, 2019 : 665). Par ailleurs, Marr (2019 : 16) illustre que l'entreprise Alibaba a développé un outil IA basé sur l'informatique en nuage – Alibaba City Brain – qui a les fonctions de suivre, gérer et réduire le trafic, régenter l'éclairage et la collecte de déchets dans la ville chinoise de Hangzhou. Il illustre que le système a permis de réduire de 15 % le trafic.

2.3.5 Enjeux

Toutefois, bien que les initiatives de ville intelligente offrent de meilleurs services et de biens à ses parties prenantes, elles comportent des enjeux qui concernent les décideurs publics et la société. À cet effet, les études soulignent ceux de la récolte des données qui entraîne des défis d'espace de stockage, de partage et de communication, de propriété (à qui ça appartient?), des questions sur la motivation des gouvernements de les posséder (Allam et Dhunny, 2019) et la sécurité et l'intimité des données (Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017). La société s'inquiète de la surveillance et du contrôle social par les données que les gouvernements posséderont (Pereira *et al.*, 2017; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Townsend, 2013), des désavantages que les décisions prises par les données puissent affecter certains groupes (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Pereira *et al.*, 2017) tels que les autochtones, et les « bugs » catastrophiques que les technologies peuvent occasionner (Townsend, 2013 : 299). Anttiroiko, Valkama et Bailey (2014); Townsend (2013) révèlent que certaines TIC peuvent être inefficaces, et que certains décideurs publics ne sont pas habiles de manipuler celles-ci.

D'ailleurs, peu importe les révolutions industrielles, il existera toujours des défis sociétaux à résoudre. Townsend (2013 : 93) soutient que depuis la première révolution industrielle, les nouvelles technologies étaient utilisées pour transformer les villes, mais il constate peu de succès, en raison de nouveaux problèmes sociétaux qui se créent à travers le temps. Il se questionne sur la capacité de la société à apprendre des erreurs du passé, et d'utiliser de manière convenable les nouvelles technologies à son avantage. Dans la prochaine section, nous définirons le concept de grappe industrielle.

2.4. Grappe industrielle et ville intelligente en contexte d'industrie 4.0

Certaines villes intelligentes évoluent dans un environnement technologique qui mise sur l'innovation et l'utilisation des technologies de l'industrie 4.0. Townsend (2013) indique que chaque ville devra s'adapter aux composantes de la ville intelligente en faisant preuve de patience, en utilisant ses ressources financières et l'innovation locale. En matière d'innovation, il est intéressant de se pencher sur le concept de grappe industrielle.

Tout d'abord, on retrouve les grappes dans toutes sortes d'industries. Selon le Thésaurus du Gouvernement du Québec, une grappe industrielle est « [un] regroupement d'entreprises privées, d'organismes gouvernementaux, d'instituts de recherche et d'universités qui collaborent au développement d'un secteur spécifique de l'industrie, comme les secteurs des télécommunications, des sciences de la vie ou de la nanotechnologie » (Gouvernement du Québec, 2022). Par ailleurs, Porter (2000) met en évidence que par la grappe, dans un contexte local, il est possible de constater des échanges, un partage de connaissances et le développement de relations qui épauleront le développement de celle-ci. Elle favorise l'innovation par le transfert de connaissances, la contribution des institutions de recherche, des entreprises et des talents humains. Cela se fait, notamment, à partir du soutien des politiques mises en place pour l'encadrer et la développer. Si bien que des pays, régions et villes détiennent la capacité d'acquérir des connaissances à un endroit précis, d'accroître maints secteurs industriels et technologiques et d'attirer des talents internationaux et des investissements étrangers. Selon lui, tous ces facteurs contribuent à la compétitivité de l'industrie dans laquelle la grappe s'insère.

D'ailleurs, une grappe industrielle vise à soutenir les innovations des entreprises. Ibrahim et Fallah (2005) indiquent que la caractéristique d'une « grappe industrielle technologique » soit qu'elle est formée d'une « concentration » d'entreprises technologiques qui collabore, notamment avec des centres de recherche scientifique, des universités et des laboratoires de recherche nationaux. Par la suite, Zhou et Tong (2003) démontrent dans leur étude de cas de la grappe en TIC de Beijing que les entreprises multinationales et les firmes locales doivent collaborer pour « développer leurs réseaux de marché et leur capacité d'innovation sur le marché intérieur » (: 129, traduction libre). D'autant plus, ils formulent que le transfert technologique se fera dans une logique de marché et une division de travail entre-elles, dans une grappe régionale. Par ailleurs, Turkina et Van Assche (2018) soutiennent que les « grappes à intensité de connaissance » (*knowledge-intensive clusters*),

telle que la grappe TIC de Montréal, profitent de l'innovation locale par la « centralité horizontale » avec les entreprises et les connaissances des autres zones (*hotspots*).

Dans le cadre de l'industrie 4.0, une grappe industrielle sert d'outil à la conception des technologies innovantes, et elle est en mesure de contribuer à la numérisation des entreprises et organisations. Park (2018 : 434) stipule que les « grappes industrielles innovatrices » régionales – qui intègrent, en autres, les TIC, les systèmes cyber-physiques, l'IdO, Big Data et l'IA – doivent exercer leur rôle pour agencer l'innovation technologique et la commercialisation. Elles devront aussi s'adapter et façonner les « industries intelligentes » dans l'intention de répondre, notamment, à la personnalisation de masse et aux changements de méthode de production, aux acteurs dans les chaînes de valeurs et des modèles d'affaires en transformation. « *At the same time, innovative cluster policies must respond to these new industrial challenges through facilitating crosssectoral value chains, strengthening internationalization, boosting interregional investments, and accelerating entrepreneurship and further skill upgrading* (: 434). » Dans le prochain chapitre, nous présenterons notre cadre conceptuel.

CHAPITRE III

CADRE CONCEPTUEL

3.1 Cadre conceptuel

Un cadre conceptuel présente la théorie recherche. « Un cadre conceptuel décrit, sous une forme graphique ou narrative, les principales dimensions à étudier, facteurs clés ou variables clés, et les relations présumées entre elles » (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 41). Ainsi, dans notre revue littéraire, les concepts communs de compétitivité des entreprises et organisations et de la gouvernance des technologies de la ville intelligente et d'une grappe industrielle en contexte d'industrie 4.0 ont retenu notre attention et méritent d'être développés avec la recherche existante pour soutenir notre cadre conceptuel. Également, notre cadre conceptuel nous permettra de répondre à nos questions de recherche dans notre chapitre VI.

Compétitivité

Dans le chapitre II, nous faisons le lien entre le thème de la compétitivité d'une ville intelligente et le soutien de grappes industrielles. Nous avons démontré qu'en contexte d'industrie 4.0, les entreprises et organisations s'adaptent continuellement aux besoins et demandes des utilisateurs pour rester compétitives (Yin, Stecke et Li, 2018). La concurrence et leur désir de se démarquer auprès de leurs compétiteurs, pour conserver un avantage concurrentiel, mènent à ce qu'elles déploient des efforts de numérisation de leurs opérations, processus et tâches en utilisant les technologies de cette ère-ci, dont l'IA.

Productivité

En matière de compétitivité et de productivité, la ville intelligente et les grappes industrielles soutiennent la productivité des entreprises et des organisations. Tout d'abord, Bakıcı, Almirall et Wareham (2013) démontrent que la ville intelligente de Barcelone – qui intègre à celle-ci la notion de collaboration du concept de « *Smart economy* » –, a réussi à bâtir des projets qui augmentent la productivité de la ville aux fins d'améliorer la qualité de vie des citoyens. La ville a misé sur la collaboration entre les sociétés, les institutions académiques, les autorités gouvernementales et les résidents.

Au niveau d'une grappe industrielle, comme mentionné précédemment, Park (2018) stipule que « les grappes industrielles innovatrices » régionales doivent impliquer les entreprises, le milieu académique et les gouvernements pour assurer une croissance économique. Dans le cas d'une grappe locale, Porter (2000) évoque qu'elle a le pouvoir d'impliquer un éventail d'acteurs à collaborer et compétitionner entre eux en vue de créer des relations, de participer sur différents projets et d'échanger sur différentes idées pour bâtir celle-ci et accroître la productivité des organisations qui la constitue et celles qu'elle désert. D'ailleurs, il met en évidence que la productivité des entreprises a des effets positifs sur la qualité de vie des citoyens, en raison d'une nation qui calcule sa qualité de vie, notamment, par « la valeur des biens et services (produits) par unité de ressources humaines, en capital et physiques de la nation » (: 19, traduction libre).

Innovation

Par la suite, les technologies innovatrices contribuent à la ville intelligente et à la grappe. L'innovation est un élément clé de la ville intelligente (Anttiroiko, Valkama et Bailey, 2014; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Townsend, 2013) qui assure sa compétitivité (Giffinger *et al.*, 2007). Il est pertinent de rappeler que l'innovation, telle que proposée dans le chapitre II, encourage un transfert de connaissances, notamment dans les villes. Pour assurer ce transfert de connaissance, nous avons démontré qu'à l'échelle de la première révolution industrielle, il était nécessaire que l'innovation soit comprise par les travailleurs pour favoriser son implémentation dans les organisations et entreprises (Verley, 1997). Dans le cas des grappes industrielles, Asheim et Isaksen (2002) développent que des entreprises de trois grappes régionales en Norvège ont utilisé des « systèmes d'innovation multiniveaux » et le « transfert technologique » pour hausser la compétitivité et l'innovation des entreprises. Ils ont usé de connaissances locales et mondiales par le partage de connaissances scientifiques formelles et tacites lors de moments formels et informels.

En outre, la diffusion de l'innovation se fait de différentes façons dans les industries. L'innovation au courant de la première révolution industrielle est passée par l'avènement des travailleurs étrangers expérimentés (Verley, 1997). Dans le concept de « *Smart people* », Giffinger *et al.* (2007) mentionne qu'il est nécessaire que la ville intelligente fasse preuve de cosmopolite et d'ouverture d'esprit, en ayant une attitude positive envers les étrangers. Cet aspect est pertinent sur le plan d'une grappe industrielle par le fait que Savoie Dansereau (2018) mentionne qu'il est

nécessaire que la grappe en IA de Montréal continue d'attirer des travailleurs régionaux et étrangers dans l'intention de soutenir le développement de celle-ci et d'épauler le transfert des connaissances à la main-d'œuvre locale peu qualifiée. Donc, en adoptant une attitude positive envers les étrangers, cela contribuera à la ville intelligente d'éviter de perdre des travailleurs étrangers expérimentés qui peuvent façonner et instruire sa main-d'œuvre.

Par la suite, la diffusion de l'innovation passe également par la disponibilité des ressources aux entreprises et organisations, comme le présente Verley (1997). Au chapitre II, nous avons démontré qu'il existe un besoin en ressources financières et matérielles pour les entreprises, surtout les PME, afin d'implémenter à celles-ci les technologies de l'industrie 4.0, dont l'IA. À cet effet, Kumar et Dahiya (2017) stipulent que le concept de « *Smart economy* » de la ville intelligente propose d'offrir des ressources financières aux organisations pour qu'elles restent compétitives – notamment à l'étranger –, de soutenir l'entrepreneuriat, et d'attirer des investissements, car ils contribuent au développement de celle-ci en offrant différents types de ressources aux organisations. À l'échelle d'une grappe industrielle, Porter (2000) soutient que les instances gouvernementales peuvent soutenir la recherche et le développement de l'innovation dans les industries par des investissements publics, le retrait d'obstacles, la « diminution des contraintes » et de « balayer les inefficiences » que les entreprises et investisseurs étrangers rencontrent autant à l'entrée comme à l'intérieur de la grappe. À cet effet, dans le cas de Montréal, Savoie Dansereau (2018) a démontré que la grappe industrielle en IA de Montréal bénéficiait d'« initiatives gouvernementales descendantes », telles que des crédits d'impôt, et des investissements publics et étrangers, qui ont permis de soutenir le développement des entreprises, dont les startups, et d'attirer de grandes entreprises étrangères.

Finalement, pour favoriser la diffusion de l'innovation, il faut qu'elle soit acceptée par la société. Greenwood (1997) stipule que lors de la troisième révolution industrielle, l'acceptabilité sociale des technologies, telles que l'Internet et de l'ordinateur personnel, exigeait l'acquisition de compétences et de connaissances des membres de la société. Comme mentionné dans le chapitre II, la main-d'œuvre a été appelé à acquérir une base de compétences en informatique, mathématique et dans l'architecture de l'ingénierie (World Economic Forum, 2016). À cet effet, Giffinger *et al.* (2007) mentionnent que dans le concept de « *Smart people* », il est nécessaire que la ville intelligente accorde une importance à la qualité des « *knowledge centres* ». C'est-à-dire

d'investir auprès des meilleurs centres de recherche et universités, et que les citoyens acquièrent un niveau d'éducation et de qualification d'adéquat correspondant aux demandes du marché du travail pour maintenir une main-d'œuvre de personne qualifiée. Dans le cas d'une grappe, Porter (2000) mentionne que des « facteurs spécialisés » reliés à l'innovation tels que les « instituts universitaires de recherche spécialisés » ont la capacité d'accroître les niveaux de productivité des entreprises et organisations.

Gouvernance des technologies

Un des concepts que nous souhaitons soulever est la gouvernance des technologies. Nous avons démontré dans le chapitre II que les technologies de l'industrie 4.0 suggèrent des défis reliés à leur développement éthique et à la protection et à la sécurité des données. En outre, leur capacité de transformer les organisations et entreprises affecte la force de travail et l'employabilité dans de nombreuses industries. D'autre part, dans la ville intelligente, il est formulé que les technologies peuvent parfois participer à la surveillance et au contrôle de la société (Pereira *et al.*, 2017; Peris-Ortiz, Bennett et Yábar, 2017; Townsend, 2013). Donc, la communauté scientifique est d'avis qu'il est impératif d'utiliser ces types de technologies de façon responsable et éthique pour répondre à divers défis organisationnels et sociétaux en assurant une gouvernance adéquate.

Gouvernance transparente

La gouvernance est l'un des concepts phare de la ville intelligente et de la grappe industrielle. Johnston et Hansen (2015) signalent que les gouvernements ont un rôle à jouer dans l'adoption des technologies dans les entreprises et organisations, car ils peuvent aider à bâtir la confiance des personnes envers leur adoption et leur utilisation. Ils développent que le concept de « *Smart governance* » de la ville intelligente encourage les gouvernements à mettre en place des structures pour assurer une transparence des décisions prises par les décideurs publics qui peuvent affecter l'acceptation et l'utilisation des technologies révélées aux citoyens. À cet effet, il suggère de configurer des infrastructures et des TI qui favorisent ceci. Dans le cas d'une grappe industrielle, elle a la possibilité d'impliquer les instances gouvernementales sur différents aspects sur le plan de la régulation et d'instauration de politiques (Porter, 2000).

Participation à la prise de décision

En outre, la ville intelligente accorde une importance aux citoyens. Dans le concept de « *Smart governance* » de la ville intelligente, il est suggéré d’impliquer les parties prenantes de la société, dont les décideurs publics et les citoyens, dans les prises de décision (Giffinger *et al.*, 2007) qui peuvent s’appliquer aux technologies. Dans le cas d’une grappe, Lindqvist, Ketels et Sölvell (2013) mentionnent que les initiatives d’une grappe doivent apporter une réelle contribution et un changement visible dans la vie des citoyens. Donc, il est suggéré de concerter les citoyens, car ils peuvent être affectés par les initiatives de celle-ci.

La figure 3.1.1 présente le cadre conceptuel de cette recherche qui représente notre théorie de recherche dans le but de répondre à la question générale et aux sous-questions de recherche. Cette étude nous donnera l’occasion de tester notre théorie, mais également de la bonifier ou de la corriger en fonction des résultats obtenus. D’ailleurs, il est pertinent de tenter de répondre aux questions de la recherche, étant donné qu’elles apporteront une meilleure compréhension de la problématique. Sachant que l’IA n’a pas un haut degré d’acceptabilité sociale nonobstant l’attention qu’elle soutire auprès de certaines études et ses aspects positifs, cette recherche a le potentiel de mieux comprendre le contexte de l’industrie 4.0 et la transformation numérique dans la ville intelligente, de cibler les bénéfices de l’IA pour une meilleure acceptation de celle-ci dans la société et de maximiser la collaboration des différentes parties prenantes dans la ville intelligente. Dans le prochain chapitre, nous afficherons la démarche de recherche.

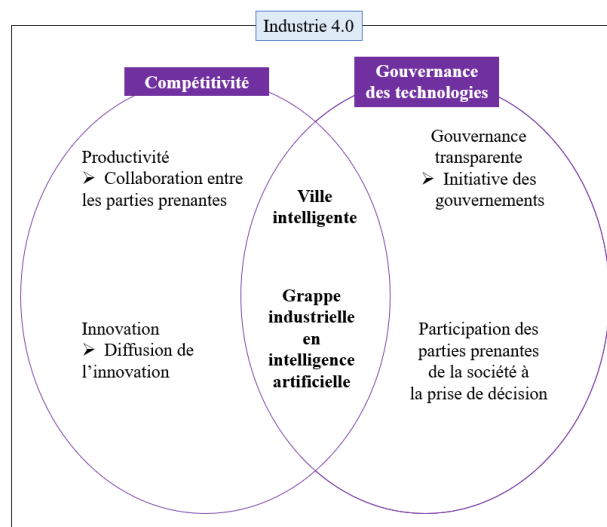


Figure 3.1.1 – Cadre conceptuel initial de grappe industrielle en IA et la ville intelligente en contexte d’industrie 4.0.

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE

4.1 Stratégie de recherche

Dans ce chapitre, nous présenterons notre stratégie de recherche qui s'inspire d'une approche déductive-inductive (Miles, Huberman et Bonniol, 2003) aux fins de tester notre théorie montrée au chapitre précédent en lien avec l'industrie 4.0, la grappe industrielle en IA et la ville intelligente de Montréal. Aussi, sachant que notre question générale de recherche et nos sous-questions débutent par « comment », en référence à Yin (1989 : 1), nous avons opté pour une approche explicative pour tenter d'y répondre. D'ailleurs, l'approche descriptive (Yin, 1989) nous a permis de mettre en contexte la grappe IA et la ville intelligente de Montréal dans le chapitre V.

4.1.1 Canevas de recherche

Selon Miles, Huberman et Bonniol (2003 : 11), dans un contexte local, la recherche qualitative favorise des explications riches qui concèdent de tester notre théorie et nos propositions. À cet effet, la méthode de recherche qualitative choisie a été l'étude de cas unique, dans l'objectif de récolter des données qualitatives pour répondre aux besoins mentionnés, et de découvrir de nouveaux éléments qui peuvent s'intégrer à notre théorie et enrichir notre cadre conceptuel initial.

4.1.2 Étude de cas simple (unique)

L'étude de cas a été préférée pour cette recherche. Suivant Yin (1989 : 13), elle est une recherche empirique qui permet de recueillir des éléments holistiques dans différents contextes. Par la récolte de données qualitatives, il précise que nous sommes en mesure de récolter des données « *contextual conditions-believing* » dans le but de spécifier et d'identifier le phénomène de la présente étude. Nos questions de recherche débutant par « comment » nous permettent de récolter celles-ci, de nous offrir des éléments sur des événements réels « hors de notre contrôle » et de repérer des « phénomènes contemporains ». D'ailleurs, par leur capacité de repérer certains thèmes en fonction d'un contexte précis, elles ont été recueillies dans le contexte de l'étude de cas pour lier des actions qui peuvent être difficiles à voir, comme dans un sondage (Stake, 1998; Yin, 1989). Par conséquent, nous avons porté un regard élargi sur l'aspect historique, politique et économique

du phénomène d'actualité unique et peu commune (Stake, 1998 : 449) de la grappe industrielle en IA et de la ville intelligente en contexte d'industrie 4.0.

Aussi, étant donné que les études se sont peu intéressées à ces concepts combinés, nous avons décidé d'analyser un cas simple (holistique) (Yin, 1989) avec l'étude de cas comme unité d'analyse (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 55). Cela nous a permis de récolter des éléments pertinents en fonction de notre problématique et de nos questions de recherche (Miles, Huberman et Bonniol, 2003). D'ailleurs, selon Stake (1998), le but de l'étude de cas est de nous encourager à nous rapporter à un cas individuel spécifique au-delà des méthodes d'enquête utilisée, c'est-à-dire de mettre en relief la manière dont les différents éléments s'articulent ensemble et de bâtir une théorie.

4.2 Méthode de collecte de données

4.2.1 Établir la démarche de recherche

Dans cette section, nous définirons notre démarche de recherche utilisée qui relève des techniques de récolte de données exploitées. Selon Yin (1989 : 13), l'une des forces de l'étude de cas est qu'elle offre la possibilité de récolter certains types de données par différentes « évidences ». À cet effet, nous avons déterminé comme techniques qualitatives la documentation et les entretiens, qui nous permettent de recueillir des faits et données chiffrées en lien avec notre unité d'analyse. Ces différents outils de collecte de données ont servi à l'analyse, qui sera exposée dans le chapitre VII, et à la triangulation des données (Miles, Huberman et Bonniol, 2003; Stake, 1998; Yin, 1989). La triangulation des données assure une objectivité des faits analysés en utilisant différents types de données et de perceptions analysés de maintes sources, notamment lorsque les entretiens où les témoignages des participants peuvent être subjectifs (Stake, 1998 : 454).

4.2.2 Documentation

La documentation aide à la récolte d'informations ne que nous sommes pas en mesure de déceler par nous-mêmes (Stake, 1998 : 453), d'obtenir des faits écrits qui économisent nos ressources (Creswell, 2009 : 180) et de rechercher différents types de documents pour valider nos faits (Yin, 1989 : 148). Dans cette étude, cette méthode nous a permis de récolter des données publiques orientées par les thèmes clés de notre cadre conceptuel (Miles, Huberman et Bonniol, 2003). À cet effet, nos thèmes visaient à la recherche d'éléments et de statistiques offrant d'afficher et de décrire la ville intelligente et la grappe industrielle en IA de Montréal sur une quinzaine de pages.

Ces données ont été recueillies à travers des documents publics tels que des articles de journaux, des revues, des sites Internet d'entreprises et d'organisations et des rapports gouvernementaux du Canada, du Québec et de la ville de Montréal. Par ailleurs, au moyen de la documentation, nous avons été en mesure de trianguler des données récoltées lors des entretiens (Mongeau, 2008 : 100).

4.2.3 Entretiens individuels semi-directifs

Dans le cadre de cette recherche, nous avons choisi l'approche qualitative de la méthode d'entrevue pour récolter nos données. Creswell (2013 : 179) stipule que cette méthode est fortement recommandée, car elle permet de recueillir les avis des informants et de valider l'exactitude des résultats. « Nous interviewons les gens pour découvrir d'eux ce que nous ne pouvons pas observer directement » (Patton, 1990 : 278, traduction libre). À cet effet, nous avons recherché des exemples et des récits pour analyser nos données de recherche, contribuant à repérer les « récurrences », les « contradictions » et les propos « complémentaires » entre les participants (Mongeau, 2008 : 84).

Donc, au printemps 2022, nous avons effectué 11 entretiens individuels semi-directifs en face à face. À l'aide du guide d'entrevue semi-structuré, ces entretiens avaient dans l'intention d'avoir une conversation avec les participants, d'utiliser leurs propos et d'identifier les thèmes pertinents à la recherche (Creswell, 2013). D'ailleurs, le guide d'entrevue (voir annexe i), composé de questions fermées et ouvertes, nous a permis d'obtenir de vastes réponses, de laisser place aux récits et d'aiguillonner divers types de commentaires par les informants (Mongeau, 2008 : 98). Dans la prochaine partie, nous exposerons notre échantillon.

4.2.4 Échantillon

Toute recherche se doit d'avoir un échantillon. Miles, Huberman et Bonniol (2003 : 58) stipulent que dans les études qualitatives, il est attendu des chercheurs d'avoir des échantillons nichés de personnes pour favoriser une étude et analyse en profondeur. Ils énoncent que l'échantillonnage est en vue de choisir les personnes qui seront interviewées, les milieux, les événements et les processus sociaux. À plus forte raison, « le cadre conceptuel et les questions de recherche déterminent les centres d'intérêt et les frontières à l'intérieur desquelles sont choisis les échantillons (: 63). »

Par conséquent, pour cette étude, nous avons déterminé un échantillon orienté, c'est-à-dire que nous avons choisi les participants de nos entretiens et non de façon aléatoire (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 60). Notre liste a été construite par une recherche Internet d'acteurs de la ville intelligente et de la grappe industrielle en IA de Montréal. Par ailleurs, la stratégie d'échantillonnage de cas orienté a été utilisée pour composer notre échantillon en quatre sous-groupes (Miles, Huberman et Bonniol, 2003) ; les informants devaient être des professionnels de l'IA ayant des connaissances sur la ville intelligente et la grappe en IA de Montréal en contexte d'industrie 4.0.

À propos des sous-groupes, ils ont été constitués dans le but d'assurer une représentativité des acteurs de la grappe industrielle et de la ville intelligente de Montréal. Dans le cas des grandes entreprises internationales, nous avons sollicité l'avis de trois membres du personnel en gestion. Au niveau des startups et PME, nous avons interviewé deux professionnels de l'IA. À l'échelle académique, nous avons sollicité l'avis de quatre experts en IA travaillant en laboratoire de recherche. Et sur le plan des citoyens de la ville de Montréal, nous avons sollicité l'avis de deux professionnels de l'IA qui travaillent dans l'industrie des jeux vidéo et de l'aérospatiale à Montréal. Le tableau 4.2.4.1 présente la distribution de notre échantillon de recherche en fonction des sous-groupes, du nom des organisations participantes ou de l'industrie et du nombre de participants.

Tableau 4.2.4.1 Échantillon de la recherche

Sous-groupes	Nom de l'organisation ou l'industrie	Nombre de participants
Grandes entreprises internationales	Service Now	2
	<i>Anonyme</i>	1
Startups et PME	Moov AI	1
	<i>Anonyme</i>	1
Académique	IVADO (Institut de valorisation des données)	2
	Mila – Institut québécois d'intelligence artificielle	1
	CIRRELT	1
Citoyens	Jeux vidéo	1
	Aérospatiale	1
Total de participants : 11		

Ensuite, au sujet de la préparation et au déroulement des entretiens, nous avons sollicité les participants via leur courriel professionnel ou par leur messagerie privée de LinkedIn pour les inviter à participer à la recherche. Lorsqu'ils nous ont mentionné leur intérêt, nous avons demandé à certaines organisations si l'un des membres de leur personnel pouvait participer à la recherche. Les organisations nommées dans cette recherche ont officialisé la participation des membres de leur personnel, et nous ont offert le consentement de nommer le nom de l'organisation.

Par la suite, avant de débiter les entrevues, les informants ont mentionné verbalement ou ont signé un formulaire de déclaration de consentement qui stipulent que nous respectons les modalités de celui-ci, tout en ne portant pas atteinte à leur vie privée. Ce document nous a permis d'expliquer la recherche, ses contraintes et de respecter les participants pour éviter tous effets négatifs, tels que « l'embarras » et la « perte de statut », l'emploi et l'« estime de soi » (Stake, 1998 : 459). Il a été communiqué qu'à tout moment, le participant avait le droit de se désister de la recherche. D'ailleurs, ni le nom des informants ni leur libellé de titre n'ont été mentionné dans la recherche, mais il a été nécessaire de nommer le nom de certaines organisations auxquels ils travaillent pour connaître les acteurs de la ville intelligente et de la grappe industrielle en IA de Montréal ; les participants eurent des pseudonymes ce qui augmente la difficulté de leurs pairs de les reconnaître par leur propos et de respecter le plus que possible leur anonymat.

Par ailleurs, le moment des entretiens individuels de 60 minutes a été déterminé par les informants. En contexte de pandémie de la COVID-19, le lieu de préférence a été choisi par eux ; ils avaient l'option de faire leur entretien virtuellement ou en présentiel, dans un lieu public neutre et sécuritaire de leur choix à Montréal. De plus, avec le consentement des participants avant l'entrevue, les rencontres ont été enregistrées à l'aide d'un enregistrement vocal et des notes à l'ordinateur ont été prises. À cet effet, il est pertinent d'utiliser ses méthodes qui visent à retranscrire les propos dans le but d'extraire et d'analyser les données (Mongeau, 2008).

Enfin, en ce qui concerne les critères d'inclusion de la recherche, pour qu'un participant fût admissible, il devait être à l'emploi depuis plus de six mois dans une organisation qui est basée à Montréal ou ayant un bureau dans la ville. Quant aux critères d'exclusion, il ne pouvait pas participer à cette recherche si mineur. Toutefois, notre échantillon comprenait des lacunes à ne pas négliger. Pour une contrainte de temps et de ressources humaines, nous limitons notre échantillon à un nombre restreint. Aussi, le contexte de cette recherche est difficilement reproductible, car une

grappe industrielle en IA dans une ville intelligente est peu commune dans les villes et encore moins dans une ville d'un pays émergent ou en voie de développement, dû aux différences politiques, sociétales, technologiques et économiques. Dans la prochaine section, nous délimiterons les procédures d'analyse utilisées dans le cadre de cette recherche.

4.3 Procédures d'analyse

Chaque recherche qualitative est constituée de procédures d'analyse qui permet de guider le chercheur dans son interprétation et analyse des résultats. Yin (1989 : 21) stipule qu'il n'y a pas une façon commune de concevoir une étude de cas, mais qu'il est considérable de bien la concevoir pour répondre aux questions de recherche initiales. Il énumère cinq éléments nécessaires pour l'identification de la collecte de données et la description d'analyse : les questions de la recherche, les propositions, les unités d'analyses, la logique qui nous permet de lier les données recueillies aux propositions et les critères pour interpréter nos résultats. « L'utilisation de la théorie, dans le cadre d'études de cas, constitue non seulement une aide précieuse pour définir le plan de recherche et la collecte de données appropriées, mais devient également le principal moyen de généraliser les résultats de l'étude de cas » (: 32, traduction libre).

Par la suite, l'approche interprétative définie par Miles, Huberman et Bonniol (2003 : 22) a été utilisée pour analyser notre étude de cas et ses données qualitatives, puisque nous sommes des acteurs qui opèrent dans le même moment de « l'histoire spécifique du cas », et nous avons nos propres convictions, « orientations conceptuelles » et notre compréhension de l'objet d'étude. Aussi, selon eux, nous avons une forme d'attachement aux informants, en raison qu'il existe un processus de « co-élaboration » dans l'entrevue par nous et eux, qui peut teinter notre regard objectif du sujet. Donc, nous avons utilisé des instruments d'analyse pour garder une objectivité scientifique sur les données et informations recueillies (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 23). À cet effet, Creswell (2009 : 179) soutient que les méthodes d'analyses qualitatives choisies pour traiter les mots peuvent être recueillies dans les documents et entretiens.

4.3.1 Codification

Par la suite, la codification est l'un des moyens d'analyser les données de la recherche qualitative. Certains chercheurs (Creswell, 2013; Miles, Huberman et Bonniol, 2003; Patton, 1990) sont d'avis qu'il est préférable de commencer l'analyse durant la récolte de données pour aiguillonner la

réflexion, ajuster nos stratégies et recueillir des données de meilleure qualité. Par le fait même, nous avons utilisé la codification pour structurer, classer et organiser nos données dans le but de les analyser en profondeur. Ces données ont représenté divers atouts pour l'étude du cas : elles nous ont permis d'avoir un « ancrage de proximité » dans le contexte réel et local, de préciser et contextualiser celui-ci, d'avoir des « descriptions denses, pénétrantes et nichées » et de favoriser une explication des processus en place (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 27).

Tout d'abord, nous avons classifié nos extraits d'entrevues par la création de codes à caractère descriptifs et interprétatifs à l'aide du logiciel NVIVO.

Les codes sont des étiquettes qui désignent des unités de signification pour l'information descriptive ou inférentielle compilée au cours d'une étude. Les codes sont habituellement attachés à des « segments » de taille variable – mots, locutions, phrases ou paragraphes entiers, connectés ou déconnectés d'un contexte spécifique. (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 112)

Ensuite, ces codes permettent à l'identification et au recouvrement de données et à la création de codes thématiques à caractère explicatif et inférentiel axé sur les modèles, les thèmes et les liens causaux (Miles, Huberman et Bonniol, 2003).

Les codes thématiques sont des codes explicatifs ou inférentiels, qui identifient un thème, un modèle ou une explication émergents suggérés à l'analyse par le site. Leur fonction est de rassembler une quantité de matériels dans des unités d'analyse plus significative et économique. [...] Le codage à premier niveau est un moyen de résumer des segments de données. Le codage thématique est une façon de regrouper ces résumés en un nombre plus réduit de thèmes ou d'éléments conceptuels plus synthétiques » (Miles, Huberman et Bonniol, 2003 : 133).

Conséquemment, par nos codes thématiques, nous avons été en mesure d'analyser les données extraites des entretiens dans le but de noter les relations entre elles, de les différencier et de les interpréter.

4.3.2 Critères de qualité

Par ailleurs, les critères de qualité déterminent la façon dont le chercheur s'assure que sa recherche est scientifique. Selon Creswell (2009 : 190), toute recherche se doit de démontrer de quelle manière les résultats obtenus sont valables et généralisables et la fiabilité des procédures. Sur le plan de la rigueur scientifique, Yin (1989) soutient que les chercheurs doivent être en mesure de respecter quatre critères : la validité de la construction, la validité interne, la validité externe et la fiabilité. Le tableau 4.3.2.1 comprend chacun des critères de Yin (1989), et la façon dont nous nous sommes assurés de les respecter. Dans la prochaine section, nous exposons notre étude de cas.

Tableau 4.3.2.1 Critères de qualité d’une étude de cas

Nom du critère	Objectifs (Yin, 1989)	Approche dans l’étude
La validité de la construction	Dans une recherche, les concepts étudiés orientent le chercheur dans les unités de mesure opérationnelles choisies.	Nous avons recouru à la mise en usage de notre cadre conceptuel dans la conception de notre méthodologie et de la collecte et de l’analyse de données pour répondre aux questions de la recherche.
Validité interne	Dans une recherche explicative ou à causalité, certaines conditions permettent d’établir les relations de causalité. En outre, la validité interne cherchera à ne pas faire d’inférence avec les faits collectés et analysés.	La chercheuse principale connaît des biais personnels : ayant grandi dans la ville de Montréal et travaillant dans un institut de recherche en IA, elle a une opinion sur plusieurs concepts et thématiques étudiés. Par conséquent, elle s’est engagée à ne pas introduire sa perception de ces éléments et son expérience personnelle dans la récolte et l’analyse de données. Des outils d’analyse de données ont été préétablis, et la triangulation a été utilisée pour assurer que les données analysées soient objectives. De plus, en recherche d’objectivité, l’étude a été revue par les pairs.
Validité externe	Yin (1989) stipule que les résultats d’une recherche doivent être généralisable. Dans l’étude de cas, les chercheurs viseront « la généralisation analytique » qui vise à « généraliser un ensemble particulier de résultats à une théorie plus large » (: 44, traduction libre) à l’aide de la logique de répllication.	Par la conception de notre étude de cas et de notre cadre conceptuel, nous avons été en mesure de généraliser notre théorie offerte dans le chapitre précédent. Elle autorise d’autres chercheurs qui s’intéressent sur le sujet de grappe industrielle en IA dans une ville intelligente en contexte d’industrie 4.0 de répliquer cette étude pour valider notre théorie. Toutefois, plusieurs critères de cette recherche font en sorte que le contexte est peu reproductible dans toutes les villes à travers le monde.
Fiabilité	N’importe quel chercheur doit être en mesure de répéter les mêmes étapes et procédures entreprises dans la recherche et arriver aux mêmes résultats.	Les étapes parcourues dans cette recherche sont révélées dans le chapitre de la méthodologie de recherche et nous détaillons dans le chapitre suivant les procédures d’analyse utilisées. Nous avons fait preuve de minutie et de transparence pour favoriser la fiabilité de la recherche.

Source : Inspiré de Yin, Robert K. (1989). « Case study research and applications: Design and methods », *SAGE Publications*, vol. Volume 5, p. 166.

CHAPITRE V

PRÉSENTATION DU CAS

Dans le cadre de notre étude de cas, dans une première partie, nous allons présenter Montréal dans ses composantes territoriales, sociodémographiques et son environnement technologique. Ensuite, nous allons décrire les différentes visions de la ville intelligente de Montréal à travers les administrations municipales récentes et les initiatives développées. D'ailleurs, nous allons exposer le plan « Montréal Numérique 2030 » qui situe les ambitions des prochaines années de la ville en termes de stratégie de ville intelligente. Par la suite, nous proposerons la grappe industrielle en IA de Montréal. Nous exposerons son historique en nous appuyant sur les implications gouvernementales, dont la création de la grappe canadienne et québécoise en IA, qui contribuent au développement de la grappe en IA de Montréal. Cette grappe sera révélée par sa réputation mondiale, ses acteurs et ses retombées actuelles, notamment dans la société montréalaise.

5.1 Portrait de Montréal

Montréal se situe au Canada dans la province du Québec et est délimitée de trois façons. Le tableau 4.1.1 dénombre la superficie par km², le nombre d'habitants et le taux de chômage des trois régions de Montréal. Tout d'abord, il y a la Région Métropolitaine de Montréal (RMR) qui représente près de la moitié de la population du Québec étant donné qu'elle regroupe 82 municipalités et deux territoires autochtones sur une superficie de 4 360 km² (Ministère des Transports, 2022) accueillant 4 291 732 habitants en 2021 (Ville de Montréal, 2022a). Par la suite, l'agglomération de Montréal, qui est défini par les frontières de l'île de Montréal, est composée de 2 004 265 habitants. En janvier 2022, on comptait plus de 1 125 100 personnes à l'emploi, dont un taux de chômage de 6,2 %. En 2022, son PIB se situait à plus de 147 M\$ (Ville de Montréal, 2022a). En outre, la Ville de Montréal est composée de 19 arrondissements avec une population de 1 762 949 sur une superficie de 365,2 km² (Montréal en statistiques, 2022).

Tableau 5.1.1 Portrait territorial de Montréal

Régions/indicateurs	Superficie km ²	Habitants	Taux de chômage
Région Métropolitaine de Montréal (RMR)	4 360	4 291 732	N/A

Agglomération de Montréal	N/A	2 004 265	5,2%
Ville de Montréal	365,2	1 762 949	N/A

Sources : Ministère des Transports (2022). *Région métropolitaine de Montréal*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 16 février 2022 de <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/organisation/organisation-territoriale/cmm/Pages/region-metropolitaine.aspx#:~:text=La%20r%C3%A9gion%20m%C3%A9ropolitaine%20de%20Montr%C3%A9al%20regroupe%2082%20municipalit%C3%A9s%20r%C3%A9parties%20dans,de%20la%20population%20du%20Qu%C3%A9bec>, Montréal en statistiques (2022). *POPULATION TOTALE ET SUPERFICIE DES ARRONDISSEMENTS DE MONTRÉAL ET DES VILLES LIÉES, AGGLOMÉRATION DE MONTRÉAL, 2021*, Ville de Montréal. Récupéré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/CARTE_POPULATION%20ET%20SUPERFICIE%202021.PDF et Ville de Montréal (2022a). *Montréal en statistiques*, Montréal. Récupéré le 16 février 2022 de [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897.67633583&_dad=portal&_schema=PORTAL#:~:text=Les%20premiers%20r%C3%A9sultats%20du%20recensement,%25%20enregistr%C3%A9e%20\(...\)](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897.67633583&_dad=portal&_schema=PORTAL#:~:text=Les%20premiers%20r%C3%A9sultats%20du%20recensement,%25%20enregistr%C3%A9e%20(...)

Sur le plan socio-démographique, en 2021, la Ville de Montréal avait une population d'âge moyen de 41,0 ans : « plus de 1 343 000 personnes âgées de 15 à 64 ans, qui constituent la population en âge de travailler et qui comptent pour 67,0 % de l'ensemble des Montréalais recensés » (Ville de Montréal, 2022b). Également, bien que la langue française soit celle qui était parlée dans la plupart des ménages montréalais, environ 57 % de cette population pouvait tenir une conversation en anglais et en français. Il existait jusqu'à 13 langues communes parlées dans la ville, dont le français et l'anglais, les langues les plus conversées au travail (Ville de Montréal, 2017b). Ensuite, en 2016, plus d'un habitant montréalais sur 10 n'avait pas la citoyenneté canadienne et il était compté jusqu'à 570 940 d'immigrants. Il est estimé que six habitants sur dix sont issus directement ou indirectement de l'immigration. C'est-à-dire que 59 % des Montréalais sont soit nés à l'étranger, ou détienne un ou les deux parents nés à l'extérieur du Canada. Aussi, plus de 60% de la population de la Ville qui se situait entre 25 et 64 ans possédait une scolarité au niveau collégial ou universitaire (Ville de Montréal, 2018). D'ailleurs, Montréal se distingue comme la première ville étudiante dans les Amériques (Tourisme Montréal, 2021).

Ensuite, ville à caractère bilingue et multiculturelle, elle est reconnue à l'international pour de nombreux aspects. Surnommée « la capitale canadienne des organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales », elle regroupe environ une soixantaine d'entre elles comme l'Organisation de l'aviation civile internationale, l'Institut de statistique de l'UNESCO et le Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (Poljicak, 2021). Également, de grandes entreprises se sont installées à Montréal ; on trouve environ 2 230 filiales étrangères telles que Google, IBM, Pratt & Whitney et Ubisoft (Poljicak, 2021). En 2021, le *fDI Magazine* du *Financial Times* classait Montréal en deuxième rang mondial pour sa stratégie d'attraction en investissements étrangers, tout juste derrière la ville de New York (Poljicak, 2021).

Par ailleurs, l'agglomération de Montréal est composée de nombreuses grappes industrielles, dont l'aérospatiale, l'aluminium, le cinéma et la télévision, la mode, la logistique et le transport, les sciences de la vie, les services financiers, les TIC et les technologies propres (Je choisis Montréal, 2022). Sur l'île et tout près de l'aéroport Pierre-Elliott Trudeau se trouve le parc scientifique Technoparc Montréal, premier de ce genre au Canada (Technoparc Montréal, 2022). Par ailleurs, l'écosystème startups montréalais est évalué à 10.2 milliards. Selon un rapport de Startup Genome, il se classe dans le top 30 des plus performants, dans les 15 meilleurs avec le plus de financement pour les startups à l'échelle régionale et des talents les plus abordables. À cet effet, les sous-secteurs de sciences de la vie et de l'IA, de Big Data et de l'analytique font partie des forces de celui-ci (Startup Genome, 2022). À l'heure actuelle, l'agglomération de Montréal regroupe « plus de 30 incubateurs et accélérateurs et 45 espaces de travail collaboratifs » (Je choisis Montréal, 2022). Dans la prochaine partie, nous exposerons les différentes initiatives de ville intelligente de Montréal.

5.2 Ville intelligente de Montréal

À ce jour, selon le Smart City Governments, Montréal se classe comme la 7^e ville la plus intelligente à travers le monde en 2020-2021, tout juste après Shanghai, Singapour, Séoul, Londres, Barcelone, Helsinki et la ville de New York (Smart city governments, 2021). Certaines initiatives ont permis à Montréal d'être considéré comme ville intelligente.

5.2.1 Vision de la ville intelligente – 2014 à 2017

Initiatives

Dans un désir de situer Montréal comme leader en ville intelligente, l'ancien maire de Montréal, Denis Coderre, a créé en 2014 le Bureau de la Ville intelligente et numérique de Montréal (BVIM) (Ville de Montréal - Cabinet du maire et du comité exécutif, 2014). Le BVIM a établi quatre axes stratégiques (collecter, communiquer, coordonner et collaborer), avec un budget de 500k, aux fins de préciser la ville intelligente de Montréal et ses orientations (Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal, s.d. a). Ces axes ont permis à la Ville de montrer un modèle de ville intelligente qui se dit « par et pour le citoyen.ne », adapté à la réalité montréalaise.

À cet effet, pour constituer un projet de ville intelligente, le BVIM a consulté, en octobre et novembre 2014, les citoyens par des sondages, la ligne téléphonique 311, des causeries citoyennes, des activités de co-design, et elle a effectué un travail de documentation par l'analyse de différents types d'études et la prise en considération des projets technologiques de la Ville en cours. À travers ces initiatives, elle a pu recueillir un grand nombre d'idées provenant des citoyens (357) par le site Internet du BVIM et l'initiative jevoismtl.com. La figure 5.2.1.1 comprend l'ensemble des cinq domaines d'interventions s'étalant de 2014 à 2017 qui sont la mobilité urbaine, les services directs aux citoyens, le cadre de vie, la vie démocratique et le développement économique, et quatre éléments structurels tels que les télécommunications, les données ouvertes, l'architecture et la communauté sur neuf orientations stratégiques (Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal, s.d. b).

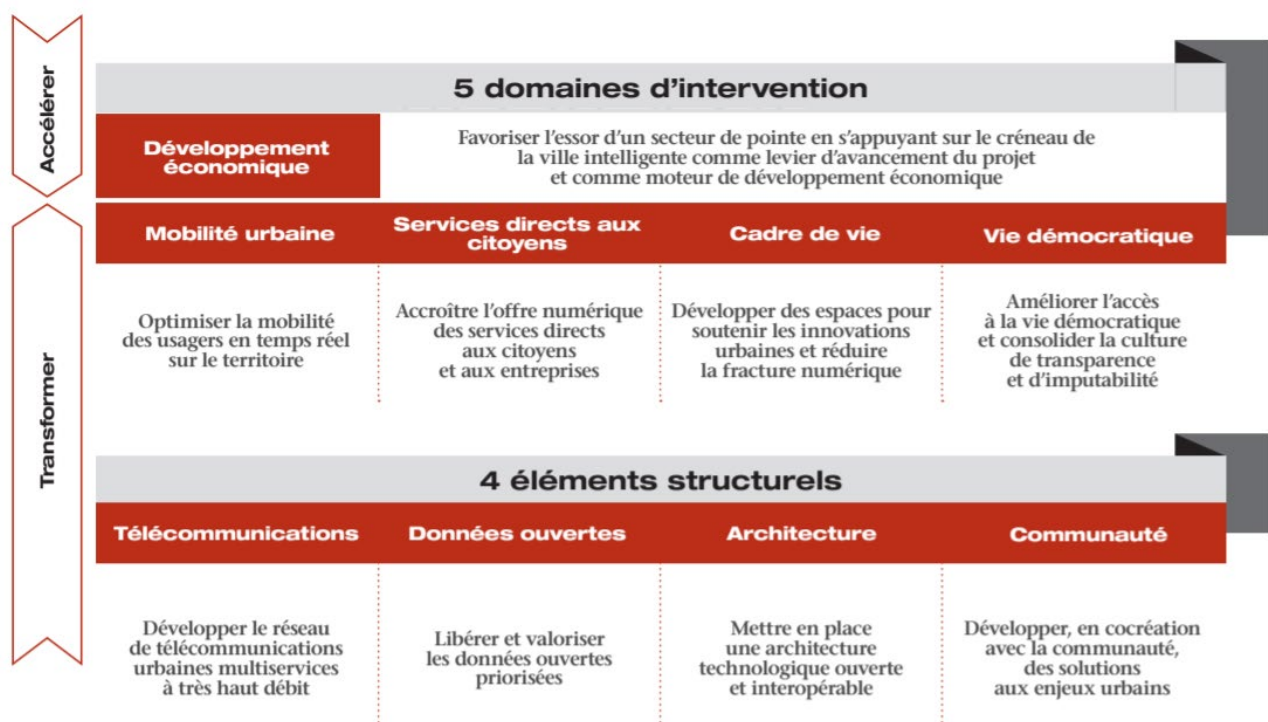


Figure 5.2.1.1 - Sommaire des orientations stratégiques de la ville intelligente 2014-2017

Source : Ville de Montréal (2015). *Montréal Smart City and Digital City*. Récupéré de <https://laburbain.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/plan-action-bvin-ce-6-mai-2015-eng.pdf>

Réalisations

En mai 2015, le BVIM a affiché le plan d'action 2015-2017 de Ville intelligente de Montréal avec 70 projets d'entreprises et d'organisations sélectionnées sur 232 idées de projets. Les projets ont été choisis en fonction de leur porté, le porteur du dossier, la structure de financement et de partenariat envisagée (le cas échéant), l'échéancier initial et les indicateurs de performance qui lui étaient associés (Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal, s.d. b). Ceux qui ont été choisis étaient répertoriés dans six programmes, soit le Wifi Public, le réseau multiservice à très haut débit, la grappe *Smart City Economic*, *Smart Mobility*, la démocratie participative et les services publics numériques. Chaque programme comprenait des « impacts » sur des éléments structurels et des domaines structurants en fonction des domaines d'intervention.

Par la suite, en 2017, la BVIM a exhibé le bilan de leurs réalisations pour 2015-2017. À cet effet, le plan d'action réalisé en 2015 comptait finalement 71 projets dont 42 % des projets ont été réalisés et 85 % d'entre eux étaient encore en phase de réalisation et de déploiement. Les réalisations les plus marquantes, selon eux, sont, l'accès au Wifi-Public avec 891 bornes Wifi dans 78 bâtiments qui sont destinés au public tel que dans les bibliothèques, maisons de la culture, les centres communautaires et de loisirs, etc. Ensuite, elle est fière de son projet de données disponibles aux citoyens. Elle a d'ailleurs créé la politique de données ouvertes qui permet aux citoyens d'avoir n'importe quelle donnée que la Ville de Montréal possède, et de savoir quels types de données qu'elle récolte. (Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal, s.d. b).

Aussi, quelques partenariats et initiatives innovantes en matière de ville intelligente ont eu lieu sur le territoire montréalais, tels que les événements Défi vélo MTL, Innobanh, AqauaHacking, et le soutien à l'écosystème entrepreneurial par le partenariat avec l'organisation Capital Intelligent et Innocité Mtl pour soutenir les startups montréalaises.

Finalement, le BVIM a soumis la candidature de Montréal pour le défi des villes intelligentes organisé par le gouvernement du Canada (Ville de Montréal, s.d.). Le Défi souhaitait que les villes gagnantes investissent les montants remportés (65 M\$) dans l'amélioration de la qualité de vie de leurs résidents par l'innovation, les données et les technologies connectées (Infrastructure Canada, 2020).

Au total, l'initiative de ville intelligente de Montréal a été soutenue sur un budget de 23 M\$ de la Ville sur trois ans (Ville de Montréal, s.d.). À ce jour, on peut voir la progression de chacun des projets du BVIM sur le site de la Ville de Montréal (Ville de Montréal, 2020).

Bien que le Plan d'action soit arrivé à échéance, plusieurs projets encore actifs – soit en test, en développement ou en déploiement progressif – vont se poursuivre. En effet, la majorité de ces projets sont désormais portés par des services d'opérationnalisation (Service des technologies de l'information, Service des infrastructures, de la voirie et des transports, etc.) qui seront en mesure de compléter les projets indépendamment de ce Plan d'action et même de les bonifier. La démarche aura ainsi permis à la Ville de développer plus de projets selon l'axe ville intelligente. (Ville de Montréal, s.d.).

Prix

Les différentes initiatives du BVIM ont permis à Montréal d'être récompensée. En 2016, en matière de ville intelligente, elle se voit décerner le prix de l'*Intelligent Community of the Year Award* par l'organisme indépendant Intelligent Community Forum. Elle a été reconnue pour ses projets structurants en lien avec son plan d'action et la contribution de plus de 115 organisations montréalaises : cela lui place dans le même rang que d'autres villes ayant gagné le même prix tels que New York, Stockholm, Singapour, Taipei et Columbus. Également, la même année, Montréal a obtenu le troisième rang dans les villes canadiennes au classement du *Open Cities Index* (OCI) en matière de données ouvertes (Ville de Montréal, 2017a). En outre, le dossier de candidature de Montréal, envoyé en avril 2018, pour le projet du défi des villes intelligentes du Canada a gagné le prix de 50 millions de dollars « pour sa proposition d'améliorer la mobilité et l'accès à l'alimentation » (Infrastructure Canada, 2019).

Critiques

Dans un autre ordre d'idées, bien que les initiatives en ville intelligente de Montréal lui aient permis de se démarquer à l'international par l'obtention de prix distinctifs et les retombées positives dans la communauté montréalaise, elle a reçu certaines critiques. En 2018, dans un texte d'opinion de la Presse + écrit par Stéphane Laporte, il mentionne que l'intelligence humaine (QI) n'était pas considérée dans le concept de ville intelligente de Montréal, que la Ville misait énormément sur la connectivité de la ville plutôt que « le plaisir d'y vivre », qu'il n'était pas en mesure de voir les retombées de l'économie numérique et que les « entreprises de demain », telles que Biochem Pharma et Bombardier, ont eu des résultats peu concluants et un bas taux des employés dans les startups en IA de Montréal (Laporte, 2018).

5.2.2 Vision de la ville intelligente 2017 à 2030

Initiatives

À la suite du départ de Denis Coderre comme maire de Montréal et l'arrivée, en novembre 2017, de Valérie Plante à titre de mairesse de la métropole, le BVIM change de nom pour le « Laboratoire de l'innovation urbaine (LIUM) ». Le changement de nom vient du désir de l'administration municipale de « briser les silos » qu'il mentionne exister entre les différents acteurs de la Ville, dont les startups, les établissements d'enseignement supérieur et les organismes communautaires. Ce changement est en vue de favoriser la collaboration et le partage d'idées avec les résidents montréalais (Daoust-Braun, 2018). D'ailleurs, l'ancien maire de l'arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie à Montréal et ancien responsable de la ville intelligente, des TI, de l'innovation et de l'enseignement supérieur, William Croteau, a publié sur les médias sociaux la mission du LIUM et ses défis :

Son travail sera de mobiliser les forces vives en innovation sur l'ensemble du territoire afin de travailler en collaboration et en concertation avec tout l'écosystème. Cela veut dire permettre une plus grande ouverture à travailler avec les centres de recherches, les universités, les startups, les différents laboratoires d'innovation et l'ensemble des organisations et citoyens qui veulent aussi contribuer à améliorer la qualité de vie de tous les Montréalais. [...] D'autres défis se dressent devant nous, dont l'arrivée de la nouvelle technologie cellulaire 5G qui offrira une plus grande capacité de transfert de données, le déploiement massif de l'Internet des objets et l'intégration de l'intelligence artificielle dans l'analyse des données recueillies par les différents capteurs. Les villes doivent s'interroger sur la manière dont seront entreposées ces données, qui les utiliseront, pourquoi elles seront recueillies et surtout, comment garantir la vie privée des citoyens. (Croteau, 2018)

Réalisations

Entre 2020 à 2021, le LIUM a travaillé sur certains projets innovants. Tout d'abord, sur le plan numérique, le défi des villes intelligentes du Canada a bâti le projet Montréal en commun qui comprend 13 projets montréalais avec une enveloppe de 10M\$ (Ville de Montréal, 2020, 9 septembre). Il a aussi développé un projet pilote d'intégration de la technologie 5G dans la Ville en collaboration avec cinq entreprises montréalaises. Il s'agit d'une expérimentation sur la fonctionnalité d'un citoyen d'acheter des titres de transports en commun à partir d'un cellulaire intelligent. Également, à la suite de consultations auprès du personnel de la Ville, il a créé le document « Montréal numérique » qui documente les aspirations de la ville en termes numérique – qui sera exposé plus loin dans le chapitre.

Par la suite, en matière de données, le LIUM a créé un nouveau site de données ouvertes (donnees.montreal.ca) pour que les citoyens montréalais puissent avoir accès aux données publiques et bâti la Charte de données numériques de Montréal. D'ailleurs, il a participé à un exercice de réflexion sur les données de mobilité avec la ville de Lyon et de Boston et il a tenu à

Montréal le sommet canadien des données ouvertes. Ensuite, en matière d'initiatives municipales, il a analysé quelques données et conçu des tableaux de bord accessibles à la population montréalaise sur la qualité de l'air de la Ville, l'inspection des aliments et le remorquage accessible aux citoyens. Il a contribué à de nombreux rapports publics parmi les « ensembles de données publiques » concernant les taxes municipales, la diversité en emploi à Montréal et les barrières d'accès à l'entrepreneuriat chez les populations vulnérables (Laboratoire d'innovation urbaine, s.d. b).

De surcroît, à l'échelle du citoyen, le LIUM a facilité la participation de 12 personnes à un programme de formation en innovation sur l'engagement et l'action citoyenne organisée par *Bloomberg Philanthropies*, et a ordonné les Rendez-vous Montréal 2030 qui visait à former l'administration municipale autour du plan stratégique Montréal 2030. D'ailleurs, il s'attarde à des projets de sécurité alimentaire, d'urbanisation et d'écologie (Laboratoire d'innovation urbaine, s.d. b).

Montréal Numérique

En juin 2021, le LIUM a exposé le projet « Montréal Numérique – Une démarche collective au service de la transformation de Montréal » qui s'inscrit dans leur stratégie en matière de ville intelligente dite « centrée sur l'humain » (Ville de Montréal, 2021). Ce projet qui s'étale sur 10 ans a été développé par le LIUM et différents services de la Ville dans l'intention d'assurer la transformation numérique des organisations. Le but est d'offrir des services adéquats aux citoyens (résidents et organisations) et d'améliorer l'expérience des membres de leur personnel. Elle contient trois grands objectifs :

- Renforcer le positionnement de Montréal comme ville intelligente innovante et humaine;
- Améliorer la performance organisationnelle et les services à la population;
- Mettre en place une stratégie en technologies numériques intégrée et transversale à la Ville de Montréal.

Parmi les grands objectifs, quatre ambitions générales décrivent la vision de Montréal Numérique qui sera soutenu par 41 engagements de l'administration municipale :

1. Une stratégie numérique responsable
2. Un numérique humanisé par et pour toute la population montréalaise
3. Le numérique montréalais, une affaire de partenariat
4. Une pratique transversale du numérique à la Ville

Critiques

Cependant, bien que la Ville – sous le règne de la mairesse Valérie Plante – développe des initiatives et projets reliés au désir des citoyens et de résoudre les enjeux de données et du respect à la vie privée par la création de la Charte des données numériques de Montréal, certains stipulent qu’il est tout de même difficile d’avoir accès à l’information et critique un manque de transparence de la part de la Ville. Un billet de blogue de l’organisme Urbania dénonce les enjeux de surveillance, de confidentialité et de la protection de la vie privée qui restent importants dans la municipalité, à leur avis (Bourdeau, 2021).

Sommaire

Donc, comme démontré dans le chapitre II, les villes sont amenées à utiliser le concept de ville intelligente en fonction de leur environnement, de leurs ressources et de leurs besoins, vu qu’il n’y a pas de définition exacte de celle-ci. On remarque que dans la ville de Montréal, bien que le nom du bureau qui s’occupe de la stratégie de la ville intelligente ait changé en fonction des administrations municipales, elle s’inspire tout de même de l’objectif général de la ville intelligente d’améliorer la qualité de vie des citoyens et favoriser un environnement durable par les TIC en créant et soutenant des initiatives existantes en fonction des besoins des citoyens et des parties prenantes.

Selon les rapports de la Ville, du côté de l’administration Coderre, des acteurs de la grappe industrielle en IA de Montréal tels que l’institut de recherche IVADO (Institut de valorisation de données) et la startup montréalaise Element AI (acquise par Service Now) ont collaboré au rayonnement de la ville intelligente (Ville de Montréal, s.d.). Du côté de l’administration Plante, le projet de Montréal Numérique 2030 mentionne dans l’ambition numéro trois (le numérique montréalais, une affaire de partenariat) qu’il souhaite utiliser leurs écosystèmes numériques et locaux pour soutenir leur vision de ville intelligente, dont l’industrie de l’IA, à Montréal. Cependant, il n’est pas mentionné de quelle manière précise cette grappe industrielle participera au projet. On ne fait que mention dans l’ambition numéro une (une stratégie numérique responsable) de la Déclaration de Montréal en IA responsable et l’utilisation de la documentation des « algorithmes d’intelligence artificielle et leurs usages à la Ville » (Ville de Montréal, 2021).

Finalement, l'IA est représentée dans deux objectifs sur trois de la stratégie de ville intelligente du Montréal Numérique sans préciser les acteurs impliqués. Il serait captivant de connaître quels sont ces acteurs, de quelle manière ils s'impliquent ou peuvent s'impliquer dans ces initiatives de ville intelligente. Dans la prochaine section, nous contextualiserons la grappe en IA de Montréal.

5.3 Contexte historique et politique : Implications gouvernementales en IA

Pour délimiter la grappe industrielle en IA de Montréal, il est pertinent d'exposer brièvement la grappe canadienne en IA et la grappe québécoise en IA. La figure 5.3.1 révèle qu'elles se chevauchent attribuables aux stratégies politiques et implications gouvernementales.

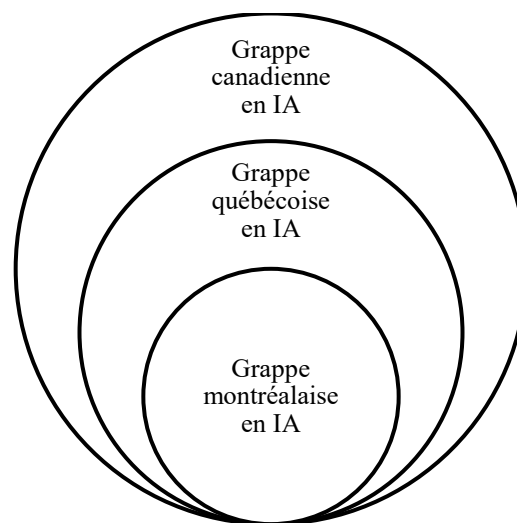


Figure 5.3.1 – Relation d'interdépendance entre la grappe industrielle canadienne, québécoise et montréalaise

5.3.1 Grappe canadienne en IA

Comme mentionné dans le chapitre II, le Canada souhaite devenir un leader international dans l'IA. À ce jour, le tableau 5.3.1.1.1 présente le « *Global AI Index* » de *Tortoise media* qui classe le Canada en quatrième rang sur une échelle mondiale de pays à l'échelle de l'industrie de l'IA en fonction de son talent, l'infrastructure, l'environnement de travail, la recherche, le développement des plateformes et algorithmes, la stratégie gouvernementale et la commercialisation (Tortoise Media, 2022). Ce positionnement est lié, entre autres, par les sommes élevées investies du gouvernement canadien dans la recherche et l'adoption de l'IA dans la société. Quelques initiatives considérables du Canada ont été initiées à cet effet.

Tout d'abord, en 2016, IVADO, situé à Montréal, a reçu un financement de 93,6 M\$ par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada pour implémenter la recherche liée aux données en « application concrète dans la société » (HEC Montréal, 2016). En 2017, le gouvernement canadien a dévoilé la Stratégie pancanadienne en matière d'IA qui équivaut à 125 M\$: le Canada devient le premier pays à lancer une stratégie nationale en IA. L'exécution de celle-ci repose sur l'alliance entre l'Institut canadien de recherche avancée (CIFAR) et trois centres d'excellence en IA, soit l'Alberta Machine Intelligence Institute (Amii) à Edmonton, l'Institut Vecteur à Toronto et Mila – Institut québécois d'intelligence artificielle (autrefois appelé *Montreal Learning Algorithms Institute*) à Montréal. Elles offrent différents types de ressources et d'accompagnement aux chercheurs dans la recherche en IA, l'innovation de celle-ci et l'adoption de l'IA dans les organisations. D'ailleurs, en 2021, le gouvernement canadien a revu sa Stratégie et s'engage à leur offrir 443,8 M\$ pour la prochaine décennie (Ministère des Finances Canada, 2021).

Par la suite, en 2018, le gouvernement canadien a créé cinq supergrappes mondiales dans le cadre de l'« Initiative des supergrappes d'Innovation » pour encourager l'innovation technologique dans certaines industries, par un investissement de 950 milliards jusqu'en 2028 (Innovation, Sciences et Développement économique du Canada, 2021). À cet effet, la supergrappe des chaînes d'approvisionnement axées sur l'IA (Scale AI) a vu le jour. Scale AI, basée à (Montréal Scale AI, 2020), a été bâtie afin de créer des chaînes d'approvisionnement issues de l'IA et des technologies robotiques par l'appui de certains partenaires dont Aldo, BCG, CGI, CISCO, Intel, PwC et Shopify, à travers le territoire canadien. Elle vise à contribuer à 16,5 G\$ ans du PIB canadien et créer 16,000 emplois sur 10 ans (Investir au Canada, 2021).

Finalement, sur le plan international, le Canada et le Royaume-Uni ont créé l'« Initiative sur l'IA » entre le Canada et le Royaume-Uni pour favoriser une IA responsable et assurer la collaboration entre les chercheurs canadiens et anglais (Gouvernement du Canada, 2021). En outre, en 2020, le Canada annonce qu'il rejoint le Partenariat mondial sur l'IA (PMIA) qui comprend 25 pays membres qui sont l'Allemagne, l'Australie, la Belgique, le Brésil, la République de Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, l'Inde, l'Irlande, Israël, l'Italie, le Japon, le Mexique, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, la République tchèque, le Royaume-Uni, Singapour, la Slovaquie, la Suède et l'Union européenne (Partenariat mondial sur l'intelligence artificielle, 2022). D'ailleurs, en 2019, pour soutenir les activités du PMIA, le gouvernement

canadien et québécois annonce la création commune du Centre d'expertise internationale de Montréal en IA (CEIMIA) qui équivaut 15M\$ d'investis sur trois ans (Gouvernement du Québec, 2020).

Tableau 5.3.1.1 Classement des 10 pays leaders en intelligence artificielle

Rang	Pays/Indicateurs	Talent	Infra.	Env. Op.	Recherche	Develop.	Stratég. Gouv.	Commerc.	Total
1	États-Unis d'Amérique	100	94,02	64,56	100	100	77,39	100	100
2	Chine	16,51	100	91,57	71,42	79,97	94,87	44,02	62,92
3	Royaume-Uni	39,65	71,43	74,65	36,5	25,03	82,82	18,91	40,93
4	Canada	31,28	77,05	93,94	30,67	25,78	100	14,88	40,19
5	Israël	35,76	67,58	82,44	32,63	27,96	43,91	27,33	39,89
6	Singapour	39,38	84,3	43,15	37,67	22,55	79,82	15,07	38,67
7	Corée du Sud	14,54	85,23	68,86	26,66	77,25	87,5	5,41	38,6
8	Pays-Bas	33,83	81,99	88,05	25,54	30,17	62,35	4,97	36,35
9	Allemagne	27,63	77,22	70,22	35,84	24,79	84,65	8,29	36,04
10	France	28,32	77,15	80,02	25,48	21,44	91,2	7,65	34,42

Source : Tortoise Media (2022). *The Global AI Index*, Tortoise Media. Récupéré le 18 février 2022 de <https://www.tortoisemedia.com/intelligence/global-ai/>

5.3.2 Grappe québécoise en IA

Le Québec investit dans l'IA pour positionner sa compétitivité dans l'industrie. Tout d'abord, à l'échelle du Québec, en 2017, le gouvernement québécois a annoncé qu'il investirait 100 M\$ en cinq ans pour la création d'une grappe québécoise en IA. Cette grappe a pour objectif de hausser le niveau de productivité et de compétitivité des entreprises québécoises et le leadership du Québec à l'international, par l'innovation issue de l'IA (Cabinet du ministre, 2017). Elle mise sur la collaboration entre différents acteurs tels que les laboratoires universitaires de recherche fondamentale, les instituts de recherche, les organismes voués au conseil et aux collaborations industrielles, les chefs de file mondiaux du numérique associés au milieu de recherche, les jeunes pousses et entreprises québécoises, les entreprises de service-conseil en intégration de l'IA, les incubateurs et accélérateurs et les fonds de capitaux (voir annexe ii). D'ailleurs, parmi les acteurs faisant partie des piliers de la grappe, près de la totalité d'entre eux possèdent leur siège social ou des bureaux à Montréal.

En 2018, le comité qui pilotait la création de la grappe a dévoilé la « Stratégie pour l’essor de l’écosystème québécois en intelligence artificielle », qui en est venu à un des choix de déménager Mila dans le Mile-Ex en vue que l’institut devient « le centre névralgique de l’intelligence artificielle à Montréal » et contribue au talent et à la recherche du domaine (Université de Montréal, 21 juin 2018). À cet effet, Pierre Boivin, coprésident du comité d'orientation pour la création de celle-ci, a indiqué que l’élaboration de cette grappe positionnera Montréal comme un pôle international d’excellence en IA sur la recherche fondamentale, la création d’entreprises et d’emplois qui auront un effet positif sur le PIB du Québec (Lalonde, 2017). À ce jour, le Québec se situe en 7^e position mondiale en matière d’IA, en compétition avec les pays du classement mondial de l’industrie (voir annexe iii), et en 2022, le gouvernement provincial a annoncé 217 M\$ en IA sur 5 ans dans la grappe québécoise (Gouvernement du Québec, 2022).

5.4 Portrait de la grappe industrielle en IA de Montréal

Montréal est une des plaques tournantes de l’industrie de l’IA en ce qui concerne l’académique et la R&D grâce aux nombreux investissements. En 2020, l’investissement dans l’IA au Québec par les gouvernements (fédéral et provincial) était estimé à plus de 2.3 G\$ (Technologies de l’information et des communications, 2020). Cela a contribué, entre autres, à ce que Montréal devienne une cheffe de file de l’IA à travers le monde. D’ailleurs, bien qu’il n’existe pas de stratégie formelle de création d’une grappe industrielle en IA montréalaise, Savoie Dansereau (2018) démontre qu’elle est bien réelle et qu’elle a ses propres caractéristiques qui la différencie de la grappe canadienne et celle québécoise.

Sur le plan international, Montréal est réputée pour son désir de développer et d’adopter une IA qui se veut responsable. À ce sujet, elle s’est démarquée en étant une des premières villes à former un décret en faveur d’un développement et une utilisation de l’éthique de l’IA par l’écriture de la Déclaration de Montréal IA Responsable (Université de Montréal, 2018, 4 décembre). Dans cette même lignée, Mila et le laboratoire Algora lab de l’Université de Montréal (UdeM) ont bâti une consultation mondiale sur l’éthique de l’IA pour l’UNESCO (Accenture, 2021).

Par conséquent, cette grappe qui s’est positionnée comme une des leadeurs en éthique de l’IA a pris de l’expansion à l’aide de stratégies et investissements gouvernementaux reliés à l’IA, aux initiatives en IA responsable et par les acteurs qui seront révélées dans la prochaine section.

5.4.1 Acteurs en IA à Montréal

On dénombre divers acteurs à Montréal et à travers le Québec et le Canada qui contribuent au développement de la grappe industrielle montréalaise en matière de recherche, du partage de connaissances, à l'attraction d'investissements publics, privés et étrangers, à l'innovation et l'adoption d'IA dans les entreprises et organisations. Le tableau 4.3.1 comprend l'ensemble des acteurs qui font partie de celle-ci en neuf catégories : le soutien à l'écosystème, le transfert technologique dans les organisations et à la recherche collaborative, le milieu académique, les laboratoires corporatifs, le financement, les hubs, les accélérateurs et les incubateurs, les startups et les événements.

Tableau 5.4.1 Grappe industrielle en IA de Montréal

Catégories	Acteurs
Soutien à l'écosystème	AI for Good, AI Impact Alliance (AIIA), ATN, Canada AI, Centre d'entreprises et innovation de Montréal (CEIM), Centre d'expertise international de Montréal en intelligence artificielle (Ceimia), CIFAR, CRIM, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Data science institute, Développement économique Canada, Forum IA Québec, Inno Centre, Ministère de l'économie et de l'innovation (MEI), Montréal Invivo, Montréal IA, Montréal International, Numana, Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches du Canada (PARI-CNRC)
Transfert technologique et recherche collaborative	Axelys, Consortium de recherche biopharmaceutique (CQDM), CQRDA, Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ), Consortium de recherche et innovations en bioprocédés industriels au Québec (CRIBIQ), Consortium de recherche et innovation en transformation métallique (CRITM), MEDTEQ+, InnovÉE, Pôle de recherche et d'innovation en matériaux avancés du Québec (Prima), Prompt
Académique	Center for Intelligent Machines (Machines), Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO), Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), Computational Linguistics at Concordia (CLAC), Université Concordia, Centre de recherches mathématiques (CRM) de l'Université de Montréal, Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM), Département d'informatique et de recherche opérationnelle (Diro) de l'Université de Montréal, Data Science for Real-Time Decision-Making (DS4DM), ÉTS, ÉIAD du Centre hospitalier de l'UdeM, Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (GERAD), HEC Montréal, IVADO, JACOB, Laboratoire de traitement de l'information en santé (LATIS) de l'ÉTS, Le wagon, Laboratoire de recherche en imagerie et orthopédie (LIO) de l'ÉTS, (Laboratoire d'Interprétation et de Traitement d'Images et de Vidéo (LITIV) de Polytechnique, Le laboratoire d'imagerie, de vision et d'intelligence artificielle (Livia) de l'ÉTS, Mila, Polytechnique Montréal, Recherche appliquée en linguistique informatique (Rali) de l'Université de Montréal, Reasoning and Learning Lab (RLLAB) de l'Université McGill, Tech3Lab, Université de Montréal (UdeM), Université du Québec à Montréal (UQÀM)

Laboratoires corporatifs	Axionable, Boast AI, DeepMind, Denso, Google, HAVAS Group, Lab Ericsson, Lab Microsoft, Lab Samsung, QuantumBlack, Thales, Samasource, Servicenow, Unity, Zesty.ai, Corning, Facebook, IBM, Borealis AI, OVH Cloud, Servier
Financement	Anges Québec, BCF Ventures, BDC Technologie, Boréal Ventures, Brightspark Ventures, Caisse de dépôt et placement du Québec (CDPQ), CIBC Innovation Banking, Conseil de recherche en sciences humaines (CRSH), Cycle Capital Financement, Diagram, First Ascent Ventures, Front Row Ventures, Highline Beta, iNovia, Invest AI (Ivado Labs), Investissement Québec, Luge Capital, Mitacs, Panache Ventures, Portag3, Real Ventures, Scale AI, White Star Capital
Hub	Centech, District 3, Espace CDPQ, O'Mile ex
Accélérateurs/incubateurs	Next AI, Espace CDPQ-Axe IA, Creative destruction Lab, Centech, McGill Dobson Centre for Entrepreneurship, TandemLaunch, Techstars AI, CTS, Cadence
Startups	AFX Medical, Aifred Health, Algolux, Automat, Brainbox AI, Deeplite, Envision AI., fluent AI, GRAY, Heyday, HumanFirst ai, Imagia, Ivado Labs, Landr, Local logic, Korbit AI, MIMS, Moov AI, Myelin, Plotly, Square feet.ai, Sollum, Stradigi AI, Valence Discovery, Wrnch
Événements	IA en Mission sociale, Meetups, World Summit Americas AI Montréal, Startupfest, Strategic Forum on AI, TechAide, Symposium IA Montréal

Source : Startup Montréal (2021). *Cartographie de l'écosystème en intelligence artificielle de Montréal* [graphique]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://startupmontreal.com/notre-cartographie-de-lecosysteme-en-intelligence-artificielle-de-montreal/#>

En premier lieu, les différentes initiatives aux chapitres fédéraux et provinciaux sont initiées par différentes organisations pour soutenir la grappe industrielle en IA de Montréal. À titre d'exemple, par la stratégie pancanadienne en matière d'IA sur le plan fédéral chapeauté par CIFAR, elle soutient la recherche et l'innovation en IA à Montréal par sa collaboration avec le Mila (Accenture et CIFAR, 2020). Parallèlement, en 2020, le ministère de l'Économie et de l'innovation du Québec (MEI) attribuait 23,8 M\$ à 143 projets québécois en IA afin de « renforcer le développement et la commercialisation ou l'adoption des technologies d'IA ». Cette somme s'inscrit au 329 M\$ sur cinq ans – du budget 2019-2021 – promis par celui-ci dans l'implantation de l'IA à « plus grande vitesse » qui sera profitable aux entreprises montréalaises (Économie et Innovation, 2020).

En deuxième lieu, à l'échelle du transfert technologique et de la recherche collaborative de l'IA, des organismes reçoivent un soutien financier des fonds publics. C'est le cas de l'organisme Prompt qui a investi 13,3 M\$ dans 48 innovations en IA en 2019-2020 (Prompt, 2022). Également, depuis 2013, l'organisme MEDTEQ+ qui soutient la recherche et l'innovation dans le secteur de la santé a soutenu plus de 100 projets « Impact », notamment dans la technologie de l'IA. « Le Consortium pancanadien de recherche industrielle et d'innovation en technologies médicales MEDTEQ+ a pour mission d'accélérer le développement de solutions technologiques innovantes afin d'améliorer l'état de santé et la qualité de vie des patients » (MEDTEQ+, 2021).

Par la suite, Montréal rayonne à l'international par son milieu académique : la ville compte plus de 9000 étudiants dans les domaines de l'IA et des mégadonnées (Chambre de commerce métropolitaine de Montréal, 2018) et l'Université de Montréal se place dans le top 25 mondial des meilleures universités en AA (Accenture et CIFAR, 2020). Également, en 2018, IVADO a effectué plus de 439 projets collaboratifs avec l'industrie et la communauté académique (IVADO, 2022). En outre, selon le rapport d'impact 2020-2021 de Mila, environ 800 chercheurs en IA de l'institut, provenant de partout dans le monde, ont conduit plus de 112 projets appliqués en IA dans les entreprises québécoises et étrangères. L'institut souligne aussi qu'il a pu insérer 176 étudiants en stage dans les entreprises du Québec, et constate un taux de 90 % de leurs diplômés de programmes de maîtrise professionnelle et du DESS travaillant dans des entreprises québécoises (Mila, 2021).

En troisième lieu, des multinationales ayant des connaissances en IA, comme les entreprises américaines dont Facebook, Microsoft, Google, Samsung, DeepMind et l'entreprise française Thales, ont installé leurs laboratoires pour contribuer à la recherche dans le domaine ou investir à Montréal (Mercure, 2017). En 2017, Facebook établit son laboratoire de recherche et Microsoft accroît son laboratoire à Montréal à plus de 75 employés (Accenture et CIFAR, 2020). En 2021, Google investit 3,9 M\$ jusqu'en 2022 à Mila aux fins de développer la recherche (Bengio, 2020). Aussi, parmi les chercheurs de renommée mondiale dans les laboratoires de recherche corporatifs présents à Montréal, on compte Yoshua Bengio, professeur à l'Université de Montréal, Joëlle Pineau, professeure à l'Université McGill et directrice du laboratoire Facebook IA à Montréal, Doina Precup, professeure à l'Université McGill et directrice de recherche à Deep Mind et Huro Larochelle à l'UdeM et chercheur à Google Brain à Montréal (Investissement Québec, 2019).

En quatrième lieu, à Montréal, on compte plus de 1 G\$ d'investis en IA par les organisations et entreprises. En matière d'investissements étrangers, on constate qu'en 2016, 19 % des investissements directs étrangers ont été dans l'IA et les mégadonnées à Montréal (Chambre de commerce métropolitaine de Montréal, 2018). En ce qui concerne le financement privé et public, quelques initiatives ont été effectuées pour soutenir le développement et l'adoption de l'IA. En 2017, en capital-risque en IA, Real Ventures, qui est l'un des plus grands fonds de capital du Canada, soumet une enveloppe financière de 180 M\$ dans l'IA au Québec avec le soutien d'investisseurs nationaux et internationaux dans l'intention « d'élargir et d'intensifier le développement des plus prometteuses entreprises technologiques en démarrage et des écosystèmes

d'affaires au Canada » (CPDQ, 2017). En 2019, la Caisse de placement de dépôt du Québec (CPDQ) crée le fonds CPDQ-IA qui comprend 250 M\$ pour « propulser la croissance des entreprises dont l'offre de produits repose sur le développement de l'IA et a accéléré la commercialisation de solutions en intelligence artificielle » (CPDQ, 2019).

En cinquième lieu, on constate quelques hubs – « des espaces physiques qui offrent une concentration de ressources, d'acteurs, d'experts, dans un même lieu pour le bon développement des startups » (Startup Montréal, 2019) – à Montréal. Dans les édifices du O'Mile Ex à Montréal, se figure le Mila, mais également des entreprises et organisations en IA telles que ServiceNow spécialisé dans le service-conseil, Boréal AI du secteur de la finance, Imagia du secteur de la santé, Scale AI et IVADO (O'Mile ex, 2020).

D'ailleurs, on trouve l'incubateur ESPACE CPDQ axe IA situé dans les bureaux de Mila suite à un partenariat établi entre la CPDQ et l'institut afin d'accueillir « des startups en intelligence artificielle issues de secteurs innovants et porteurs dont les projets technologiques cadrent avec les valeurs et les axes de recherche prioritaires de Mila. » À cet effet, depuis 2019, on compte plus de 17 startups présentent dans l'AXE IA de différents secteurs tels que dans l'aérospatial, le biomédical et les sciences de la vie. Parmi les startups mentionnées dans le tableau 4.3.1, on note Valence Discovery (anciennement InVivo AI) (Espace CPDQ, 2018) et GRAY (Espace CPDQ, 2020). À l'échelle des startups en IA au Québec, entre 2017 et 2018, il est estimé qu'elles valent plus de neuf-milliards de dollars investis du Québec, et « plus de 1,7 milliard a été investi en capital de risque pour les jeunes pousses en intelligence artificielle depuis 2018 » (Laperrière, 2021).

Finalement, le tableau 4.3.1 présenté précédemment dénombre plusieurs événements qui ont lieu à Montréal, qui rassemble divers acteurs du milieu afin de favoriser le partage de connaissances et le soutien à l'écosystème. Parmi ces événements, en mai 2022 s'est déroulée le World Summit AI Americas à Montréal en réunissant plus de 150 panélistes et 2 500 personnes sur deux jours (World Summit AI Americas, 2022). Puis, l'organisme Techaide, chapeauté par Centraide du Grand Montréal, qui vise à combattre l'exclusion et la pauvreté, comprend plus de 3200 membres issus de la communauté technologique montréalaise. Techaide a organisé plus de 22 événements et a récolté 1.3 M\$ en dons « aux acteurs majeurs dans la lutte contre les problèmes sociaux » (Techaide, 2022).

5.4.2 Retombées économiques et sociales de la grappe industrielle en IA dans la ville Montréal

Les initiatives des acteurs de la grappe industrielle en IA de Montréal ont valu des retombées positives dans la société montréalaise et québécoise. En matière de retombées, en 2020, on comptait plus de 95 000 emplois à Montréal en matière d'IA, et Montréal se positionne en 5^e place en termes de « talents les plus abordables en IA en Amérique du Nord » (Laperrière, 2021). Un rapport de Techno Compétences sur le Profil de la main-d'œuvre en IA, science des données et mégadonnées au Québec (2021) stipule qu'on note « plus de 40 000 professionnels dans des emplois périphériques à l'IA, à la science des données ou aux mégadonnées » (Cayrat, Sigouin-Lebel & Poirier St-Pierre, 2021). Sur le plan d'intégration de l'IA dans les entreprises, Accenture et Montréal Invivo ont conduit une analyse en 2019 qui suggère que 40 % des entreprises dans le secteur des sciences de la vie et des technologies de la santé (SVTS) au Québec sondé lors d'une enquête « développent (31 %) et/ou utilisent (9 %) l'IA dans leur entreprise » (Montréal Invivo et Accenture, 2019).

5.4.3 Défis de la grappe industrielle en IA de Montréal

Bien que la grappe industrielle en IA de Montréal révèle quelques forces, elle comprend certains défis, notamment par ses liens qu'elle entretient avec la grappe canadienne et québécoise. Sur le plan national, le Canada énonce qu'une de ses faiblesses est qu'elle a une plus petite influence en matière d'IA à l'international ; le gouvernement évoque qu'il a « moins de 1 % du nombre total d'inventions brevetées par les institutions dans le monde » (Gouvernement du Canada, 2021).

À l'échelle du Québec, il existe certaines critiques à l'égard des milliards de dollars investis dans l'IA, dont des sommes considérables ont été injectées dans des initiatives à Montréal. Des chercheuses à l'Institut de recherche et d'informations socio-économiques (IRIS) (Lomazzi, Lavoie-Moore et Gélinas, 2019) signalent que les gouvernements ne prennent pas assez compte des risques économiques et sociétaux liés aux investissements en IA – soutenu par des fonds publics – et la possibilité de perdre des talents et connaissances si les startups québécoises sont achetées par des multinationales telles que Google, Amazon, Microsoft, Apple, Facebook (GAFAM). Aussi, elles se questionnent à savoir si le fait de donner autant de fonds publics aux entreprises n'encouragerait pas une dépendance financière aux gouvernements, et rappellent que ces investissements sont à valeur incertaine, dans une nouvelle industrie qui ne semble pas être

assez régulée, à leur avis. À plus forte raison, certains mentionnent que l'avènement des étudiants étrangers qui fréquentent les universités montréalaises contribue à l'embourgeoisement des quartiers montréalais (Lavoie-Moore, 2021).

Cependant, bien qu'il existe des risques concernant la présence importante des gouvernements et des investissements publics dans la grappe en IA de Montréal et que certaines actions peuvent entraîner des effets négatifs dans la société québécoise et montréalaise, Lomazzi, Lavoie-Moore et Gélinas sont d'avis que « Montréal soigne son image de chef de file en se positionnant comme la ville de l'éthique en IA et renforce donc son attractivité tant pour les talents que pour les investisseurs et les entrepreneurs » (Lomazzi, Lavoie-Moore et Gélinas, 2019).

Sommaire

Pour conclure ce chapitre, la Ville de Montréal a vu sa stratégie en ville intelligente évoluée avec le temps. Maints initiatives et projets lui ont valu des prix internationaux et des retombées positives dans la société montréalaise, en autres, au moyen de son environnement technologique. À présent, elle développe une stratégie de ville intelligente « centrée sur l'humain » en utilisant les ressources lui étant accessibles, dont son environnement en IA. Cependant, il semble manquer d'informations publiques sur la manière dont la grappe industrielle en IA de Montréal sert à cette stratégie. Il nous est alors difficile de répondre complètement aux questions de recherche avec cette première partie de l'étude de cas.

Par conséquent, dans l'intention de sonder les acteurs de la ville intelligente et de la grappe industrielle en IA de Montréal, nous avons exposé et contextualisé les différentes composantes de la grappe en IA de Montréal par son lien avec la grappe canadienne et la grappe québécoise, sa renommée à l'internationale, les organisations et entreprises qui la composent et ces retombées et défis sociétaux. Cette description de la grappe nous servira à trianguler les résultats de l'analyse des entrevues effectuées auprès des acteurs au chapitre suivant. Le but est de découvrir de quelle manière la grappe industrielle en IA peut servir aux initiatives de ville intelligente. Donc, nous serons en mesure de répondre à notre question générale et à nos sous questions de recherche.

CHAPITRE VI

ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats des 11 entrevues individuelles semi-dirigées effectuées auprès des acteurs de la grappe industrielle en IA et de la ville intelligente de Montréal. La présentation des résultats sera divisée en quatre parties en fonction des thèmes de notre cadre conceptuel. La première partie introduira la vision des acteurs sur les quatre révolutions industrielles et les trois autres parties porteront sur la compétitivité dans la ville intelligente, la gouvernance des technologies et les mises en pratique de l'IA dans la société. Finalement, nous finirons avec une discussion des résultats et répondrons aux trois questions de recherche.

6.1 Présentation des résultats

6.1.1 Partie 1 : Quatre révolutions industrielles

Les trois dernières révolutions industrielles

Au cours des entretiens, il était pertinent de connaître la vision que les acteurs ont de celles-ci et de quelle manière ils croient qu'elles ont influencé l'ère à laquelle ils vivent présentement. À la question : « *quelle est votre opinion sur les trois dernières révolutions industrielles à l'échelle mondiale?* », certains mettent à l'évidence qu'elles s'accélèrent. Cependant, le participant G accuse que celle-ci puisse amener des « fossés technologiques », surtout pour les personnes qui n'auraient pas de téléphones intelligents ou qui auraient moins la possibilité de tirer avantage des technologies. D'ailleurs, quelques-uns sont d'avis que notre capacité à s'adapter s'accroît tandis que d'autres mentionnent qu'elles sont plus difficiles à suivre et à s'adapter.

D'autre part, ils font valoir différentes façons que les révolutions industrielles ont contribué à la transformation des sociétés et des industries. À cet effet, le participant H mentionne que les révolutions industrielles ont transformé « la structure capitaliste des sociétés », l'économie, le commerce, les attitudes sociales et la vie des gens.

Par la suite, sur le plan de la productivité dans les révolutions industrielles, à la question, « *dans un contexte de mondialisation, que pensez-vous du concept de productivité?* », ils notent une augmentation constante de la productivité avec le temps. Le participant E mentionne que cette

productivité permet de faciliter le transfert de connaissances qui favorise la collaboration, notamment entre les entreprises :

« The productivity aspect, they are a lot of upsides to globalization, you know, in terms of impact that have on productivity. I would see what are the most important ones is this peak of the knowledge getting transferred around the world. The fact that we are not now only learning from our mistake, but we are learning from everyone mistakes. Or even, right now, when we are shaping our technologies, for example, in a company in a certain way, and we see some impact, a competitor or just a company in a similar industry doing something, we have a lot of access of information there. We can easily talk to them, we can start a conversation, probably a partnership. So, in that sense, the productivity from a business perspective has really increased. »

Cependant, le participant D signale que bien qu'il soit pertinent de collaborer entre les acteurs et d'avoir « une ouverture au monde », notamment dans la production qui s'est mondialisée à travers le temps, il est aussi important de produire localement, en prenant l'exemple de la production locale des vaccins durant la pandémie de la COVID-19. « En temps de pandémie, si tu n'as pas la capacité de créer des vaccins (sic) t'attends après les autres, mais les autres vont livrer leur pays avant, éthiquement parlant ». D'ailleurs, des participants soulèvent que cette augmentation de la productivité amène des enjeux de distribution des richesses entre les pays riches et pauvres.

Vision de l'industrie 4.0

Au chapitre de la vision que les informants ont de l'industrie 4.0, à la question : « *comment percevez-vous la quatrième révolution industrielle (industrie 4.0)?* », quelques-uns d'entre eux sont positifs par rapport à celle-ci, notamment par les possibilités qu'elle amène. À travers celles-ci, ils formulent le concept d'interconnectivité favorisant l'accumulation et le partage des données et l'échange d'information. À ce sujet, le participant D exprime que le désir de connecter les gens permet d'éliminer les distances géographiques entre les gens, notamment chez ceux qui peuvent être « cloisonnés en région », et le participant A soulève qu'il est préférable d'intégrer les technologies de l'industrie 4.0 à nos sociétés pour ne pas vivre en « autarcie » et « s'isoler du reste du monde » en contexte de mondialisation. À cet effet, le participant J exprime les importants investissements qui ont été faits par les pays et entreprises tels que Facebook et Google en matière des technologies de l'industrie 4.0.

Sauf qu'en matière des défis de l'industrie 4.0, le participant C articule que des pays et des régions ont moins l'opportunité d'investir dans les « technologies disruptives » ce qui crée, selon lui, un écart plus grand entre les pays riches et pauvres. Également, le participant A signale que les profits

faits par les entreprises à l'aide de l'industrie 4.0 peuvent être parfois être faits au détriment des consommateurs lorsque les marges de profit ne bénéficient pas directement aux consommateurs. Aussi, plusieurs formulent les enjeux environnementaux de cette ère, dont la pollution et la consommation énergivore des technologies de l'industrie 4.0.

« (sic) faut juste pas perdre de vue les impacts négatifs de certaines innovations. Par exemple, mettre en place un algorithme d'intelligence artificielle, ça peut être très énergivore, mais si l'algorithme en question (sic) y consomme tellement d'énergie que les gains... Le jeu n'en vaut pas la chandelle... Ben là (sic) faut vraiment se poser des questions. (sic) Quessé qu'on est en train de faire là en plein milieu d'une crise climatique? (sic) Faut faire attention avec l'innovation à tout prix. Il faut se donner des barèmes pour faire en sorte que ça fait encore du sens-là. Parce que, ça, je pense que (sic) va falloir se poser de plus en plus de questions dans le futur. Essayer de trouver des moyens de faire de l'innovation, mais sans que ça soit au détriment de la planète », participant G.

Toutefois, sur le plan environnemental, le participant D insiste que les technologies de l'industrie 4.0 ont également des effets positifs sur l'environnement : elles ont le pouvoir de « décroïsonner les employés » par la possibilité de faire du télétravail qui réduit les mouvements de circulation impactant la pollution, l'engorgement du trafic et la consommation de biens.

Enjeux éthiques

D'autre part, les participants notent des enjeux éthiques liés l'interconnectivité et l'accumulation des données et d'information tels que le traçage, le non-respect de la vie privée des gens et la cybersécurité. Plusieurs informants accusent Google et Facebook de participer au traçage des gens, ce qui suscite des enjeux éthiques en matière de vie privée.

« Il y a cet enjeu éthique de savoir qu'est-ce qui m'appartient, comme, qu'est-ce qui (sic) est mes données à moi, puis qu'est-ce que j'accepte de partager, puis qu'est-ce que les gens ou les compagnies devraient avoir comme pouvoir d'action, ou moi en tant qu'utilisateur, qu'est-ce que je devrais avoir comme pouvoir pour dire : « arrêtez de me suivre » », participant F.

Quant à la cybersécurité, le participant A signale une transformation du terrorisme conventionnel au terrorisme digital, et le participant D mentionne l'intensification de l'accès et du partage des données contribuant aux défis de la cybersécurité. Cependant, nombreux proposent la solution du « *federated learning*³ » pour les entreprises qui leur avantagera à faire face aux défis de cybersécurité.

³ « *Federated learning* (ou apprentissage fédéré), également appelé apprentissage collaboratif, consiste à entraîner ou réentraîner un modèle de *machine learning* directement sur l'appareil de l'utilisateur. Seuls les paramètres du modèle sont fédérés sur un cluster centralisé, et pas les données (textes, son, photo...) utilisées dans le processus d'apprentissage. Résultat, chaque appareil bénéficie en retour des connaissances accumulées par ses camarades » Journal du Net (2022). Récupéré de <https://www.journaldunet.fr/web-tech/guide-de-l-intelligence-artificielle/1501831-federated-learning-definition/>

Bref, bien que les technologies de l'industrie 4.0 suscitent des défis à ne pas négliger, la totalité des participants est d'avis que les technologies peuvent être bénéfiques à l'humain.

« Puis au bout de la ligne, (sic) ben, la technologie devient un appui à l'humain qui aide à décroïsonner, justement, les emplois et, etc.. Donc, le côté humain. Et, qui aide aussi au point de vue (sic) de productivité à être plus efficace, avoir plus de plaisir à travailler, etc. Donc, c'est dans cet axe-là que je trouve que la technologie c'est intéressant parce que souvent la technologie est « *hardware* » ou « *software* », participant D.

La transformation numérique

À la question, « *souhaitez-vous que les entreprises et organisations numérisent leurs activités et opérations? Expliquez* », la totalité des informants sont d'avis qu'elles doivent se numériser. Plusieurs s'entendent qu'il est nécessaire pour les entreprises et organisations de numériser leurs activités et opérations pour rester compétitives sur le marché et d'être plus efficaces. Le participant G mentionne qu'il est même une question de survie de se numériser minimalement :

« C'est juste que dans certains créneaux, la numérisation est peut-être moins exigeante parce que ça touche seulement une partie de leur activité, mais dans d'autres créneaux, comme tous ceux qui font de la production personnalisée de biens ou de la production en petite productivité ou en silo, ça vaut vraiment la peine d'être numérisé pour être plus agile puis être capable de configurer les machines autrement puis de voir les commandes arriver avant qu'ils soient trop tard. (sic) Je pense pas qu'il y a beaucoup de créneaux de la société où ce que (sic) ça vaut pas la peine d'avoir un minimum de numérisation. Je pense que pas mal tout le monde a comme intérêt à se numériser pour survivre et pour voir les choses arriver à l'avance puis être capable d'être prêt et d'être plus agile ».

Toutefois, le participant D recommande que les entreprises, notamment les PME, doivent récolter des données dans un but précis :

« Mais qu'avant d'avoir de la donnée qui est vraiment utile, tu peux avoir enregistré toute la vie, chaque seconde sur une borne digitale, mais elle sert à quoi ses données-là? Au bout de la ligne, trop de données, c'est comme pas assez. Il faut savoir un peu, premièrement, pourquoi tu cumules des données, à quoi ils vont te servir? Parce que le problème d'une entreprise, c'est que t'as 24 heures dans une journée, puis t'as des ressources finies et non infinies. Là, je te parle du cas, surtout de la petite entreprise ».

Par ailleurs, à l'échelle des infrastructures et systèmes de données, bien que le participant fasse ressortir qu'il existe quelques entreprises sur le marché canadien qui aident les entreprises à la numérisation, certains font ressortir le défi des entreprises d'avoir de bonnes infrastructures numériques pour valoriser leurs données parce que l'enjeu est souvent d'ordre financier.

Main-d'œuvre

Sur le plan de la main-d'œuvre en contexte de transformation numérique, les participants ont soulevé le défi de l'automatisation des usines. Bien que les machines aient encore de la difficulté à accomplir des tâches complexes, ils mettent en évidence que certaines entreprises favorisent « l'hyperautomatisation » qui mène, selon eux, à des échecs et la perte d'emplois des travailleurs. D'ailleurs, le participant G s'interroge sur ses conséquences sociales parmi les emplois dans les « pays un peu plus pauvres [en comparaison au Canada] » ayant des économies informelles.

D'autre part, les informants précisent qu'il devient nécessaire pour toutes les tranches d'âge de se familiariser avec les technologies. Cependant, à l'heure actuelle, plusieurs constatent qu'il est plus facile pour les jeunes de se familiariser avec celles-ci que d'autres types d'âge.

Ensuite, certains signalent que des emplois sont portés à disparaître. À cet effet, bien que le participant H partage cet avis, il accentue que le changement est très lent à se faire ce qui permet aux gens de se réorienter ailleurs. Le participant I ponctue qu'ils assistent plutôt « une réorientation des travailleurs pour travailler sur les tâches qui sont à valeur plus importante pour l'organisation ou des tâches qui sont juste plus complexes ».

Par la suite, des participants ont mentionné des enjeux liés à la performance des employés reliée aux technologies. Le participant D maintient que l'employeur ne devrait pas créer de la fatigue auprès de ses employés en demandant plus de lui parce que la productivité de l'entreprise s'est vue amplifiée par les outils technologiques. À plus forte raison, le participant E fait valoir que, dans son cas, travailler dans l'industrie technologique de l'IA qui change constamment et le fait que l'apprentissage devient continu, cela peut être « *stressful and tricky* ».

Bref, les informants partagent l'avis qu'il ne faut pas numériser seulement pour numériser, qu'il faut user de stratégie. À titre d'exemple, le participant K suggère que c'est à chaque organisation, notamment au conseil d'administration et du président-directeur général, « de prendre des décisions qui sont bonnes pour son organisation ».

IdO, Big Data et IA

Concernant les technologies de l'industrie 4.0, les participants ont répondu à la question : « *comment percevez-vous les technologies principales de l'industrie 4.0 (l'IdO, Big Data, l'IA)?* » Plusieurs ont mentionné qu'elles sont reliées entre-elles par différentes couches qui récoltent les données, analysent et apportent des capacités organisationnelles.

IdO et Dig Data

Au chapitre de l'IdO, ils font ressortir son aspect révolutionnaire, et son efficacité à recueillir les données à partir de certains types d'objets, dont les senseurs. Cependant, le participant F signale qu'il peut contribuer au traçage des gens par la géolocalisation, comme mentionné précédemment avec l'exemple de Google et Facebook. Au sujet de Big Data, les informants mettent en exergue l'utilité pour les entreprises d'entreposer une tonne de données à partir de celui-ci aux fins de prendre de meilleures décisions d'affaires, notamment par les différentes approches de l'IA dont l'AA et les systèmes de recommandation. Toutefois, le participant F mentionne qu'il existe des enjeux éthiques et de consentement à amasser une grande quantité de données « sur chaque personne ou sur chaque compagnie ou sur chaque entité ».

IA

À l'échelle de l'IA, les participants font valoir qu'elle permet aux entreprises et organisations de prendre de meilleure prise de décision, de résoudre des problèmes organisationnels et sa capacité transformationnelle des entreprises et organisations offre une meilleure qualité de vie aux humains.

« Some enabling technologies will make humans better in terms of productivity and companies, in general. Especially that were what we see now with AI is helping humans to become better on what they do, right? So, if we can offload some of the tasks that the machine is better so we can do for the humans to work together, it's not a replacement. I see this, this is a collaboration between technology and humans and that's the good aspect of that », participant C.

Cependant, le participant B se questionne sur l'utilité qu'on fait de l'IA :

« Justement, l'évolution de l'intelligence artificielle, les algorithmes, ça permet de faire des tâches à l'être humain qu'il n'était pas capable. La machine peut accomplir des tâches répétitives et ardues que l'humain ne pourrait pas faire en 15 milliards d'années de vie humaine. Mais OK, est-ce que c'est la bonne chose à faire? Est-ce que c'est ça qu'il faut faire? La leçon à tirer [des autres révolutions industrielles] c'est qu'on ne se pose pas de question, on avance la tête baissée, puis ça, ce n'est pas nécessairement positif, ce n'est pas une bonne attitude. »

D'autre part, en matière d'aspects négatifs de l'IA, certains ont mentionné les enjeux de biais techniques qui peuvent affecter certains types de personnes, dont les minorités. Au chapitre de la transformation numérique, ils stipulent qu'il est important pour les entreprises et organisations de détenir des données de qualité et exploitable pour utiliser l'IA à leur avantage tout en faisant attention aux enjeux environnementaux reliés à sa consommation d'énergie.

6.1.2 Partie 2 : Compétitivité dans la ville intelligente

Cette deuxième partie sera structurée en fonction de notre cadre conceptuel qui aborde le thème principal de compétitivité par les concepts de productivité et de diffusion de l'innovation dans la grappe industrielle en IA et dans la ville intelligente.

Productivité

Sur le plan de la productivité des organisations, au sein de la grappe industrielle en IA de Montréal, tous les informants ont mentionné qu'il y a un esprit de collaboration qui règne dans la grappe entre les acteurs, surtout à l'échelle de la recherche. Ils soulèvent des acteurs qui contribuent à la collaboration au niveau du milieu académique (Mila, IVADO, CIRRELT, GERALD, HEC Montréal, Polytechnique, l'Université de Montréal, McGill University, Concordia, ÉTS), des gouvernements (fédéral, provincial et municipal), des organismes de soutien (SCALE AI, Invest AI, CDPQ), des PME et startups (Del Analytics, Moov AI, Montréal Analytics) et de grande entreprise étrangère (Service Now).

Par la suite, certains participants mentionnent que l'esprit de collaboration sur le plan de la recherche en IA est attribuable aux efforts de Yoshua Bengio. « Je pense que ce qui rend Montréal vraiment unique, c'est la philosophie de recherche qui a été vraiment promulguée par Yoshua au tout début. C'est une philosophie de recherche qui est extrêmement collaborative », argumente le participant K. Cependant, le participant B mentionne que l'atout principal de Montréal n'est pas que l'IA, mais la « force de l'académique » de Montréal :

« Ce qui me rassure, c'est qu'on parle beaucoup d'AI, mais ce n'est pas l'AI qui anime Montréal sur la carte à priori. C'est beaucoup plus la force de l'académique en général. Comme le CIRRELT qui a 50 ans cette année, le CRM qui à 52 ans, (sic) centre de recherches mathématiques, le GÉRALD qui est quand même là depuis 84, le Mila. Ça fait une trentaine d'années que ça se prépare tout ça, puis c'est récemment qu'il y a eu un boum en *deep learning*, mais il [Yoshua Bengio] a travaillé longtemps sur les algorithmes. Là, aujourd'hui, c'est comme une galvanisation. C'est quand même une cinquantaine d'années d'efforts. IVADO, c'est la création de deux mondes, la recherche opérationnelle puis l'apprentissage profond. »

D'ailleurs, pour le participant B, les acteurs collaborent ensemble dû à l'aspect financier, car selon lui, les subventions gouvernementales sont moindres au Québec que dans le reste du Canada. Sinon, le participant F stipule que dans l'industrie de l'IA à travers le monde, les chercheurs sont portés à collaborer dans une logique de partage d'informations, et de contribuer à l'avancement de

la recherche. Ils vont favoriser des logiciels libres pour la publication de papiers de recherche accessible à tous.

Compétition

En matière de compétition dans la grappe industrielle en IA de Montréal, aucun participant ne perçoit une forte compétition entre les acteurs au chapitre de l'offre de services en IA.

« Il n'y a pas une vraie compétition entre les acteurs. Dans le fond, l'océan est bleu en ce moment. Toutes les entreprises ou presque ont besoin d'intelligence artificielle. Ils sont capables d'identifier des opportunités », participant I.

À l'exclusion que plusieurs sont d'avis qu'il y a une compétition plus forte en matière d'attraction et de rétention de talents au sein des organisations et entreprises.

Collaboration entre la grappe industrielle en IA et la Ville de Montréal

Au chapitre des initiatives de ville intelligente et la collaboration avec les acteurs de la grappe industrielle en IA de Montréal, les informants ressortent de nombreux projets IA existants tels que la collaboration d'IVADO dans le projet du Défi des villes intelligentes du Canada, de la recherche entre le CIRRELT et la Ville pour munir les camions de déneigement de capteurs afin de prévenir les accidents avec les piétons et les cyclistes, le projet des données ouvertes de la Ville, une application pour le port de Montréal qui permet d'aider les camionneurs à se synchroniser en fonction des heures de trafic et de réduire l'attente au port, l'application Info-Neige pour suivre le déneigement en temps réel, le Wifi-Public, des navettes autonomes dans la Société de transport métropolitain (STM) et un projet algorithmique entre la STM et la PME MOOV AI qui permet de prédire l'achalandage dans les métros. Le participant G cite également une collaboration effectuée entre l'académique (IVADO) et la ville qui a mené à la création d'une PME lors d'un *hackathon* et des projets innovants tels que les applications Info-Baignade pour prédire la qualité de l'eau des plages de l'île de Montréal et Info-Bris qui annonce à l'avance les bris qui risquent d'arriver dans le réseau d'aqueduc de la ville de Montréal.

Cependant, bien qu'il y ait de nombreux projets qui ont eu lieu ou en cours, certains remarquent qu'il serait préférable pour la Ville de communiquer sa vision pour inciter d'autres acteurs de la grappe en IA à collaborer à leurs projets.

« Honnêtement, je connaissais pas mal de personnes qui étaient là [à la Ville de Montréal] avant, mais j'ai l'impression que ça vraiment changé depuis deux ans. (sic) Je sais pas trop qu'est-ce qui

se passe puis c'est sur la ronde de Valérie [Plante]. (sic) Je sais pas c'est quoi la prochaine étape de la ville intelligente à Montréal. Je sais qu'il y avait cet appel à projets. Je pense pas mal de millions qui avaient été mis sur la table et la concrétisation des projets en tant que tels. (sic) J'ai aucune idée de ce que ça en dit. Puis, c'est un peu dommage », participant J.

D'ailleurs, à la question, « *dans l'objectif de créer Montréal comme la ville la plus intelligente à travers le monde, quelle place on devrait accorder autant aux gouvernements, grandes entreprises locales et étrangères, PME, laboratoires de recherche et universités, organisations à but non lucratif et communautaires et citoyens?* », plusieurs sont convaincus que les acteurs mentionnés peuvent tous contribuer aux initiatives de ville intelligente dans le but d'améliorer la qualité de vie des citoyens lorsque la vision est claire et communiquée.

« Of course, business wants to make money and to take some profit and which is fine, and they should be able to do that. On the other hand, governments should sponsor the research for universities and for some companies that want to do that. Society should get together to make decisions about what is important for them to address and having some funds and support from governments and some companies will you strive on that environment », participant C.

À cet effet, le participant A indique que la ville pourrait communiquer des objectifs clairs pour que, par exemple, la grappe s'implique dans des projets de mobilité urbaine. D'autres soutiennent que la Ville devrait améliorer son processus d'appels d'offres pour inciter les acteurs à collaborer sur des projets porteurs. D'ailleurs, le participant D mentionne que la ville doit mettre en contact les entrepreneurs par l'intermédiaire « d'organisme de proximité » tel que PME Montréal pour que « l'information remonte » et qu'ils travaillent sur des projets innovants.

« The technology advancement is at the level today in the world that I cannot think that any problem is that, you know, on a level of smart city, that we have no way to solve it. The matter of finding what the problem is, where do we want to be », participant E.

Diffusion de l'innovation

Par la suite, nous avons sondé les participants sur la diffusion de l'innovation, dont les technologies de l'industrie 4.0 telles que l'IdO, Big Data et l'IA, au sein de la société et des organisations et entreprises. Plusieurs stipulent que l'innovation est constamment en progrès.

« On cherche à faire de l'innovation, puis on cherche à aller pousser plus loin pour rendre la vie plus facile ou meilleure, mais on n'est pas conscient nécessairement à chaque fois de ce que ça va impliquer, puis de comment ce qu'on invente va être utilisé par les gens ou par la société ou par les dirigeants, etc. », participant F.

Ainsi, nous souhaitons comprendre de quelle manière les technologies innovatrices peuvent-elles contribuer à la compétitivité de la ville intelligente de Montréal. Les résultats seront montrés en fonction des réussites, échecs et pistes d'amélioration en lien avec les thèmes suivants : la disponibilité des ressources, les investissements publics et privés, le transfert de connaissances et l'avènement des travailleurs expérimentés et l'acceptabilité sociale.

Disponibilité des ressources

Sur le plan de la disponibilité des ressources des organisations et entreprises, des informants énoncent que le Québec et le Canada ont une position avantageuse en matière de technologie et d'innovation. Dans le cas des PME en IA, ils soulignent que l'entrepreneuriat fait partie d'une des forces de la grappe industrielle en IA de Montréal. Pourtant, le participant D porte à l'attention que les PME au Québec ont de la difficulté à favoriser l'innovation par manque de ressources. À la question « *croyez-vous que les entreprises et organisations sont outillées à la transformation numérique?* », certains signalent que des PME ont de la difficulté à mettre en place des systèmes et des infrastructures pour valoriser leurs données. Plusieurs insistent qu'il soit considérable que des investisseurs en capital-risque et les gouvernements d'investir financièrement auprès des PME qui constituent un visage de la grappe en IA de Montréal afin de soutenir les initiatives de ville intelligente.

Investissements publics et étrangers

Au sujet des investissements publics à l'échelle de la transformation numérique, les participants font ressortir quelques effets positifs de ceux-ci. Par le même processus que l'industrie des jeux vidéos de Montréal a reçu des subventions gouvernementales, les subventions dans la grappe industrielle de l'IA ont permis d'élaborer des programmes universitaires et d'encourager les gens à s'établir et étudier dans la ville.

« Puis, par la bande ou par la continuité des choses, quand l'*AI* a commencé à prendre plus de place, puis est arrivé de façon plus présente, mais c'est un peu cette même boucle-là (sic) où ce qu'on donne des subventions aux compagnies en technologie pour (sic) qu'il puisse être compétitives, pour (sic) qu'il puisse aller chercher des employés, etc. Mais ils ont cette responsabilité, en échange, de justement, d'avoir la communauté, de contribuer à la réputation de Montréal, puis d'aider à faire en sorte qu'on puisse grandir. Puis tout ça, ça se tient (sic) tout ensemble », participant F.

D'ailleurs, le participant I mentionne les investissements des supergrappes, Invest AI, le MEI et Prompt qui contribuent à la transformation numérique des organisations à Montréal. Toutefois, le

participant D soutient que le gouvernement doit tout de même s'impliquer de manière « responsable » et d'éviter le « microcontrôle » sur la dépense des fonds octroyés.

Autrement, le participant B soulève des échecs d'investissements publics tels que des startups en IA qui font faillite par manque de subventions des gouvernements. D'autres stipulent que l'achat d'Element AI, startup montréalaise, par Service Now, était un échec à leurs yeux parce que c'était une entreprise locale qui « n'a pas pu rester local ».

Par ailleurs, au niveau des investissements étrangers, les informants précisent que les grandes entreprises telles que Google et Meta attirent le talent et créent des emplois à Montréal. Cependant, comme les investissements publics, d'autres mentionnent qu'ils sont pertinents tant qu'ils sont capables de collaborer tout en gardant un certain contrôle et une transparence.

« (sic) Fait que si c'est fait de la manière qui est de la cocréation où ce qu'il y a un retour qui est clair, qui est transparent entre les parties et les gens qui tournent à l'entour de ces parties, si c'est fait dans un esprit qui est purement capitaliste, et (sic) j'ai rien contre le capitaliste, au contraire, où ce qu'indirectement, ce qu'on veut faire c'est une prise de contrôle puis qu'au bout de la ligne, c'est encore une fois du savoir-faire québécois qui s'en va ailleurs, ben ça, (sic) ça m'intéresse pas », participant D.

À fortiori, les participants D et F seraient plus enclins à ce que la Ville choisît des fournisseurs locaux ou même des startups pour créer des projets pour contribuer au « savoir québécois ».

Transfert de connaissances et avènement de travailleurs expérimentés

À l'échelle du transfert de connaissances dans la ville intelligente pour encourager l'innovation, les informants mettent de l'avant que le transfert technologique dans celle-ci se fait par les publications de recherche en IA, les stages en entreprise, la collaboration entre chercheurs universitaires et les entreprises, l'accent sur la formation en transformation numérique et que la ville contribue à l'attraction et la formation de talent dans l'écosystème. D'ailleurs, parmi les événements accessibles aux acteurs de la grappe en IA, quelques-uns ont mentionné le *World Summit AI* qui permet d'échanger en matière de recherche et de projets en cours dans la grappe.

Par ailleurs, comme mentionnés précédemment, les participants remarquent que l'un des défis de la grappe industrielle est de développer le talent. Le participant K cite que sur le plan du talent : « c'est plus juste de développer le talent local, mais c'est d'attirer du talent qui vient d'ailleurs pour contribuer à cette communauté-là [de l'IA] ». D'ailleurs, il maintient que la compétition de

travailleurs en IA expérimentés se veut internationale. Ainsi, il affirme que le « talent n'est plus local ». Toutefois, le participant B souligne la diversité culturelle, langagière et de « savoir-faire » de la ville qui contribue positivement à l'attraction de talents dans la grappe.

Acceptabilité sociale

Sur le plan de l'acceptabilité sociale, plusieurs informants précisent que la réputation du milieu académique universitaire et des initiatives de Yoshua Bengio ont permis d'attirer de nombreux étudiants internationaux et de former le talent présent à Montréal. Pour améliorer l'acceptabilité sociale, certains proposent d'offrir de la formation à la future main-d'œuvre par des cours de technologie au primaire et des « camps d'été » pour les jeunes, notamment les autochtones et jeunes filles. Ces initiatives s'insèrent dans le fait qu'ils remarquent que plusieurs croient que l'IA est d'ordre de la « science-fiction » ou de la « magie », ce qui ne favorise pas son utilisation.

« La manière que c'est rapporté, c'est souvent, un peu, de la magie. Je parle pour le public en général. (sic) Je parle pas pour les initiés. Mais dans les faits, avant d'arriver à un outil qui va faire de bonnes prédictions, il y a beaucoup de travail. Un nettoyage de données puis de mise en place des algorithmes. Puis s'assurer que les algorithmes rendent des résultats qui font du sens. Il y a vraiment beaucoup de travail. (sic) C'est pas de la magie, c'est vraiment du travail », participant G.

Cependant, malgré l'incompréhension et la réticence du public à utiliser l'IA, les informants mentionnent que les gens l'utilisent s'en même s'en rendre compte, par exemple, en utilisant Google Maps pour trouver le chemin le plus optimal. Bref, ils suggèrent que la ville intelligente la « démocratise » en éduquant et sensibilisant la population sur son utilisation bénéfique au sein de la société par des forums citoyens, d'organiser des rencontres entre professeurs et citoyens et de rendre les conférences en IA plus accessibles.

« Puis l'acceptabilité, pour moi, ça se résume bien à : (sic) c'est-tu bon pour moi? Ça fait de l'argent? Est-ce que ça améliore l'efficacité de ma vie? Puis, (sic) ça me donnes-tu du plaisir? Ça se résume à ces quatre questions l'acceptabilité sociale », participant B.

6.1.3 Partie 3 : Gouvernance des technologies

Dans cette troisième partie, nous détaillerons le thème de la gouvernance des technologies divisé par les concepts de gouvernance transparente et de participation à la prise de décision.

Gouvernance transparente

En matière de gouvernance transparente, près de l'entièreté des participants sont d'avis qu'il devrait avoir des réglementations faites par le provincial et le fédéral aux fins de réguler les technologies de l'industrie 4.0, dont l'IA. Ils doivent les maîtriser ou faire appel aux experts dans le domaine. Ils souhaitent que ces réglementations s'appliquent à toutes les industries. À ce sujet, plusieurs mentionnent sa pertinence en soulignant que les entreprises et organisations ont moins le réflexe de s'autoréguler dans une logique de profit. Au chapitre des infrastructures et TI, les informants indiquent que les entreprises doivent faire en sorte d'être transparentes dans les produits, services et décisions prises qu'elles déploient dans la ville intelligente. À la question : *« quelle est votre perception sur le développement éthique des technologies de l'industrie 4.0? »*, plusieurs s'attendent à ce qu'on protège les individus tout en donnant des informations pertinentes aux parties prenantes.

« Donc, c'est comment tu vas faire en sorte de protéger l'individu dans ses volontés ou pas, mais aussi de comment tu vas être capable de rendre accessible un minimum d'information pour que les entreprises, les organisations, le gouvernement puissent les aider. Puis à travers ça, comment tu fais pour avoir un processus indépendant ou éthique de surveillance puis d'arbitrage dans le cas d'abus? Parce que le problème, encore une fois, c'est que si t'es opérateur et juge en même temps (sic) ça marche pas », participant D.

D'ailleurs, tout comme les visions de ville intelligente de Montréal à travers les années, ils révèlent que l'aspect le plus important est l'humain en matière de ville intelligente.

Toutefois, à travers la réglementation des technologies de l'industrie 4.0, certains soulèvent l'importance de la Ville de Montréal d'éviter la corruption dans le système d'octroi de contrats aux compagnies qui construiront des solutions technologiques pour la Ville.

Participation à la prise de décision

En matière de prise de décision sur la gouvernance des technologies, des informants mettent en relief que le développement des technologies se veut parfois politique, et que les citoyens ont peu « de pouvoir décisionnel ». Cependant, selon les participants, à l'échelle de la grappe industrielle, certains acteurs mentionnés tels que l'innovateur en chef du Québec (Luc Sirois), le CEIMIA, IVADO et Mila entament des processus d'« accessibilité » et de « vulgarisation » pour rejoindre les citoyens. Sur le plan de ville intelligente, ils soutiennent que les gouvernements ont la responsabilité de démocratiser les technologies pour inclure tous types de personnes dans la réflexion de leur développement et de leur utilisation.

« Donc, je pense que je dirais qu'il y a une possibilité pour faire la même chose pour les villes innovantes et intelligentes. Impliquez-vous, participez, dites-nous ce que vous en pensez, ce que vous en pensez, sur quel sujet on devrait se lancer aujourd'hui? C'est quoi les irritants principaux? Donc, (sic) c'est les sondages, avoir la population accessible et ainsi de suite. Une des pistes qui pourrait intéresser à juger, de plus en plus sur Facebook, il y a des groupes : les parents de Villeray ou les citoyens du Montréal, ou des choses comme ça. Donc, finalement, chercher d'un point de vue local qui sont les gens, c'est quoi leur persona, pourquoi est-ce qu'ils ont des problèmes avec la circulation? Il y a beaucoup à faire d'un point de vue des données, il y énormément de travail. (sic) Faut avoir les équipes pour pouvoir le faire », participant J.

6.1.4 Partie 4 : Implantation de l'IA dans la ville intelligente

Dans cette partie, nous présenterons différents enjeux sociétaux de la ville intelligente et des initiatives de Montréal et la réponse de l'IA à ceux-ci.

Ville intelligente

À la question, « *que pensez-vous du concept de ville intelligente?* », au chapitre des aspects positifs, les informants déclarent qu'elle permet aux décideurs publics d'optimiser la gestion des besoins et des services à partir des données disponibles. Cette gestion se fait à travers une utilisation efficace des technologies qui se veut bénéfique envers les citoyens. Néanmoins, ils signalent des enjeux en matière de surveillance par les caméras qui sont installées dans la ville pour protéger les citoyens et prévenir le crime.

« Le problème, c'est le phénomène de Big Brother : de sentir observer. Puis tout simplement qu'il soit hacké, puis que quelqu'un se mette justement à l'utiliser pour la surveillance », participant A.

Bref, la totalité des participants sont d'avis que la ville intelligente peut contribuer à la qualité de vie des citoyens avec les TIC et les technologies de l'industrie 4.0 telles que l'IA.

« *So, things are getting more autonomous, things are working more in coordination as we synch through technology. If you think in that context with terminology, I think smart cities are (sic) kinda an example of a way bigger effort, which is making our life smarter, if you will, through technology. It's inevitable, and at the same time, it's very beneficial for us to use all the capacity that we have* », participant E.

Montréal, ville intelligente

À l'échelle de la ville intelligente de Montréal, nous avons consulté les participants sur leur vision de celle-ci, des idées de projets à mettre en place et les enjeux et solutions qu'ils proposent à la

Ville. À la question, « *selon le Smart city governments, Montréal est classée en 7^e position mondiale comme ville intelligente. Que pensez-vous de son positionnement?* », les avis sont partagés : certains sont surpris positivement, d'autres pensent qu'il est attribuable au marketing et quelques-uns ne sont pas surpris. Ceux qui remet son classement au « marketing » mentionnent que les projets ayant des impacts positifs dans la ville sont difficiles à être constatés.

« Juste le port [automatisé] de Rotterdam est 10 fois plus intelligent que la ville de Montréal. Moi, je pense que ce classement, c'est du *trendy*. C'est aussi lié à des subventions qui ont eu pour des projets, mais c'est des « *will be* ». Montréal, c'est « *will be* », participant B.

Toutefois, certains ne sont pas surpris, car ils soulèvent l'environnement technologique et les technologies développées à Montréal qui contribuent à son classement.

« *In terms of Montreal itself, I can tell you that Montreal has a lot of success in the world technology arena and AI most important in all of that. And it wouldn't surprise me at a result of all of these technologies who is local to this place and it's getting built here, and it's also attracting a lot of talents and a lot of capital and investment, it wouldn't surprise me that it is in a good position* », participant E.

Au chapitre des projets proposés pour la ville intelligente de Montréal, les informants suggèrent d'intégrer les technologies de l'industrie 4.0 aux initiatives existantes. Tout d'abord, de créer des algorithmes en matière de déneigement qui pourra servir à améliorer l'application Info-Neige. Sur le plan du transport, bâtir des feux de circulation intelligents munis de capteurs issus de l'IdO qui serviront à réduire le trafic, et d'investir davantage dans l'amélioration des services du transport en commun pour réduire le nombre de véhicules sur les routes. En ce qui concerne les services publics, c'est d'offrir des API aux compagnies pour qu'elles développent des solutions et services reliés à la circulation, aux barrages routiers, aux coupures de courant et aux fuites d'eau. Également, améliorer les services aux citoyens dans les bibliothèques et le service de ramassage des ordures. À l'échelle de l'aménagement urbain, user des technologies de l'industrie 4.0, dont l'IA pour favoriser une « gestion intelligente du stationnement » public.

Planification et stratégie et infrastructure technologique

En somme, les participants ont retenu deux enjeux organisationnels municipaux : la planification et stratégie et l'infrastructure technologique. Au sujet de l'enjeu de planification et de stratégie de la ville intelligente, certains soulèvent des lacunes qui diminuent la collaboration entre les acteurs de la grappe industrielle en IA et la Ville. Le participant B nous informe que la ville intelligente de Montréal a de la difficulté à déployer une vision « cohérente », « bénéfique », « sécuritaire » et

« agréable », car la Ville « fonctionne avec un principe de gestion de plaintes ». C'est-à-dire qu'elle privilégie ses actions et sa stratégie en fonction des plaintes recueillies par les citoyens et non en fonction des enjeux sociétaux. D'autre part, les informants déclarent que pour que les acteurs de l'IA aident à régler les enjeux, ils doivent connaître les problèmes de la ville.

« I think once the problems are out there and the needs are out there: 'we need to solve this thing. This is a very hard problem.' We have funding from governments or from research funding institutes, institutions and people come to solve that problem. So, this will bring very creative and normative people to solve some particular problems. If it's too broad, it's like: 'We need to be smart and we need to be the best city in the world,' it's too vague. We need concrete problems », participant C.

Au chapitre des enjeux d'infrastructures technologiques, des participants soutiennent que la ville a intérêt à créer des systèmes « responsables », « efficaces » et « durables » pour prévoir l'offre et mieux répondre à la demande. Ces systèmes peuvent, par exemple, user des TI et des technologies de l'industrie 4.0 tels que les jumeaux numériques en matière d'infrastructures, de mobilité et de travaux et d'utiliser le *crowdsourcing*⁴ (externalisation ouverte) pour, par exemple, détecter les nids de poule en temps réel à partir des téléphones intelligents et de réduire le trafic en ajoutant des alertes sur Google Maps. Aussi, ils suggèrent de créer des systèmes qui seront en mesure de personnaliser les données récoltées au niveau de la Ville pour mieux répondre aux services des citoyens en fonction des quartiers, arrondissements ou rues. Bref, selon eux, la principale solution est l'intégration de l'ensemble des systèmes municipaux tels que les bibliothèques, les permis de travaux de rénovation, les plaintes, les affaires et la police.

6.2 Discussion

En somme, on relève que la quatrième révolution industrielle, dont l'industrie 4.0, emprunte certains concepts de ces prédécesseurs. Les innovations technologiques souhaitent répondre à des besoins économiques (Verley, 1997), et les humains veulent continuer à posséder des biens, consommer davantage et s'adonner à des loisirs, comme observée dans la première révolution industrielle (Couture, 1986). La transformation numérique des entreprises et organisations semble être une continuation du processus d'automatisation des tâches et des opérations observées à partir

⁴ Définition de *crowdsourcing* (externalisation ouverte) : « Pratique qui consiste, pour une organisation, à [externaliser](#) une activité par l'entremise d'un site Web, en faisant appel à la créativité, à l'intelligence et au savoir-faire de la communauté des internautes pour créer du contenu, développer une idée, résoudre un problème ou réaliser un projet innovant, et ce, à moindre coût. » Office québécois de la langue française (2022). *Crowdsourcing*, Office québécois de la langue française Récupéré de https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=45436

de la troisième révolution industrielle (Martin et Julien, 2021; Xu, Xu et Li, 2018). Dans les prochaines parties, nous répondrons aux trois sous-questions de recherche.

SQ1 : Comment une grappe industrielle en IA peut-elle avantager une meilleure compétitivité de la ville intelligente?

Sachant que l'IA représentera 14 % de la production de biens mondiales et 36 % de celle en Amérique du Nord en 2030 (PricewaterhouseCoopers, 2017 : 1), la hausse de productivité des entreprises et organisations par celle-ci et par l'intermédiaire des technologies de l'industrie 4.0 est comparable aux gains de productivité de l'électricité observée dans les usines au courant de la troisième révolution industrielle, révélée par Makridakis (2017). À travers ce potentiel de productivité dans la ville intelligente, on suggère d'accorder une valeur essentielle à la numérisation, car comme mentionné par Kohler et Weisz (2016), il est primordial de numériser minimalement leurs opérations et processus pour survivre en contexte d'industrie 4.0, et d'assurer leur compétitivité.

Dans le cas de Montréal, cela s'effectue par une collaboration entre les parties prenantes de la grappe industrielle en IA (Startup Montréal, 2021) et de la ville intelligente qui favorisent la numérisation en s'inspirant du la ville intelligente de Barcelone (Bakıcı, Almirall et Wareham, 2013). Cette collaboration est effectuée dans un environnement de concurrence sain dans la mesure que la demande est en hausse et que l'offre est disponible. Cependant, par l'environnement entrepreneurial important de Montréal, on suggère de donner un rôle aux startups et PME aussi important que les trois autres acteurs mentionnés.

Ensuite, au sujet de l'innovation qui accroît la compétitivité dans la ville intelligente (Giffinger *et al.*, 2007), cela nécessite une intégration d'une grappe industrielle en IA qui contribue à une disponibilité de ressources offertes aux organisations et entreprises, des investissements publics et étrangers au sein de la recherche et dans les entreprises, au transfert de connaissance et à l'avènement de travailleurs expérimentés, comme mentionné par Porter (2000).

En premier lieu, plusieurs organisations et institutions de soutien, de financement et de transfert technologique et de recherche collaborative de la grappe industrielle en IA de Montréal contribuent à la transformation numérique des entreprises et organisations et à l'émergence de startups. Cependant, la disponibilité des ressources offertes pour les entreprises en contexte d'industrie 4.0

à Montréal ressemble au portrait de l'Allemagne qu'illustre Sommer (2015). C'est-à-dire que les gouvernements – des différents paliers (fédéraux, provinciaux et municipaux) – doivent continuer à investir des fonds publics auprès des entreprises, et surtout des PME, pour les soutenir financièrement, en matériels technologiques et en formation de la main-d'œuvre.

En deuxième lieu, comme le mentionnent Kumar et Dahiya (2017), les investissements étrangers sont nécessaires à la ville intelligente, car ils attirent le talent et forment la main-d'œuvre, ce qui contribue à l'innovation par la recherche et le savoir qui se diffusent entre les gens. Toutefois, les instances gouvernementales de la grappe industrielle en IA qui favorisent les investissements étrangers, qui occasionnent parfois l'acquisition de startups, doivent être en mesure d'assurer un contrôle des acquisitions pour éviter la perte de talent et de connaissances, comme précisent Lomazzi, Lavoie-Moore et Gélinas (2019).

En troisième lieu, en matière de partage de connaissance, le transfert technologique dans la grappe industrielle et la ville intelligente s'effectue lorsqu'on est en mesure de faciliter les stages et emplois des professionnels expérimentés en IA dans les entreprises et organisations. Montréal, reconnue à l'internationale comme ville universitaire et par sa force du milieu académique de l'IA, a facilité ceux-ci par la formation des étudiants hautement diplômés dans le domaine de l'IA et les liens entre l'académique et l'industrie. Toutefois, il est important pour la ville intelligente d'être en mesure de continuer d'attirer le talent régional et international en IA, car la main-d'œuvre locale n'arrive pas à combler les nombreux besoins organisationnels, comme le souligne Savoie Dansereau (2018). D'ailleurs, lors de la première révolution industrielle, le transfert de connaissance s'est fait, notamment à partir de travailleurs étrangers (Verley, 1997). Également, le transfert technologique s'effectue, notamment, lors de moments formels (Asheim et Isaksen, 2002), tels que des événements dont le *World AI Summit* qui a rassemblé les acteurs et les chercheurs du domaine, et le partage de publications de recherche par des plateformes de code source libre.

En quatrième lieu, sur le plan de l'acceptabilité sociale des technologies de l'industrie 4.0, le cas de Montréal figure parmi les villes de pays occidentaux qui observera sa main-d'œuvre être plus qualifiée bien que l'augmentation de l'automatisation entraîne celle-ci à se qualifier davantage, comme mentionnée par Rüßmann *et al.* (2015). On expose que la crainte des gens que les machines remplacent les emplois, dénotés par Makridakis (2017) et Reese (2018), est encore très loin de la

réalité. C'est-à-dire que les machines ne sont pas rendues à remplacer tous les emplois, notamment par les échecs de l'« hyperautomatisation », mais plutôt à en perdre quelques-uns et en créer de nouveaux. Ayant la même vision que l'United Nations Educational (2018), nous développons que la robotique intelligente qui use de l'IA doit être en mesure d'automatiser des tâches tout en allégeant la charge de travail des travailleurs pour les permettre d'avoir une meilleure qualité de vie.

Par ailleurs, la numérisation des organisations et entreprises, qui crée de nouveaux emplois, oblige la main-d'œuvre actuelle et future d'apprendre de nouvelles technologies et compétences reliées à celles-ci (Bornet, Barkin et Wirtz, 2021; United Nations Educational, 2018; World Economic Forum, 2016). Le milieu académique, les laboratoires corporatifs, les organismes de soutien et ceux qui contribuent au financement de la grappe favorisent la création d'emploi, mais aussi la formation de la main-d'œuvre qui profitent aux initiatives de ville intelligente de Montréal. Toutefois, la grappe industrielle en IA de Montréal doit continuer ses efforts de formation, car l'IA reste encore pour beaucoup de travailleurs actuels un concept mal compris.

Bref, cette compétitivité des organisations et entreprises à l'échelle de la ville intelligente de Montréal s'apparente aux concepts développés par Giffinger *et al.* (2007) : le « *Smart economy* » suggère de développer la productivité des entreprises et des organisations, l'esprit d'innovation, l'entrepreneuriat et l'intégration de la ville au niveau international. D'autre part, le concept de « *Smart people* » réfère à la qualification de la main-d'œuvre et de son affinité avec l'apprentissage qui s'apparente à l'acceptabilité sociale des technologies de l'industrie 4.0.

SQ2 : Comment une grappe industrielle en IA peut-elle impliquer ses parties prenantes dans le développement des technologies de l'industrie 4.0 de la ville intelligente?

La gouvernance des technologies de l'industrie 4.0 représente des défis reliés à la récolte et au partage des données par l'IdO, Big Data et l'IA à l'échelle de la ville intelligente, notée par Allam et Dhunny (2019), et des enjeux de discrimination des minorités par l'IA (United Nations Educational, 2018). De plus, Montréal (Bourdeau, 2021) tout comme d'autres villes intelligentes, détient l'enjeu de surveillance par les TIC et d'autres technologies (Pereira *et al.*, 2017; Townsend, 2013). Ainsi, la ville intelligente qui use de sa grappe industrielle en IA doit s'assurer de respecter et d'offrir le droit à la vie privée à ses citoyens.

Tout d'abord, au sujet de la gouvernance transparente des gouvernements, bien que l'IA et les technologies de l'industrie 4.0 s'avèrent utiles à la numérisation des entreprises et organisations, elles doivent être règlementées dans tous types de secteurs et d'industries compte tenu de ces enjeux et de leurs impacts à l'échelle de la gouvernance de la ville intelligente. C'est pourquoi, dans le cas de Montréal, les organismes de soutien de la grappe industrielle en IA, qui sont en étroite collaboration avec les gouvernements et le milieu académique excellent dans la recherche en éthique de l'IA, participent à l'élaboration de réglementations. La Charte de données numériques de Montréal dans la ville intelligente (Laboratoire d'innovation urbaine, s.d. a), la proposition de loi C-27 canadienne pour réguler l'IA (Bill c-27, 2022) et la Déclaration de Montréal IA responsable (McKelvey et MacDonald, 2019) démontrent une volonté du municipal et du fédéral d'assurer une gouvernance transparente des technologies de l'industrie 4.0 qui use de l'IA, et de leur mise en usage au sein de la société.

Toutefois, bien que la Ville de Montréal a favorisé plusieurs initiatives telles que le Wifi gratuit, les données ouvertes et les services et produits qui utilisent des technologies de l'industrie 4.0 dans le but d'assurer une meilleure qualité de vie aux citoyens, elle doit s'assurer de mettre en place des infrastructures TI qui communiquent aux différentes parties prenantes de la ville qu'elle respecte entièrement la vie privée des gens par les services et produits offerts par les contractants dans la ville intelligente, comme proposé par Johnston et Hansen (2015). D'ailleurs, pour assurer la numérisation et la pérennité des organisations et entreprises, elle doit trouver des façons de continuer à partager des données ouvertes nettoyées et exploitables de manière éthique.

D'ailleurs, en fonction de nos résultats, nous constatons que la participation à la prise de décision du développement des technologies de l'industrie 4.0 est moindre à l'échelle des citoyens. Il reste encore à produire en matière de démocratisation et de vulgarisation de l'IA, autant par les acteurs de la grappe industrielle que des décideurs publics municipaux de la ville intelligente. Ainsi, bien qu'il soit démontré que la Ville utilise de son milieu académique en IA et des différents paliers gouvernementaux dans le but de développer une IA éthique et d'assurer son adoption responsable, elle gagnerait à s'inspirer du modèle de Bakıcı, Almirall et Wareham (2013) en impliquant, au même niveau, les sociétés, les institutions académiques, les autorités gouvernementales et les résidents au sujet du développement des technologies dans la ville intelligente. Nous suggérons à la ville intelligente de Montréal de sonder les résidents par des sondages, des causeries citoyennes

et d'utiliser des médias sociaux pour être plus inclusifs dans la représentation que les gens se font des technologies et de leurs opinions. Également, nous lui proposons de favoriser la participation des citoyens aux événements de la grappe en IA, dont plusieurs chercheurs et acteurs sont présents et créer des espaces de conversations avec les chercheurs. Cela permettra aux citoyens d'échanger avec les professionnels de l'IA et de s'éduquer pour qu'ils puissent détenir un « réel » pouvoir décisionnel au sujet du développement des technologies.

SQ3 : Comment l'implantation de l'IA dans la ville intelligente peut-elle répondre à des enjeux sociétaux?

Sur le plan technologique, nous sommes d'avis que la ville intelligente intègre avant tout les TIC pour assurer une meilleure qualité de vie aux citoyens (Caragliu, Del Bo et Nijkamp, 2013), et qu'elle incorpore aussi tous types de technologies qui se rapprochent de l'informatique « intelligente » («*Smart computing* »), comme illustre Washburn *et al.* (2009). À cet effet, cette ère-ci incorpore les technologies de l'industrie 4.0, dont l'IdO et Big Data dans la ville intelligente (Lom, Pribyl et Svitek, 2016) qui use de l'IA (à l'intersection des mathématiques et de l'informatique) (Allam et Dhunny, 2019). Ainsi, la possibilité qu'une ville devienne une ville intelligente n'est pas une utopie dans la mesure que les dirigeants usent avec habiletés des technologies de l'industrie 4.0 et des TIC pour mieux comprendre les dynamiques des quartiers en temps réel et orienté vers les citoyens dans l'optique de prendre de meilleures décisions qui impacteront les services offerts, comme le souligne Allam et Dhunny (2019).

La réputation internationale de Montréal à titre de 7^e ville intelligente en 2021 (Smart city Governments, 2021) par ses différentes initiatives, et prix gagnés, dont le Défi des villes intelligentes (Infrastructure Canada, 2020) et des données ouvertes du Canada (qui rassemblent plusieurs acteurs de sa grappe en IA) favorise des initiatives de ville intelligente, comme suggérée par Tomitsch (2018), telles que le Wifi gratuit, les données ouvertes disponibles à la population, les données de transport en temps réel, etc. D'ailleurs, la ville intelligente de Montréal se positionne en offrant d'autres types de services et de solutions au niveau environnemental par des mises en usage qui veillent à la qualité de l'air et de l'eau en collaborant avec les startups et entreprises de sa grappe industrielle en IA, mais aussi de son environnement technologique en TI.

Toutefois, on suggère qu'elle planifie et communique davantage ses initiatives de ville intelligente pour inciter les acteurs de la grappe industrielle en IA de résoudre des problèmes sociaux

« concrets ». À cet égard, nous proposons qu'elle améliore ses infrastructures technologiques dans la perspective d'intégrer ses systèmes municipaux, et d'être en mesure de recueillir et traiter des données de qualité. Sachant qu'elle détient le plus grand centre universitaire en AP (Mila) et d'autres instituts et laboratoires de recherche spécialisés dans cette approche, la ville intelligente de Montréal gagnerait à utiliser le savoir des chercheurs locaux pour développer des solutions qui répondent à des enjeux sociétaux de la ville basés sur l'AP. Par exemple, d'équiper les camions de déneigement de capteurs qui sont en mesure de détecter les piétons pour assurer la sécurité des citoyens et de classer les panneaux de signalisation dans le but de réduire le trafic, comme énuméré par Goodfellow, Bengio et Courville (2016). Finalement, elle pourra profiter des technologies de l'industrie 4.0 dont l'IA pour intégrer différents services municipaux dans un portail intégré accessible à tous.

Finalement, la figure 6.2.1 présente notre cadre conceptuel final. Nos résultats de recherche nous a permis de bonifier notre cadre conceptuel initial inspiré par les études du domaine de la quatrième révolution industrielle et de l'industrie 4.0, de la ville intelligente et de la grappe industrielle en IA. Tout d'abord, nous avons défini trois acteurs importants qui doivent collaborer pour assurer une productivité des organisations et entreprises dans la ville intelligente et dans la grappe industrielle en IA : l'industrie, les universités, les gouvernements et les PME et startups. Également, elles doivent opérer dans un environnement sain, c'est-à-dire que l'offre doit être en mesure de combler la demande. Au sujet de la diffusion de l'innovation, nous ajoutons les concepts de disponibilité des ressources aux entreprises, les investissements publics et étrangers, le transfert de connaissances, l'avènement de travailleurs expérimentés et l'acceptabilité sociale des technologies de l'industrie 4.0. Pour finir, dans le thème de gouvernance des technologies, nous joignons le devoir des gouvernements d'instaurer des réglementations à l'échelle de l'IA dans tous types d'industrie. Également, nous soulignons la responsabilité des acteurs de la ville intelligente et de la grappe industrielle en IA d'éduquer la population aux enjeux de l'IA, de démocratiser son usage et de la vulgariser pour favoriser la participation de toutes les parties prenantes de la société à la prise de décision en ce qui concerne sa conception et son utilisation dans la société.

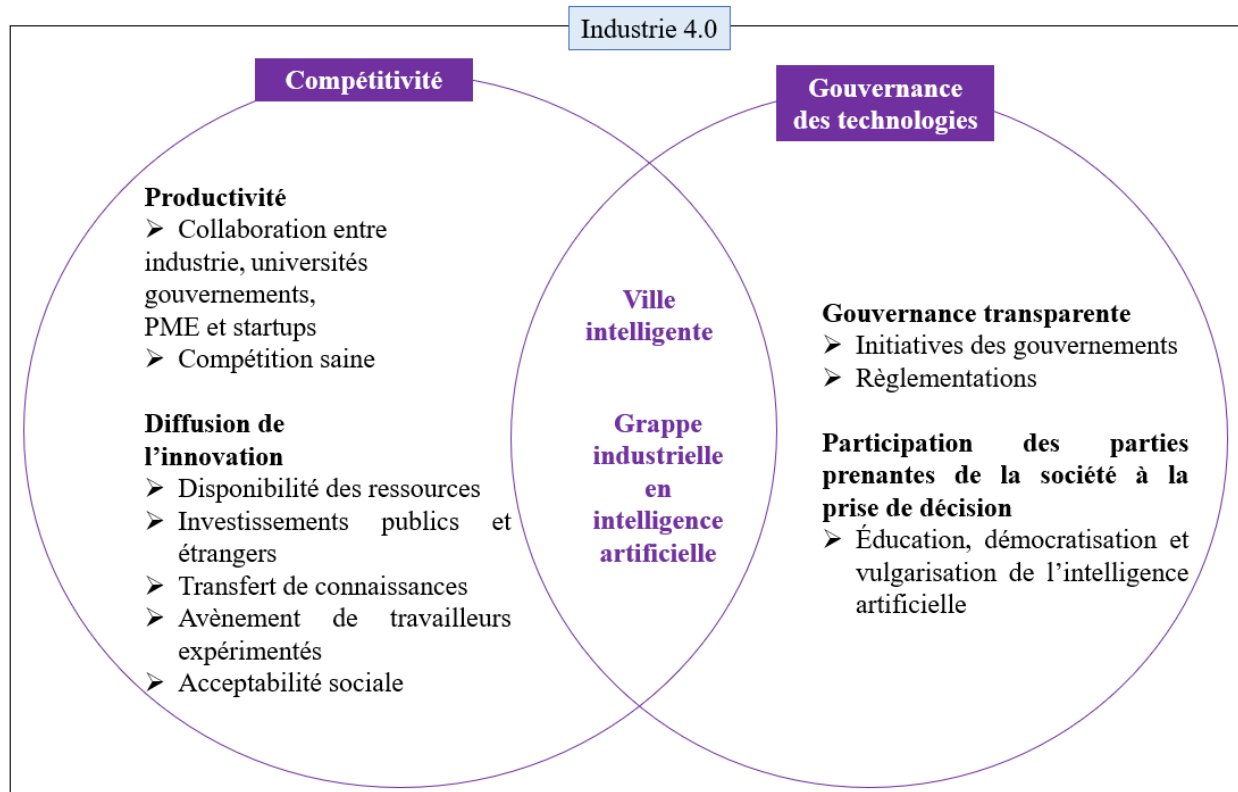


Figure 6.2.1 – Cadre conceptuel final

CHAPITRE VII

CONCLUSION

7.1. Sommaire

Pour conclure, cette recherche a mis de l'avant l'apport de la quatrième révolution industrielle dans nos sociétés. À travers l'IA, les technologies de l'industrie 4.0 dont l'IdO et Big Data suggèrent une numérisation des organisations et entreprises des sociétés occidentales dans le but d'être pérenne. Ainsi, à partir du cas de la ville intelligente de Montréal, nous pouvons répondre à la question générale de recherche : « *en contexte d'industrie 4.0, comment une ville peut-elle employer sa grappe industrielle en intelligence artificielle pour soutenir ses initiatives de ville intelligente?* » Tout d'abord, nous observons qu'une grappe industrielle en IA avantage la compétitivité d'une ville intelligente par son implication dans la numérisation des organisations et entreprises. Son apport permet une hausse de la productivité dans la ville intelligente et la diffusion de l'innovation. Cette productivité est facilitée par la collaboration entre les parties prenantes de la grappe et de la ville intelligente (Bakıcı, Almirall et Wareham, 2013) et une compétition saine entre les acteurs. Au sujet de la diffusion de l'innovation, cela passe par une disponibilité des ressources aux entreprises, des investissements publics et étrangers, le transfert de connaissances, l'avènement de travailleurs expérimentés et l'acceptabilité sociale.

Ensuite, en termes de gouvernance des technologies, une grappe industrielle en IA incite les instances gouvernementales de différents paliers à réguler et instaurer des politiques et des réglementations de façon transparente en matière de protection et sécurité des données, de sécurité, de surveillance et de contrôle de la société pour favoriser une utilisation et une adoption sécuritaire de l'IA dans la ville intelligente. Également, elle a pour objectif d'impliquer autant l'industriel, le milieu académique et les citoyens dans la prise de décision reliée à l'implantation de l'IA au sein des services et produits offerts dans la ville intelligente, comme le suggèrent Johnston et Hansen (2015).

Finalement, l'implantation de l'IA s'avère bénéfique dans le cas de Montréal, car elle contribue à différentes initiatives sociétales de la ville intelligente pour assurer une meilleure qualité de vie des citoyens. Lorsque la vision et la stratégie de la ville intelligente sont communiquées et partagées par différents types de canaux de communication aux acteurs de la grappe, ses problèmes

sont plus faciles à être résolus. Néanmoins, il est important d'assurer une bonne gouvernance de l'IA et des autres technologies de l'industrie 4.0, et de faire attention à leurs impacts sociétaux et environnementaux.

7.2 Limites de la recherche

Cette étude comporte des limites au niveau de l'échantillon sondé. Tout d'abord, notre stratégie d'échantillonnage orienté a pu mener à des biais inconscients lors de la sélection des participants. Ainsi, nous avons défini nos paramètres de sélection de participants d'inclusion à la recherche avant de choisir nos candidats pour éviter les biais de sélection.

Par ailleurs, sachant que les institutions gouvernementales au sein de la grappe industrielle en IA et de la ville intelligente sont primordiales à la conception de ces deux entités, il aurait été pertinent d'effectuer des entretiens avec des fonctionnaires de différents paliers gouvernementaux, tels que le municipal, le provincial et le fédéral dans le but de mieux consolider les faits trouvés dans les documents, et de les questionner sur l'opinion de nos participants au sujet des fonds publics injectés dans l'IA et dans les projets et services issus de la ville intelligente.

7.3 Recherches futures

Cette étude peut inspirer d'autres études des sciences de la gestion. D'une part, Kohler et Weisz (2016) signalent que les systèmes cyber-physiques sont importants dans la fabrication intelligente en contexte d'industrie 4.0. Il serait pertinent d'observer de quelle manière elles procureront aux machines une intelligence qui facilitera l'automatisation, et leurs impacts dans la ville intelligente. D'autre part, la communauté académique devrait s'intéresser au développement de l'ordinateur quantique. « [L'] ordinateur quantique, ordinateur qui utilise des qubits, ce qui lui permet d'effectuer extrêmement vite des calculs parallèles, et augmente ainsi considérablement sa puissance de calcul » (Larousse, 2022). Certains de nos participants s'entendent pour dire qu'il sera pertinent en matière de cybersécurité, et que son application au sein des industries sera comparable à l'IA. Ainsi, les recherches futures pourraient observer la façon dont l'ordinateur quantique modifiera les sociétés et les organisations et entreprises en pleine transformation numérique, et son potentiel d'assurer une protection des données.

Bibliographie

- Adat, Vipindev et B. B. Gupta (2018). « Security in internet of things: Issues, challenges, taxonomy, and architecture », *Telecommunication Systems*, vol. 67, no 3, p. 423-441.
- Akter, Shahriar, Katina Michael, Muhammad Rajib Uddin, Grace McCarthy et Mahfuzur Rahman (2020). « Transforming business using digital innovations: The application of ai, blockchain, cloud and data analytics », *Annals of Operations Research*, 33 p.
- Allam, Zaheer et Zaynah A. Dhunny (2019). « On big data, artificial intelligence and smart cities », *Cities*, vol. 89, p. 80-91.
- Allen, Robert C (2017). *The industrial revolution: A very short introduction*, vol. 509, New York, Oxford University Press, 150 p.
- Amacifuen Vilchez, Patricia (2018). *Smart cities in a globalized world, the importance of clusters and international collaboration*, [mémoire de maitrise], Montréal, HEC Montréal, 77 p.
- Anttiroiko, Ari-Veikko, Pekka Valkama et Stephen Bailey (2014). « Smart cities in the new service economy: Building platforms for smart services », *AI & Society*, vol. 29, p. 323-334.
- Asheim, Bjorn T. et Arne Isaksen (2002). « Regional innovation systems: The integration of local 'sticky' and global 'ubiquitous' knowledge », *Journal of Technology Transfer*, vol. 27, no 1, p. 77-86.
- Atzori, Luigi, Antonio Iera et Giacomo Morabito (2010). « The internet of things: A survey », *Computer Networks*, vol. 54, no 15, p. 2787-2805.
- Bakıcı, Tuba, Esteve Almirall et Jonathan Wareham (2013). « A smart city initiative: The case of Barcelona », *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 4, no 2, p. 135-148.
- Bill C-27, (2022). « Bill C-27 », *House of Commons of Canada 2022*. Récupéré de <https://www.parl.ca/DocumentViewer/en/44-1/bill/C-27/first-reading>
- Bornet, Pascal, Ian Barkin et Jochen Wirtz (2021). *Intelligent automation: Welcome to the world of hyperautomation: Learn how to harness artificial intelligence to boost business & make our world more human*, United States of America, World Scientific, 414 p.
- Bourdin, Aymeric (2013). *Le numérique, locomotive de la 3e révolution industrielle?*, Paris, Ellipses, 217 p.
- Brodsky, Jessica S (2016). « Autonomous vehicle regulation: How an uncertain legal landscape may hit the brakes on self-driving cars », *Berkeley Technology Law Journal*, vol. 31, no 2, p. 851-878.
- Brynjolfsson, Erik et ANDREW McAfee (2017). « Artificial intelligence, for real », *Harvard business review*, vol. 1, p. 1-31.
- Buer, Sven-Vegard, Jan Ola Strandhagen et Felix T. S. Chan (2018). « The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no 8, p. 2924-2940.

Caragliu, Andrea, Chiara Del Bo et Peter Nijkamp (2013). « Smart cities in Europe », dans *Smart cities*, Routledge, p. 185-207.

Cochet, François et Gérard-Marie Henry (1995). *Les révolutions industrielles: Processus historiques développements économiques*, Paris, Armand Colin, 381 p.

Couture, Claude (1986). « La conquête de 1760 et le problème de la transition au capitalisme », *Revue d'histoire de l'Amérique française*, vol. 39, no 3, p. 369-389.

Creswell, John W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, vol. 3e éd, 295 p.

Dameri, Renata Paola (2017). « The conceptual idea of smart city: University, industry, and government vision », dans *Smart city implementation*, Springer, p. 23-43.

Savoie Dansereau, Geneviève (2018). *L'analyse des conditions d'émergence et du développement des grappes industrielles; le cas de l'intelligence artificielle à Montréal*. [mémoire de maîtrise], Montréal, HEC Montréal, 127 p.

Davenport, Thomas H, Paul Barth et Randy Bean (2019). « How 'big data' is different », *Journal of Academy of Marketing Science*, 42 p.

De Vries, Jan (1994). « The industrial revolution and the industrious revolution », *The Journal of Economic History*, vol. 54, no 2, p. 249-270.

Dignum, Virginia (2018). « Ethics in artificial intelligence: Introduction to the special issue », *Ethics and Information Technology*, vol. 20, no 1, p. 1-3.

Dobson-Lohman, Elizabeth (2020). « Artificial intelligence-based decision-making algorithms, internet of things smart devices, and real-time process monitoring in sustainable industry 4.0 », *Economics, Management & Financial Markets*, vol. 15, no 2, p. 30-36.

Duan, Yanqing, John S Edwards et Yogesh K Dwivedi (2019). « Artificial intelligence for decision making in the era of big data—evolution, challenges and research agenda », *International Journal of Information Management*, vol. 48, p. 63-71.

Etzioni, Amitai et Oren Etzioni (2017). « Incorporating ethics into artificial intelligence », *The Journal of Ethics*, vol. 21, no 4, p. 403-418.

FRANCE24 (2018, 29 mars). « France - technology - France to invest €1.5 billion in artificial intelligence by 2022 », Paris.

George Sr, Michael L, Daniel K Blackwell, Michael L George Jr et Dinesh Rajan (2019). *Lean six sigma in the age of artificial intelligence: Harnessing the power of the fourth industrial revolution*, New-York, McGraw-Hill Education, 276 p.

Gershenfeld, Neil, Raffi Krikorian et Danny Cohen (2004). « The internet of things », *Scientific American*, vol. 291, no 4, p. 76-81.

Gibert, Martin (2021). *Faire la morale aux robots*, Montréal, Climats, 95 p.

Giffinger, Rudolph, Christian Fertner, Hans Kramar, Robert Kalasek, Natasa Pichler-Milanović et Evert Meijers (2007). « Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. Vienna, Austria:

Centre of regional science (srf), Vienna University of technology ». Récupéré de [www.smart-cities.eu/download/smart cities final report.pdf](http://www.smart-cities.eu/download/smart%20cities%20final%20report.pdf)

Goodfellow, Ian, Yoshua Bengio et Aaron Courville (2016). *Deep learning*, Cambridge, MIT press, 775 p.

Gouvernement du Québec (2022). Grappe industrielle, *Thesaurus*. Récupéré de <https://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=6197>

Greenwood, Jeremy (1997). « The third industrial revolution: Technology, productivity, and income inequality », no 435, p. 1-23.

Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic et Marimuthu Palaniswami (2013). « Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions », *Future generation computer systems*, vol. 29, no 7, p. 1645-1660.

Gupta, Parul, Sumedha Chauhan et M. P. Jaiswal (2019). « Classification of smart city research – a descriptive literature review and future research agenda », *Information Systems Frontiers*, vol. 21, no 3, p. 661-685.

Haenlein, Michael et Andreas Kaplan (2019). « A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence », *California management review*, vol. 61, no 4, p. 5-14.

Hammoudi, Sarra, Zibouda Aliouat et Saad Harous (2018). « Challenges and research directions for internet of things », *Telecommunication Systems*, vol. 67, no 2, p. 367-385.

Hariri, Reihaneh H., Erik M. Fredericks et Kate M. Bowers (2019). « Uncertainty in big data, analytics: Survey, opportunities, and challenges », *Journal of Big Data*, vol. 6, no 1, p. 44.

Ibrahim, Sherwat et M. Hosein Fallah (2005). « Drivers of innovation and influence of technological clusters: Emj », *Engineering Management Journal*, vol. 17, no 3, p. 33-41.

Jaume-Palasi, Lorena (2019). « Why we are failing to understand the societal impact of artificial intelligence », *Social Research*, vol. 86, no 2, p. 477-498.

Johnston, Erik W et Derek J Hansen (2015). « Design lessons for smart governance infrastructure », dans *Transforming american governance: Rebooting the public square*, Routledge, p. 209-224.

Khan, Minhaj Ahmad et Khaled Salah (2018). « Iot security: Review, blockchain solutions, and open challenges », *Future generation computer systems*, vol. 82, p. 395-411.

Koch, Volkmar, Simon Kuge, Reinhard Geissbauer et Stefan Schrauf (2014). « Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet », *Strategy & PwC*, p. 5-50.

Kohler, Dorothée et Jean-Daniel Weisz (2016). *Industrie 4.0 : Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand*, Paris, La documentation Française, 175 p.

Kong, Xiang T. R., Hao Luo, George Q. Huang et Xuan Yang (2019). « Industrial wearable system: The human-centric empowering technology in industry 4.0 », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 30, no 8, p. 2853-2869.

Kumar, TM Vinod et Bharat Dahiya (2017). « Smart economy in smart cities », dans *Smart economy in smart cities*, Springer, p. 3-76.

Larousse (2022). *Quantique*, Larousse. Récupéré de : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/quantique/65492>

Le Goix, Renaud (2005). *Villes et mondialisation: Le défi majeur du xxie siècle*, Paris, Ellipses, 175 p.

Lee, C. K. M., Yaqiong Lv, K. K. H. Ng, William Ho et K. L. Choy (2018). « Design and application of internet of things-based warehouse management system for smart logistics », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no 8, p. 2753-2768.

Lee, In et Kyoochun Lee (2015). « The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises », *Business Horizons*, vol. 58, no 4, p. 431-440.

Lindqvist, Göran, Christian Ketels et Örjan Sölvell (2013). « The cluster initiative greenbook », *Ivory Tower Publishers*, 92 p.

Lom, Michal, Ondrej Pribyl et Miroslav Svitek (2016). « Industry 4.0 as a part of smart cities », 2016 *Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, p. 1-6.

Mahmoud, Rwan, Tasneem Yousuf, Fadi Aloul et Imran Zualkernan (2015). « Internet of things (iot) security: Current status, challenges and prospective measures », *Departement of Computer Science & Engineering American University of Sharjah*, p. 1-6.

Makridakis, Spyros (2017). « The forthcoming artificial intelligence (ai) revolution: Its impact on society and firms », *Futures*, vol. 90, p. 46 – 60.

Mani, Zied et Inès Chouk (2018). « Consumer resistance to innovation in services: Challenges and barriers in the internet of things era », *Journal of Product Innovation Management*, vol. 35, no 5, p. 780-807.

Mantoux, Paul (2013). *The industrial revolution in the eighteenth century: An outline of the beginnings of the modern factory system in England*, Routledge, 552 p.

Manu, Alexander (2015). *Value creation and the internet of things*, Farhnam, Gower Applied Business Research, 233 p.

Marr, Bernard (2019). *Artificial intelligence in practice: How 50 successful companies used ai and machine learning to solve problems*, Chichester, John Wiley & Sons, 340 p.

Nathalie Julien et Martin, Eric (2021). *L'usine du futur stratégies et déploiement industrie 4.0, de l'iot aux jumeaux numériques*, vol. 2e édition, Malakoff, Dunod, 255 p.

Martin, Roger, Richard Florida, Melissa Pogue et Charlotta Mellander (2015). « Creativity, clusters and the competitive advantage of cities », *Competitiveness Review*, vol. 25, no 5, p. 482-496.

McAfee, Andrew, Erik Brynjolfsson, Thomas H Davenport, DJ Patil et Dominic Barton (2012). « Big data: The management revolution », *Harvard business review*, vol. 90, no 10, p. 60-68.

- McKelvey, Fenwick et Margaret MacDonald (2019). « Artificial intelligence policy innovations at the Canadian federal government », *Canadian Journal of Communication*, vol. 44, no 2, p. 43-50.
- Miles, Matthew B., A. M. Huberman et Jean-Jacques Bonniol (2003). *Analyse des données qualitatives*, 2e éd., Paris, De Boeck Université, 626 p.
- Moeuf, Alexandre, Robert Pellerin, Samir Lamouri, Simon Tamayo-Giraldo et Rodolphe Barbaray (2018). « The industrial management of smes in the era of industry 4.0 », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no 3, p. 1118-1136.
- Mokyr, Joel et Robert H Strotz (1998). « The second industrial revolution, 1870-1914 », *Storia dell'economia Mondiale*, vol. 21945, p. 1-16.
- Mongeau, Pierre (2008). *Réaliser son mémoire ou sa thèse: Côté jeans and côté tenue de soirée*, Québec, Presses de l'Université du Québec, 145 p.
- Mowery, David C. (2009). « Plus ça change: Industrial r&d in the “third industrial revolution” », *Industrial and Corporate Change*, vol. 18, no 1, p. 1-50.
- Nam, Taewoo et Theresa A Pardo (2011). « Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions », *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times*, p. 282-291.
- NewsWire (2017, 03/22/2017 Mar 22). « Canada funds \$125 million pan-canadian artificial intelligence strategy », Canada NewsWire.
- Nicolescu, Razvan, Michael Huth, Petar Radanliev et David De Roure (2018). « Mapping the values of iot », *Journal of Information Technology*, vol. 33, no 4, p. 345-360.
- Novak, Thomas P. et Donna L. Hoffman (2019). « Relationship journeys in the internet of things: A new framework for understanding interactions between consumers and smart objects », *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 47, no 2, p. 216-237.
- Oztemel, Ercan et Gursev Samet (2020). « Literature review of industry 4.0 and related technologies », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 31, no 1, p. 127-182.
- Park, Sang-Chul (2018). « The fourth industrial revolution and implications for innovative cluster policies », *AI & Society*, vol. 33, no 3, p. 433-445.
- Patton, Michael Quinn (1990). *Qualitative evaluation and research methods*, Newbury Park, SAGE Publications, 532 p.
- Pereira, Gabriela Viale, Marie Anne Macadar, Edimara M. Luciano et Maurício Gregianin Testa (2017). « Delivering public value through open government data initiatives in a smart city context », *Information Systems Frontiers*, vol. 19, no 2, p. 213-229.
- Peris-Ortiz, Marta, Dag R Bennett et Diana Pérez-Bustamante Yábar (2017). *Sustainable smart cities - creating spaces for technological, social and business development*, Switzerland, Springer, 224 p.
- Plumpton, Deborah (2019). « Cyber-physical systems, internet of things, and big data in industry 4.0: Digital manufacturing technologies, business process optimization, and sustainable

organizational performance », *Economics, Management & Financial Markets*, vol. 14, no 3, p. 23-29.

Porter, Michael E (1998). « Clusters and the new economics of competition », *Harvard Business Review*, no 98609, p.77-90.

Porter, Michael E. (2000). « Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy », *Economic Development Quarterly*, vol. 14, no 1, p. 15-34.

PricewaterhouseCoopers (2017). *Sizing the prize what's the real value of ai for your business and how can you capitalise?*, 27 p. Récupéré de <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>

Reese, Byron (2018). *The fourth age: Smart robots, conscious computers, and the future of humanity*, New York, Atria Books, Simon and Schuster, 320 p.

Rüßmann, Michael, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, et al. (2015). « Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries », *Boston Consulting Group*, vol. 9, no 1, p. 54-89.

Russom, Philip (2011). « Big data analytics », *TDWI best practices report*, fourth quarter, vol. 19, no 4, p. 1-34.

Schwab, Klaus (2017). *The fourth industrial revolution*, New-York, Crown Business, 184 p.

Shehabi, Arman, Sarah Smith, Dale Sartor, Richard Brown, Magnus Herrlin, Jonathan Koomey, et al. (2016). « United states data center energy usage report ». Récupéré de <https://escholarship.org/uc/item/84p772fc>

Sommer, Lutz (2015). « Industrial revolution-industry 4.0: Are german manufacturing smes the first victims of this revolution? », *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 8, no 5, p. 1512-1532.

Stake (1998). « Case studies in Strategies of qualitative », *SAGE Publications*, California, chapitre 17, p.433-466.

Tomitsch, Martin (2018). *Making cities smarter*, Berlin, JOVIS Verlag GmbH, 240 p.

Townsend, Anthony M (2013). *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*, vol. 1, New-York, WW Norton & Company, 384 p.

Turkina, Ekaterina et Ari Van Assche (2018). « Global connectedness and local innovation in industrial clusters », *Journal of International Business Studies*, vol. 49, no 6, p. 706-728.

UNESCO (2022). *Recommandation sur l'éthique de l'intelligence artificielle*, Paris, France, 45 p. Récupéré de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_fre

United Nations Educational (2018). « Intelligence artificielle: Promesses et menaces le courrier de l'Unesco », *UNESCO*, vol. 3, 70 p. Récupéré de https://unesdoc.unesco.org/notice?id=p::usmarcdef_0000265211_fre

United Nations (2020). Objectif 11 : *Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables*. Récupéré de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/cities/>

Verley, Patrick (1997). *La révolution industrielle*, Paris, Gallimard, 543 p.

Wang, Lihui, Martin Törngren et Mauro Onori (2015). « Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing », *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 37, p. 517-527.

Washburn, Doug, Usman Sindhu, Stephanie Balaouras, Rachel A Dines, Nicholas Hayes et Lauren E Nelson (2009). « Helping cities understand “smart city” initiatives », *Growth*, vol. 17, no 2, p. 1-17.

World Economic Forum (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*, World Economic Forum, 157 p. Récupéré de https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

Wu, Xindong, Xingquan Zhu, Gong-Qing Wu et Wei Ding (2013). « Data mining with big data », *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, vol. 26, no 1, p. 97-107.

Xu, Li Da, Eric L. Xu et Ling Li (2018). « Industry 4.0: State of the art and future trends », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no 8, p. 2941-2962.

Yang, Hui, Soundar Kumara, Satish T. S. Bukkapatnam et Fugee Tsung (2019). « The internet of things for smart manufacturing: A review », *IIEE Transactions*, vol. 51, no 11, p. 1190-1216.

Yao, Xifan, Jiajun Zhou, Yingzi Lin, Yun Li, Hongnian Yu et Ying Liu (2019). « Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 30, no 8, p. 2805-2817.

Yin, Robert K. (1989). « Case study research and applications: Design and methods », *SAGE Publications*, vol. 5, 166 p.

Yin, Yong, Kathryn E. Steckle et Dongni Li (2018). « The evolution of production systems from industry 2.0 through industry 4.0 », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no 1/2, p. 848-861.

Zhou, Yu et Xin Tong (2003). « An innovative region in China: Interaction between multinational corporations and local firms in a high-tech cluster in Beijing », *Economic Geography*, vol. 79, no 2, p. 129-152.

Zuboff, Shoshana (2015). « Big other: Surveillance capitalism and the prospects of an information civilization », *Journal of Information Technology*, vol. 30, no 1, p. 75-89.

Revue de presse : Étude de cas

Accenture (2021). *Stratégie & Conseil Intelligence artificielle : La stratégie pancanadienne de l'IA : Façonner l'écosystème de l'IA au Canada*, Accenture. Récupéré le 26 février 2022 de <https://www.accenture.com/ca-fr/insights/artificial-intelligence/pan-canadian-ai-strategy>

Accenture et CIFAR (2020). RAPPORT D'ÉVALUATION D'IMPACT DE LA STRATÉGIE PANCANADIENNE EN MATIÈRE D'IA. Récupéré de <https://cifar.ca/wp-content/uploads/2020/11/Rapport-devaluation-dimpact-de-la-strategie-pancanadienne-dia.pdf>

Bengio, Yoshua (13 novembre 2020). *Pourquoi l'innovation est essentielle pour notre nation* [Billet de blogue]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://canada-fr.googleblog.com/2020/11/pourquoi-linnovation-est-essentielle.html>

Bourdeau, Jean (2021, 17 septembre). *Biais raciste, surveillance, respect de la vie privée : la ville « intelligente » l'est-elle vraiment ?* [Billet de blogue]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://urbania.ca/article/biais-raciste-surveillance-respect-de-la-vie-privee-la-ville-intelligente-est-elle-vraiment>

Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal (s.d. a). *Montréal Ville intelligente et numérique*, Ville de Montréal. Récupéré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/PRT_VDM_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PRES-ENTATIONMONTREALVILLEINTELLIGENTE.PDF

Bureau de la ville intelligente et numérique de Montréal (s.d. b). *Montréal ville intelligente et numérique – Stratégie Montréalaise 2014-2017*, Ville de Montréal. Récupéré de <https://laburbain.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/strategie-montrealaise-2014-2017-ville-intelligente-et-numerique-fr-amendee.pdf>

Cabinet du ministre (2017, 15 mai). « 100 millions de dollars pour la création de la grappe québécoise en intelligence artificielle - Montréal et le Québec : pôle incontournable en intelligence artificielle », *NewsWire*, section Nouvelles. Récupéré de <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/100-millions-de-dollars-pour-la-creation-de-la-grappe-quebecoise-en-intelligence-artificielle---montreal-et-le-quebec--pole-incontournable-en-intelligence-artificielle-622314003.html>

Cayrat, C., Sigouin-Lebel, A., & Poirier St-Pierre, G. (2021). *Profil de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, science des données et mégadonnées au Québec*, TECHNOCompétences, Montréal. Récupéré de https://www.technocompetences.qc.ca/wp-content/uploads/2021/05/TC_Profil-Main-Doeuvre_Page_18052021.pdf

Chambre de commerce métropolitaine de Montréal (2018). *L'intelligence artificielle UN PILIER DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE POUR LA MÉTROPOLE*, Montréal, Chambre de commerce métropolitaine de Montréal. Récupéré de http://www.ccm.ca/~media/Files/News/2018/intelligence_artificielle_pilier_developpement_economique_pour_la_metropole.pdf

CPDQ (2017). *Real Ventures mobilise un capital de 180 \$M avec le soutien d'investisseurs nationaux et internationaux*, Caisse de placement de dépôt du Québec. Récupéré le 21 janvier 2022 de <https://www.cdpq.com/fr/actualites/communiques/real-ventures-mobilise-un-capital-de-180-m-avec-le-soutien-dinvestisseurs>

CPDQ (2019). *La Caisse bonifie son offre en intelligence artificielle*, Caisse de placement de dépôt du Québec. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://www.cdpq.com/fr/actualites/communiques/la-caisse-bonifie-son-offre-en-intelligence-artificielle>

Croteau, François William (2018, 8 novembre). *Montréal, une ville intelligente?* [Billet de blogue]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://www.linkedin.com/pulse/montr%C3%A9al-une-ville-intelligente-fran%C3%A7ois-william-croteau/>

Daoust-Braun, Sarah (2018, 31 mai). « Le Bureau de la ville intelligente change de vocation », *24 heures*, section Nouvelles. Récupéré de <https://www.24heures.ca/2018/05/31/le-bureau-de-la-ville-intelligente-change-de-vocation>

Économie et Innovation (2020). *Intelligence artificielle - Québec verse près de 24 M\$ pour soutenir la réalisation de 143 projets en intelligence artificielle*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 9 mars 2022 de <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/intelligence-artificielle-quebec-verse-pres-de-24-m-pour-soutenir-la-realisation-de-143-projets-en-intelligence-artificielle>

Espace CPDQ (2018). *Les premières startups québécoises en intelligence artificielle s'établiront chez Mila au début 2019*, Caisse de placement de dépôt du Québec. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://espacecdpq.com/fr/actualites/nouvelles/mila-et-la-caisse-annoncent-un-important-partenariat-et-la-creation-de-lespace>

Espace CPDQ (2020). *L'Espace CDPQ | Axe IA accueille 5 nouvelles entreprises à fort potentiel de croissance*, Caisse de placement de dépôt du Québec. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://espacecdpq.com/fr/actualites/nouvelles/lespace-cdpq-axe-ia-accueille-5-nouvelles-entreprises-fort-potentiel-de>

Gouvernement du Québec (2020). *Ministère des Relations internationales et de la Francophonie*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 26 février 2022 de <https://www.mrif.gouv.qc.ca/fr/salle-de-presse/communiques/18740>

Gouvernement du Canada (2021). *Traitement de l'intelligence artificielle : Analyse de la situation du Canada*, Gouvernement du Canada. Récupéré le 18 décembre 2021 de ic.gc.ca/eic/site/cipointernet-internetopic.nsf/fra/wr04780.html

Gouvernement du Québec (2022). *Inventer Développer Commercialiser SQRI², Stratégie québécoise de recherche et d'investissement en innovation 2022-2027*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 22 juillet 2022 de https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/economie/publications-adm/politique/PO_SQRI2_2022-2027_MEI.pdf?1658330226

HEC Montréal (2016). *IVADO obtient une subvention de 93,6 M\$ d'Apogée Canada*, HEC Montréal. Récupéré le 18 décembre 2021 de <https://www.hec.ca/nouvelles/2016/IVADO-obtient-subvention-93-6-millions-Apogee-Canada.html>

IA en mission sociale (2022). *IA en mission sociale 2021*, IA en mission sociale. Récupéré le 14 février 2022 de <http://iaenmissionsociale.com/>

Infrastructure Canada (2019). *Le gouvernement du Canada annonce les gagnants du Défi des villes intelligentes*, Gouvernement du Canada. Récupéré le 11 février 2022 de <https://www.canada.ca/fr/bureau-infrastructure/nouvelles/2019/05/le-gouvernement-du-canada-annonce-les-gagnants-du-defi-des-villes-intelligentes.html>

Infrastructure Canada (2020). *Défi des villes intelligentes*, Gouvernement du Canada. Récupéré le 11 février 2022 de <https://www.infrastructure.gc.ca/cities-villes/index-fra.html>

Innovation, Sciences et Développement économique du Canada (2021). *Initiative des Supergrappes d'innovation*, Gouvernement du Canada. Récupéré le 26 février 2022 de <https://www.ic.gc.ca/eic/site/093.nsf/fra/accueil>

Investir au Canada (2021). *Initiative des supergrappes d'innovation*, Gouvernement du Canada. Récupéré le 18 décembre 2021 de <https://www.investircanada.ca/programmes-et-incitatifs/initiative-des-supergrappes-dinnovation>

Investissement Québec (2019). *Intelligence artificielle Pôle Mondial*. Récupéré de https://www.investquebec.com/documents/int/publications/Brochure_IntelligenceArtificielle_web_FR.pdf

IVADO (2022). *Rapport d'activités 2021-2022*. Récupéré le 22 juillet 2022 de <https://ivado.ca/rapport-dactivites-2021-2022/>

Je choisis Montréal (2022). *Quels sont les secteurs de pointe du Grand Montréal ?*, Montréal International. Récupéré le 18 février 2022 de <https://www.jechoisismontreal.com/fr/travailler-montreal/quels-sont-les-secteurs-de-pointe-du-grand-montreal/>

Laboratoire d'innovation urbaine (s.d. a). *Quelques réalisations 2020 – Laboratoire d'innovation urbaine de Montréal*, Ville de Montréal. Récupéré de https://laburbain.montreal.ca/sites/default/files/realisations_2020_2.pdf

Laboratoire d'innovation urbaine (s.d. b). *Quelques réalisations 2021 – Laboratoire d'innovation urbaine de Montréal*, Ville de Montréal. Récupéré de https://laburbain.montreal.ca/sites/default/files/realisations_2021_4_0.pdf

Lalonde, Denis (2017, 30 septembre). « Comment Montréal doit devenir championne en intelligence artificielle », *Les Affaires*, section Dossier. Récupéré de <https://www.lesaffaires.com/dossier/ia-comment-le-quebec-prend-part-a-la-revolution/comment-montreal-doit-devenir-championne-en-intelligence-artificielle/597431>

Laperrière, Emilie (2021, 9 novembre). « L'intelligence artificielle poursuit sa lancée », *La Presse*, section Innovation. Récupéré de <https://www.lapresse.ca/affaires/portfolio/2021-11-09/innovation/l-intelligence-artificielle-poursuit-sa-lancee.php>

Laporte, Stéphane (31 décembre 2018). « Montréal, ville intelligente ? Pas encore », *La Presse+*, section Clin d'œil. Récupéré de https://plus.lapresse.ca/screens/3cf594cb-9318-4489-89ac-07ea7d9e67a8_7C_0.html

Lavoie-Moore, Myriam (2 juillet 2021). *L'intelligence artificielle contribue à la gentrification des quartiers de Montréal* [Billet de blogue]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://iris-recherche.qc.ca/blogue/logement/l-intelligence-artificielle-contribue-a-la-gentrification-des-quartiers-de-montreal/>

Lomazzi, Lisiane, Lavoie-Moore, Myriam et Gélinas, Joëlle (2019). « Financer l'intelligence artificielle, quelles retombées économiques et sociales pour le Québec ? », Institut de recherche et

d'informations socioéconomiques, Montréal. Récupéré le 26 février 2022 de https://cdn.iris-recherche.qc.ca/uploads/publication/file/Intelligence_artificielle_IRIS_WEB4.pdf

MEDTEQ+ (2021). *MEDTEQ dépasse la barre des 100 projets d'innovation en sante-finances*, MEDTEQ+. Récupéré le 14 février 2022 de <https://www.medteq.ca/medteq-depasse-la-barre-des-100-projets-dinnovation-en-sante-finances/>

Mercure, Philippe (2017, 29 septembre). « Les cerveaux tiraillés entre l'entreprise et l'université », *La Presse+*, section Intelligence artificielle. Récupéré de https://plus.lapresse.ca/screens/020325fb-f632-4e0f-99fc-c4f8806494a4_7C_0.html

Mila (2021). *Mila : Un pôle mondial d'intelligence artificielle au Québec*, Mila – Institut québécois d'intelligence artificielle. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://mila.quebec/impact/>

Ministère des Finances Canada (2021). *Budget de 2021 – Bâtir une économie de l'innovation de demain*, Gouvernement du Canada. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/nouvelles/2021/04/budget-de-2021--batir-une-economie-de-linnovation-de-demain.html>

Ministère des transports (2022). *Région métropolitaine de Montréal*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 16 février 2022 de <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/organisation/organisation-territoriale/cmm/Pages/region-metropolitaine.aspx#:~:text=La%20r%C3%A9gion%20m%C3%A9ropolitaine%20de%20Montreal%20regroupe%2082%20municipalit%C3%A9s%20r%C3%A9parties%20dans,de%20la%20population%20du%20Qu%C3%A9bec.>

Montréal en statistiques (2022). *POPULATION TOTALE ET SUPERFICIE DES ARRONDISSEMENTS DE MONTRÉAL ET DES VILLES LIÉES, AGGLOMÉRATION DE MONTRÉAL, 2021*, Ville de Montréal. Récupéré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/CARTE_POPULATION%20ET%20SUPERFICIE%202021.PDF

Montréal Invivo et Accenture (2019). *L'intelligence artificielle dans le secteur des sciences de la vie et des technologies de la santé du Québec*. Récupéré de <https://www.montreal-invivo.com/wp-content/uploads/2019/11/montreal-invivo-public-report-fr-vfinalerevissee.pdf>

O'Mile ex (2020). *Nos clients*, O'Mile ex. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://omileex.com/fr/clients>

Partenariat mondial sur l'intelligence artificielle (2022). *Le Partenariat mondial sur l'intelligence artificielle*. Récupéré le 14 février 2022 de <https://gpai.ai/fr/>

Poljicak, Vesna (2021, 22 février). « Montréal au 2e rang mondial pour sa stratégie d'attraction d'investissements étrangers », *Montréal International*, section Actualités. Récupéré de <https://www.montrealinternational.com/fr/actualites/montreal-au-2e-rang-mondial-pour-sa-strategie-dattraction-dinvestissements-etrangeers/>

Prompt (2022). *PARTENAR-IA Volet entreprise*, Prompt. Récupéré le 14 février 2022 de <https://promptinnov.com/programme/program-partenar-ia-entreprises/>

Scale AI (2020). *Plan Stratégique*. Récupéré de https://cdn.scaleai.ca/uploads/2020/05/scale-ai_plan-strategique_fr.pdf

Smart city governments (2021). *Celebrating The Leading Smart City Governments In The World* [tableau]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://www.smartcitygovt.com/202021-publication>

Startup Genome (2022). *Montréal*, Startup Genome. Récupéré le 18 février 2022 de <https://startupgenome.com/ecosystems/montreal>

Startup Montréal (2019). *Le Lexique Startup pour y voir plus clair dans l'écosystème*, Startup Montréal. Récupéré le 22 janvier 2022 de <https://www.bonjourstartupmtl.ca/lexique-startup-2019/#>

Startup Montréal (2021). *Cartographie de l'écosystème en intelligence artificielle de Montréal* [graphique]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://startupmontreal.com/notre-cartographie-de-lecosysteme-en-intelligence-artificielle-de-montreal/#>

Techaide (2022). *Se rassembler. Pour redonner.*, Technaide. Récupéré le 22 juillet 2022 de <https://www.techaidemontreal.org/fr/>

Technologies de l'information et des communications (2020). *Les investissements en intelligence artificielle*, Gouvernement du Québec. Récupéré le 18 décembre 2021 de <https://www.economie.gouv.qc.ca/fr/bibliotheques/secteurs/technologies-de-linformation-et-des-communications/intelligence-artificielle/les-investissements-en-intelligence-artificielle/>

Technoparc Montréal (2022). *Technoparc Montréal À l'avant-garde des parcs scientifiques et technologiques*, Technoparc Montréal. Récupéré le 18 février 2022 de <https://www.technoparc.com/a-propos-du-technoparc-montreal/>

Tortoise Media (2022). *The Global AI Index*, Tortoise Media. Récupéré le 18 février 2022 de <https://www.tortoisemedia.com/intelligence/global-ai/>

Tourisme Montréal (21 août 2021). *Montréal nommée meilleure ville étudiante des Amériques pour la cinquième année consécutive!* [Billet de blogue]. Récupéré le 26 février 2022 de <https://blog.mtl.org/fr/meilleure-ville-etudiante>

Université de Montréal (2018, 21 juin). « Dévoilement de la stratégie pour renforcer l'écosystème québécois en IA », *UdeM Nouvelles*, section Salle de presse. Récupéré de <https://nouvelles.umontreal.ca/article/2018/06/21/devoilement-de-la-strategie-pour-renforcer-l-ecosysteme-quebecois-en-ia/>

Université de Montréal (2018, 4 décembre). « La déclaration de Montréal sur l'intelligence artificielle est lancée », *UdeM nouvelles*, section Forum. Récupéré de <https://nouvelles.umontreal.ca/article/2018/12/04/la-declaration-de-montreal-sur-l-intelligence-artificielle-est-lancee-aujourd-hui/>

Ville de Montréal - Cabinet du maire et du comité exécutif (2014, 24 mars). « Montréal crée le Bureau de la Ville intelligente et numérique », *Newswire*, section Nouvelles. Récupéré de <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/montreal-cree-le-bureau-de-la-ville-intelligente-et-numerique-513998611.html>

Ville de Montréal (2015). *Montréal Smart City and Digital City*. Récupéré de <https://laburbain.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/plan-action-bvin-ce-6-mai-2015-eng.pdf>

Ville de Montréal (2017a). *Une collaboration qui porte fruit – Bilan mi-parcours*, Montréal. Récupéré de https://laburbain.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/bilan_mi-parcours_fev_2017.pdf

Ville de Montréal (2017b). *Les langues parlées à la maison dans les arrondissements et villes de l'agglomération de Montréal*, Ville de Montréal. Récupéré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/16_POPULATION%20ET%20D%C9MOGRAPHIE_20OCTOBRE2017_1.PDF

Ville de Montréal (2018). *PROFIL SOCIODÉMOGRAPHIQUE, Recensement 2016*, Ville de Montréal. Récupéré de : http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PROFIL_SOCIOD%C9MO_VILLE%20DE%20MONTR%C9AL%202016.PDF

Ville de Montréal (2020). *Projets du plan d'action 2015-2017 de Montréal, ville intelligente et numérique*, Ville de Montréal. Récupéré le 26 février 2022 de <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/projets-du-plan-d-action-2015-2017-de-montreal-ville-intelligente-et-numerique>

Ville de Montréal (2020, 9 septembre). *Montréal en commun Une communauté de projets d'innovation*. Récupéré de <https://laburbain.montreal.ca/montreal-en-commun> https://laburbain.montreal.ca/sites/default/files/20200911_mtl-en-commun_cahier-de-projets.pdf

Ville de Montréal (2021). *Montréal Numérique : Une démarche collective au service de la transformation de Montréal*. Récupéré de https://laburbain.montreal.ca/sites/default/files/montreal_numerique_lium.pdf

Ville de Montréal (2022a). *Montréal en statistiques*, Montréal. Récupéré le 16 février 2022 de [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67633583&_dad=portal&_schema=PORTAL#:~:text=Les%20premiers%20r%C3%A9sultats%20du%20recensement,%25%20enregistr%C3%A9e%20\(...\)](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67633583&_dad=portal&_schema=PORTAL#:~:text=Les%20premiers%20r%C3%A9sultats%20du%20recensement,%25%20enregistr%C3%A9e%20(...))

Ville de Montréal (2022b). *Population et démographie*, Montréal. Récupéré de : http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/04_POPULATION%20ET%20D%C9MOGRAPHIE_POPULATION%20PAR%20GROUPE%20D%C2GES%20EN%202021.PDF

Ville de Montréal (s.d.). *Bilan des réalisations – 2015-2017*. Récupéré de https://laburbain.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/bilan_des_realisations_bvin_2015-2017_0.pdf

World Summit AI Americas (2022). *World Summit AI Global Summit Series*, World Summit AI. Récupéré le 22 juillet 2022 de <https://americas.worldsummit.ai/>

Annexe i : Guide d'entrevue

A. Présentation du projet

Ce mémoire examine les liens existants entre une grappe industrielle en intelligence artificielle et une ville intelligente pour soutenir la compétitivité des organisations et entreprises et assurer une gouvernance responsable des technologies en contexte d'industrie 4.0.

B. Consentement

Les participants ont signé le formulaire de consentement de HEC Montréal, et nous leur avons mentionné qu'ils avaient la possibilité de se retirer à tout moment de la recherche. Également, nous avons récolté l'approbation par écrite des organisations participantes à cette recherche.

C. Questions

Questions d'ordre général

1. Quelle est votre formation?
2. Qu'est-ce qui vous a emmené à vous intéresser au domaine des technologies?

Révolutions industrielles

3. Quelle est votre opinion sur les trois dernières révolutions industrielles à l'échelle mondiale?
 - a. De quelle manière se reflètent-elles dans nos sociétés?
 - b. Quels apprentissages devrait-on retenir de celles-ci?
4. Dans un contexte de mondialisation, que pensez-vous du concept de productivité?

Quatrième révolution industrielle (industrie 4.0)

5. Comment percevez-vous la quatrième révolution industrielle (industrie 4.0)?
 - a. Est-ce que l'industrie 4.0 est similaire aux autres révolutions industrielles? Expliquez.
 - b. Quelles sont les implications de l'industrie 4.0 dans la société, les organisations et les entreprises?
6. D'après vous, quels sont les principaux défis de l'industrie 4.0?
7. Souhaitez-vous que les entreprises et organisations numérisent leurs activités et opérations? Expliquez.
 - a. Que pensez-vous des données en temps réel?
 - b. Que pensez-vous de l'extraction et l'analyse des données?
8. Croyez-vous que les entreprises et organisations sont outillées à la transformation numérique?

Technologies de l'industrie 4.0 – l'Internet des objets, Big Data, l'intelligence artificielle

9. Comment percevez-vous les technologies principales de l'industrie 4.0 (internet des objets, big data, intelligence artificielle)?
 - a. Comment percevez-vous Big Data, l'internet des objets et l'intelligence artificielle (une technologie posée à la suite de l'autre)?
 - i. De quelle manière est-elle appliquée dans la société?
 - ii. Quels sont ses défis et limites?
 - iii. Est-ce que cette technologie peut contribuer au bénéfice de tous? Expliquez.
10. Devrait-on intégrer les technologies de l'industrie 4.0 à nos sociétés? Expliquez.
11. Quelle est votre perception sur le développement éthique des technologies de l'industrie 4.0?
12. Quelle est votre perception sur l'acceptabilité sociale des technologies de l'industrie 4.0?
 - a. Selon vous, de quelle manière les différents acteurs de la société peuvent-ils contribuer à l'acceptabilité sociale des technologies de l'industrie 4.0?
13. Quels acteurs devraient s'impliquer dans le développement des technologies de l'industrie 4.0?

Ville intelligente

14. Que pensez-vous du concept de ville intelligente?
 - a. Croyez-vous que la ville intelligente puisse contribuer à une meilleure qualité de vie pour les citoyens et un environnement durable? Expliquez.
 - b. Connaissez-vous des exemples de réussites et d'échecs de ville intelligente? Si oui, lesquels.
 - c. Quels sont les avantages et inconvénients de la ville intelligente?
 - d. Considérez-vous le concept de « ville intelligente » comme une utopie?
15. Que pensez-vous de l'utilisation des technologies de l'information et de communication (TIC) dans la ville intelligente?
 - a. Connaissez-vous des exemples?

Montréal, ville intelligente

16. Selon le Smart city governments, Montréal est classée en 7^e position mondiale comme ville intelligente. Que pensez-vous de son positionnement?
 - a. Considérez-vous la ville de Montréal comme une ville intelligente? Expliquez.
 - b. Souhaitez-vous que Montréal devienne « plus intelligente »? Si oui, quelles initiatives devrait-elle prendre? Sinon, pourquoi?
17. Quelles devraient être les principales préoccupations de la ville intelligente de Montréal?
18. Dans l'objectif de créer Montréal comme la ville la plus intelligente à travers le monde, quelle place devrait-on accorder aux :
 - a. Aux gouvernements
 - b. Aux grandes entreprises locales et étrangères
 - c. Aux petites et moyennes entreprises (PME)
 - d. Aux laboratoires de recherche et universités
 - e. Aux organisations à but non lucratif et communautaires

- f. Aux citoyens

Industrie 4.0 et Montréal comme ville intelligente

19. Est-ce que la ville intelligente de Montréal devrait intégrer les technologies de l'industrie 4.0 à celle-ci ? Si oui, lesquelles et comment. Si non, expliquez.
 - a. Quels acteurs devrait-elle impliquer?
 - b. Quelles ressources devrait-elle exploiter?
 - c. Avez-vous des modèles de ville intelligente auxquels la ville de Montréal devrait s'inspirer?

Grappe en IA de Montréal

20. Que pensez-vous de la grappe en IA de Montréal?
 - a. Comment les principaux acteurs de la grappe contribuent au développement de la grappe ? (Organisations en transfert technologique dans les organisations et à la recherche collaborative, le milieu académique, les laboratoires corporatifs, les firmes d'investissements en capitaux, les hubs, les accélérateurs et incubateurs, les startups et les événements)
21. Percevez-vous de la collaboration ou de la compétition entre les acteurs?
22. Que pensez-vous des investissements publics et étrangers au sein de la grappe en IA de Montréal?
23. En vue de développer la grappe en IA de Montréal, quelle place devrait-on accorder aux :
 - a. Aux gouvernements
 - b. Aux grandes entreprises locales et étrangères
 - c. Aux petites et moyennes entreprises (PME)
 - d. Aux laboratoires de recherche et universités
 - e. Aux organisations à but non lucratif et communautaires
 - f. Aux citoyens et leaders de communauté

Industrie 4.0, Montréal comme ville intelligente et grappe en IA de Montréal

24. De quelle manière la grappe en IA de Montréal peut-elle contribuer au désir de la ville de Montréal de devenir « plus » intelligente?
 - a. Quels acteurs impliqués?
 - b. Quels enjeux de la ville intelligente la grappe devrait-elle aider?
 - c. Quelles ressources exploiter?
25. Comment favoriser l'innovation dans la ville intelligente par la grappe en l'IA de Montréal?

Annexe ii : Écosystème québécois en intelligence artificielle

	Piliers	Acteurs
1.	Laboratoires universitaires de recherche fondamentale	École de technologie supérieure (ÉTS), HEC Montréal, Institut national de la recherche scientifique (INRS), Polytechnique Montréal, Université Concordia, Université de Montréal, Université de Sherbrooke, Université Laval, Université McGill.
2.	Instituts de recherche	IVADO, Mila – Institut québécois d'intelligence artificielle, Centre for Intelligent Machines (CIM), Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM), Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (GERAD)
3.	Organismes voués au conseil et aux collaborations industrielles	Scale.ai, IVADO Labs, Calcul Québec, Calcul Canada, Forum IA Québec, Prompt, L'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique (OBVIA)
4.	Chefs de files mondiaux du numérique associés au milieu de recherche	DENSO, Ericsson, Facebook, Google, Huawei, IBM, Microsoft, Nuance, Samsung, Thales.
5.	Jeunes pousses et entreprises québécoises	Age of minds, AI Factory (Banque Nationale), Aifred Health, Algolux, Automat, Borealis AI, Corstem AI (Circle Cardiovascular Imaging), Coveo, Element AI (Service Now), Exia, Fluent.ai, Giro, Hopper, Imagia, Irosoft, Keatext, Local Logic, Maluuba (Microsoft Labs), Mnubo (Aspen Technology), Stradigi AI, Time is Life.
6.	Entreprises de service-conseil en intégration de l'IA	Accenture, AIworx, AgileDSS, Axionable, Havas, Novipro, Omnia AI (Deloitte), QuantumBlack (McKinsey Conseil), Suntaeg, Vooban.
7.	Incubateurs et accélérateurs	Centech, Creative Destruction LAB (CDL), FounderFuel, NextAI, TandemLaunch, Techstars.
8.	Fonds de capital	Investissement Québec, Banque de développement du Canada, Caisse de dépôt et placement du Québec, Real Ventures (dont les investisseurs sont Banque de développement du Canada, Caisse de dépôt et placement du Québec, HarbourVest, Investissement Québec, Tencent, Temaseak, Teralys), Good AI Capital

Source : Technologies de l'information et des communications (2022). *L'écosystème québécois en intelligence artificielle*, Ministère de l'Économie et de l'Innovation. Récupéré de : <https://www.economie.gouv.qc.ca/fr/bibliotheques/secteurs/technologies-de-linformation-et-des-communications/intelligence-artificielle/lecosysteme-quebecois-en-intelligence-artificielle/>

Annexe iii : Classement mondial du Québec en intelligence artificielle

Tableau 4.2.1.1 Classement des 10 meilleures régions leadeuses en intelligence artificielle

Rang	Pays/Indicateurs	Talent	Infra.	Env. Op.	Recherche	Develop.	Stratég. Gouv.	Commerc.	Total
1	États-Unis d'Amérique	100	94,02	66,3	100	100	70,9	100	100
2	Chine	16,3	99,7	90,6	60,8	81,3	85,9	46,1	60,19
3	Royaume-Uni	35	77,1	86,9	39,4	24,6	63,9	18	40,99
4	Canada	25,6	80,6	76,9	34,1	24,6	90,5	14,2	37,58
5	Corée du Sud	12,1	90,6	53,3	25,2	82,1	75,3	6	36,98
6	Allemagne	23,6	81,9	82,1	37	24,2	74,2	7,2	36,02
7	Québec	22,4	70,7	83,8	34,7	24	84,1	12,2	35,47
8	Israël	31,8	75,1	72,8	29,9	23,3	7,3	22,2	34,77
9	Pays-Bas	28,7	87	87,2	24,8	28,3	51,8	4,7	34,54
10	France	23,6	82,2	89,4	25,2	21,4	81,4	7,7	34,14

Source : Tortoise Media (2022). *Regional analysis of AI in Québec*, Tortoise Media. Récupéré le 9 mars 2022 de <https://www.tortoisemedia.com/intelligence/regional-analysis-of-ai-in-quebec/?fbclid=IwAR3X3rjjYXoObxpLzfz7rcNcUrV2a8bDcS2E2k76Hc-MAZVg-XkakC5Dcg>

