

PLACE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LES PROFESSIONS : ENJEUX POUR LA FORMATION COLLÉGIALE

MARS 2020



ÉQUIPE DE TRAVAIL

Groupe DDM

Chargé de projet : Bruno Del Degan, ing. f., M. Sc.
Analyste
stratégique principal : Raphael Readman, spécialiste relations industrielles, M. A.
Professionnelle
de soutien : Carolann Forgues-Imbeault, économiste, M. Sc.
Révision et édition : Florence Le Tourneux, réviseure linguistique

Ministères et organismes membres du Comité de suivi

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur
Ministère de l'Économie et de l'Innovation
Comité sectoriel de main-d'œuvre des technologies de l'information et de la communication :
Technocompétences
Intelligence Artificielle Québec

Cette étude a été réalisée à la demande du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Elle ne lie pas les ministères et organismes qui ont collaboré aux travaux. Elle ne représente ni leurs orientations, ni l'opinion des personnes interrogées et son contenu n'engage que l'auteur.



GRUPE DDM, 2020. *Place de l'intelligence artificielle dans les professions : enjeux pour la formation collégiale*. Rapport présenté au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. 30 p. + Annexe. *Référence interne : 19-1402*



TABLE DES MATIÈRES

1. MISE EN CONTEXTE	1
2. DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET DES CONCEPTS CLÉS	2
3. ÉLÉMENTS CLÉS DE LA LITTÉRATURE EN IA	4
4. ENTREVUES AUPRÈS D'ACTEURS STRATÉGIQUES DANS L'ÉCOSYSTÈME D'IA QUÉBÉCOIS.....	10
5. ENTREVUES AUPRÈS D'UTILISATEURS POTENTIELS DE L'IA AU SEIN DE DIFFÉRENTES INDUSTRIES QUÉBÉCOISES	21
6. ENQUÊTE EN LIGNE	24
7. CONSTATS ET PISTES DE RÉFLEXION.....	28
RÉFÉRENCES	29

ANNEXE

Annexe Entrevues

1. MISE EN CONTEXTE

Bien qu'il soit en usage depuis plusieurs décennies, le terme « intelligence artificielle (IA) » a acquis une grande popularité au cours des dernières années. L'intelligence artificielle est la suite logique de l'automatisation des procédés déjà bien en place dans la majorité des industries. Son développement et son utilisation sont devenus possibles grâce aux avancées technologiques rendant accessibles des machines disposant de puissances de calculs des milliers de fois supérieures à ce qui était disponible il y a de cela seulement une vingtaine d'années (Brookfield Institute, 2019).

Comme chaque moteur de révolution industrielle avant elle, l'intelligence artificielle est perçue par plusieurs organismes, syndicats, chercheurs, et autres comme une menace pour les emplois en raison de sa force de transformation. Les chercheurs les plus pessimistes mentionnent que jusqu'à 47 % des emplois existants, tout type d'emploi confondu, seront remplacés d'ici 2030 en raison du recours à l'intelligence artificielle (associé à l'automatisation) dans les entreprises (McAfee et Brynjolfsson, 2016). Ces statistiques varient toutefois d'une étude à l'autre. L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) prévoit de son côté une perte de 10 à 15 % des emplois dans les économies similaires à celles du Canada pour la même période de temps (Dubé, 2019). D'autres analyses à plus long terme (40 à 50 prochaines années) prévoient, quant à elles, un gain potentiel d'emplois suivant ces pertes à court et à moyen terme comme ce fut le cas lors des révolutions industrielles précédentes (Campan et Vallée, 2019).

Alors que certains auteurs prétendent que des catégories d'emplois disparaîtront complètement, par exemple la quasi-totalité des emplois liés au fonctionnement d'un centre d'appel (Pineau, 2017), la majorité des auteurs est d'avis que les emplois seront transformés, notamment par l'exclusion des tâches routinières, et que l'aspect humain de ceux-ci se verra davantage mis de l'avant (Dubé, 2019 ; CTIC 2020). Cette transformation sera également accompagnée par la création de plusieurs types d'emplois encore inexistants, comme tous ceux entourant la science des données et l'utilisation des données massives (*big data*), en raison de la force de transformation et de création que représente l'intelligence artificielle dans l'ensemble des industries (Deloitte, 2018b).

Bien que les avis sur le nombre d'emplois qui risquent de disparaître ou de se transformer soient partagés, il n'en demeure pas moins que l'intelligence artificielle est perçue par la majorité des experts canadiens comme la plus grande force de changement du marché de l'emploi des années à venir. Une étude pancanadienne de la Brookfield Institute, qui visait à déterminer les menaces et opportunités pour le marché de l'emploi au Canada, a révélé que dans chaque province, la tendance appelée *AI Everything*¹ (IA à tous les niveaux) transformerait davantage la composition de l'emploi que d'autres grands facteurs de changement déjà connus, comme le vieillissement de la population ou la nécessité pour les entreprises de prendre un virage vert (Brookfield Institute, 2019).

En vue de se préparer à la transformation du marché de l'emploi liée à l'intelligence artificielle, le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MEES) a octroyé un contrat pour la présente étude exploratoire, qui porte sur l'effet de l'IA sur les professions. En premier lieu, l'étude vise à définir ce qu'est l'intelligence artificielle ainsi que ses concepts clés, servant à la compréhension de son milieu. En deuxième lieu, elle dresse un portrait sommaire de l'IA au Canada et au Québec, de son intégration dans différentes

¹ Brookfield Institute définit la tendance *AI everything* d'une part comme le remplacement de certains emplois par l'IA et l'automatisation lié à une IA et d'autre part comme l'intégration de l'IA dans l'ensemble des emplois non remplacé afin de les « augmenter ».

industries de même que des professions, des compétences et des formations qui y sont liées à l'aide d'une revue de la documentation la plus à jour possible et d'une série d'entrevues dirigées auprès d'acteurs clés du milieu. L'accent est mis sur la détection des professions de niveau collégial, existantes ou pour lesquelles une demande pourrait être à prévoir dans les entreprises qui œuvrent en IA ou qui désirent adopter l'IA dans leurs pratiques d'affaires. En troisième lieu, l'étude s'appuie sur une enquête en ligne effectuée auprès de l'ensemble des entreprises répertoriées comme faisant partie de l'écosystème en IA, afin de quantifier et de qualifier leurs besoins de main-d'œuvre actuels et projetés pour les trois prochaines années. Ultiment, des pistes de réflexion seront proposées afin de déterminer les mesures à prendre en vue de favoriser le développement des compétences liées à l'intelligence artificielle au Québec.

2. DÉFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET DES CONCEPTS CLÉS

D'abord, il est important de disposer d'une définition commune et de maîtriser les concepts clés liés à l'intelligence artificielle afin d'en comprendre les nuances et les subtilités. Sans aborder le lexique complet, les principaux termes à maîtriser afin de comprendre la littérature en IA, et qui contribueront à une lecture plus claire de l'analyse des entrevues menées dans le cadre de la présente étude, sont les suivants :

Intelligence artificielle : Le comité d'orientation de la grappe québécoise en intelligence artificielle définit l'intelligence artificielle comme « des machines ou des programmes capables d'exhiber des comportements attribués à l'être humain, tels que l'apprentissage, la résolution de problèmes ou la compréhension du langage naturel » (COGIA, 2018, p. 18).

Cette interprétation s'apparente à la majorité des définitions scientifiques trouvées dans la littérature. Par exemple, Deloitte, dans son étude intitulée *L'impératif de l'IA au Canada*, définit l'IA comme : « des systèmes et des applications qui exécutent des tâches en imitant ou en potentialisant l'intelligence humaine [...]. Le terme « intelligence artificielle » est souvent utilisé pour désigner indifféremment l'IA elle-même et les technologies qui la sous-tendent ». Chaque terme défini ci-dessous est donc inclus dans l'appellation large de l'IA, puisqu'il s'agit de différentes technologies liées à celle-ci.

Apprentissage machine (*machine learning*) : L'apprentissage machine est une branche des sciences informatiques et l'une des composantes principales de l'intelligence artificielle (Burkov, 2019). Le Conseil des technologies de l'information et des communications du Canada (CTIC) définit l'apprentissage machine comme étant « l'application d'algorithmes d'IA qui donne au système la capacité d'apprendre automatiquement et de s'améliorer à partir d'exemples antérieurs sans être explicitement programmée (CTIC, 2020) ». Le terme se réfère donc à la programmation d'une machine (ordinateur) qui vise à permettre à cette dernière d'analyser des données et de tirer des conclusions sans intervention humaine. L'apprentissage machine est entre autres utilisé pour créer, détecter ou améliorer des modèles prédictifs (Deloitte, 2019). De façon très simplifiée, il consiste à programmer une machine pour qu'elle puisse apprendre par elle-même. L'apprentissage machine est la sphère d'activité liée à l'intelligence artificielle la mieux connue et la plus exploitée, tant sur le plan fondamental que pratique. L'appellation englobe également la majorité des éléments présentés ci-dessous qui sont des sous-champs de l'apprentissage machine.

Apprentissage profond (*deep learning*) : L'apprentissage profond est une sous-branche de l'apprentissage machine. L'image utilisée pour l'illustrer est celle du réseau neuronal humain, dans lequel une multitude de réseaux neuronaux communiquent simultanément lorsqu'un stimulus est présenté, afin de fournir la réponse la plus appropriée possible (Deloitte, 2019). Dans le cas de l'apprentissage profond, les données présentées à la machine n'ont pas à être structurées ou étiquetées pour arriver à produire des analyses, ce qui n'est pas le cas de l'apprentissage machine en général. En ce sens, l'apprentissage profond est considéré comme une forme plus puissante ou plus intelligente, bien qu'en réalité son utilisation soit complémentaire à l'apprentissage machine plus classique. Dans l'apprentissage profond, la quantité de données présentée est garante de la fiabilité des résultats, contrairement à l'apprentissage machine, qui peut apprendre à partir d'un plus petit ensemble de données, mais où les paramètres, l'identification et la classification des données sont plus importants.

Réseaux neuronaux : Dans le milieu de l'IA, le concept de réseaux neuronaux renvoie à un assemblage d'algorithmes complexes qui interagissent simultanément et qui sont conçus pour reconnaître des schémas (CTIC, 2020). L'appellation « réseau neuronal » est utilisée en raison de l'assemblage d'algorithmes, qui imite dans une certaine mesure la réponse simultanée de plusieurs réseaux de neurones du cerveau humain lorsqu'un stimulus est présenté afin d'arriver à la réponse la plus appropriée possible face à celui-ci.

Exploration de données (*data mining*) : L'exploration de données consiste en l'extraction de connaissances ou d'un savoir à partir de bases de données contenant un nombre d'entrées très élevé.

Apprentissage supervisé (*supervised learning*) : L'apprentissage supervisé consiste à montrer à une machine à partir d'exemples, avec des caractéristiques établies qui lui sont soumises (données annotées), à obtenir un résultat attendu. Par exemple, faire en sorte qu'une machine soit capable d'identifier un chat ou un chien en lui soumettant de nombreuses photos où l'attribut de l'animal est identifié, ainsi que les critères sur lesquels repose la décision. La machine serait alors en mesure de prédire le type d'animal, en utilisant les mêmes critères, sur de nouvelles photos où le type d'animal n'est pas identifié. Cette technique consiste à extrapoler des règles à partir de critères définis (COGIA, 2018). L'exactitude des prédictions dépendra de la qualité et de la quantité de l'entraînement reçu afin de réaliser la tâche demandée.

Apprentissage non supervisé (*unsupervised learning*) : Contrairement à l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé vise la découverte de structures sous-jacentes dans les données qui lui sont présentées sans l'intervention humaine. La machine explore des jeux de données (données non annotées) et crée ses propres catégories en fonction d'attraits communs répétitifs qu'elle identifie. L'algorithme fonctionnant par apprentissage non supervisé ne peut donc pas identifier un chat ou un cheval, mais est capable de relever que l'ensemble des photos de chats appartient à la catégorie X, si un nombre suffisant de cas lui est présenté. Celui-ci sert alors à découvrir des liens qui n'auraient pas été perceptibles autrement entre certains éléments dans des jeux de données (COGIA, 2018).

Apprentissage par renforcement (*reinforcement learning*) : L'apprentissage par renforcement renvoie principalement au concept d'un automate qui apprend par lui-même à rediriger ses actions en fonction de règles d'action définies dans un environnement fermé et d'une finalité positive ou négative à la suite des actions qu'il vient de poser. Par exemple, une petite voiture automatisée dont l'objectif est de parcourir un trajet devra recommencer toutes les fois qu'elle sort des limites de celui-ci. En apprenant chaque fois à quel endroit elle a échoué sa tâche, elle corrigerait elle-même son trajet jusqu'au moment où elle effectuerait un trajet complet. À partir de ce moment, la petite voiture serait en mesure de répéter le

même trajet appris par elle-même en se basant sur ses erreurs et sur les corrections qu'elle a apportées (COGIA, 2018).

3. ÉLÉMENTS CLÉS DE LA LITTÉRATURE EN IA

L'intelligence artificielle dans l'économie canadienne et québécoise

Les scientifiques s'accordent avec l'idée que l'IA améliorera la performance de l'ensemble des entreprises, tous secteurs d'activités confondus, mais aussi que ce sont les entreprises qui adoptent la technologie le plus tôt qui en tireront l'avantage concurrentiel le plus important (Deloitte, 2019 ; Brookfield Institute, 2019). L'application de l'intelligence artificielle ne se limitera pas qu'aux robots manufacturiers intelligents ou aux voitures qui se conduisent elles-mêmes, bien qu'il s'agisse d'une idée répandue (Beaudoin, 2017). En effet, les industries et emplois spécialisés liés aux services seront touchés par l'intégration de l'IA, afin d'améliorer le rendement de l'entreprise. Par exemple, le travail d'un adjoint ou d'une adjointe juridique est déjà en partie remplacé, dans certaines firmes avant-gardistes, par des modèles d'intelligence artificielle, qui fouillent la jurisprudence et produisent des documents légaux selon certains critères préétablis par l'avocat ou avocate. Les algorithmes d'intelligence artificielle arrivent actuellement à faire ressortir l'information utile à la cause des centaines de fois plus rapidement qu'un ou une aide-juriste dans certains cas d'usage plus simples (Pineau, 2017). Il en va de même pour la lecture de documents médicaux, tels que des imageries par résonance médicale (IRM) ou des échographies, pour lesquels les performances de certaines IA s'approchent de celles des médecins pour la détection de maladies. De façon générale, le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) estime que les emplois centrés sur le traitement ou l'analyse simple de données seront les plus affectés par l'introduction de l'intelligence artificielle (CTIC, 2020). Parmi les professions qui connaîtront le plus grand déclin en termes de nombre, une fois que l'intelligence artificielle sera pleinement intégrée dans les entreprises, le CTIC cite les techniciens comptables, les commis à la saisie de données, les adjoints administratifs et les sténographes.

En plus de son impact sur les entreprises et les emplois, l'intelligence artificielle entrainera selon plusieurs des tendances mondiales de restructuration des économies. L'un des changements les plus cités est le *reshoring*, qui représente le retour de plusieurs usines d'industries manufacturières dans leur pays d'origine (Campan et Vallée, 2019). Celles-ci, qui avaient été délocalisées pour des questions de coûts de la main-d'œuvre, seraient portées à revenir s'établir dans leur pays d'origine et à adopter l'intelligence artificielle (et l'automatisation) pour réduire leurs besoins de main-d'œuvre et être pleinement fonctionnelles. Il serait alors plus avantageux pour ces manufacturiers de disposer de leurs usines localement (là où la demande pour le produit est la plus forte) plutôt que d'importer des produits finis ou semi-finis de leurs usines à l'étranger.

Toutefois, actuellement, 51 % des gestionnaires des plus grandes entreprises canadiennes seulement estiment que l'intelligence artificielle aura un impact sur leur compagnie d'ici les prochaines années (Deloitte, 2019). Cette faible majorité s'explique entre autres par le fait que les entreprises ne perçoivent toujours pas les données comme un actif commercial, et ce, même dans les plus grandes organisations. Gagné (2019) interprète ce raisonnement des entreprises comme un manque de maturité du marché canadien pour intégrer adéquatement l'intelligence artificielle dans ses activités. Selon plusieurs experts, il est important de réaliser un travail de sensibilisation du milieu industriel sur la pertinence d'adopter cette technologie rapidement et de commencer à accumuler des données utilisables, puisque la quantité,

la qualité et la pertinence des données sont garantes des possibilités que les modèles d'IA peuvent offrir par la suite (Deloitte, 2019 ; Gagné, 2019).

Le faible engouement de l'industrie canadienne pour l'intelligence artificielle se reflète également dans la demande des entreprises canadiennes et québécoises pour des solutions axées sur l'IA. On estime qu'à ce jour, uniquement 5 % des solutions d'affaires employées par les entreprises canadiennes ont une composante d'IA (Gagné, 2019). Cette faible demande limiterait la croissance de nombreuses entreprises en démarrage et dont l'intelligence artificielle est la composante principale puisque celles-ci peinent à trouver des clients potentiels localement auxquels offrir leurs produits et services (Normand, 2019). En effet, les fournisseurs de solutions d'IA qui souhaitent se développer se trouvent forcés d'offrir leurs services à des entreprises étrangères en raison de la faible demande locale (Fugère, 2019). On estime actuellement que 90 % des entreprises qui démarrent en intelligence artificielle au Canada n'existeront plus d'ici les 5 prochaines années et que le manque de demandes de solutions d'IA provenant de l'industrie canadienne est l'une des deux raisons majeures qui expliquent ce phénomène (Gagné, 2019). Malgré une fluctuation importante, on estime à 680 le nombre d'entreprises canadiennes indépendantes dont l'IA est la composante principale du produit ou du service offert, ainsi qu'à 70 le nombre de laboratoires de recherche axés au moins en partie sur l'intelligence artificielle (Gagné, 2019).

La capacité à effectuer un transfert technologique efficace est un autre aspect remis en question en raison de la faible commercialisation de l'IA, et ce, malgré les sommes massives investies en recherche fondamentale au Canada (Deloitte, 2018). En effet, bien que le Canada possède la troisième plus grande concentration d'experts en intelligence artificielle au monde (CTIC, 2020), dont une importante partie se trouve à Montréal (Deloitte, 2018 ; COGIA, 2018), les entreprises canadiennes demeurent parmi les plus lentes à prendre le virage vers l'IA, comparativement à des pays qui ont une économie similaire (Deloitte, 2019). Plusieurs causes expliqueraient ce transfert technologique difficile, notamment les manquements en marketing et en vente ou la réticence des dirigeants et dirigeantes d'entreprises plus âgées (Deloitte, 2018). En ce qui concerne le manque de volonté des entreprises à se moderniser, le ministre du Travail, monsieur Jean Boulet, souligne qu'il est intéressant de constater que « 60 % des organisations du secteur manufacturier se considèrent actuellement à la fine pointe de la technologie, alors que le taux d'automatisation dans le domaine manufacturier au Québec n'est que de 25 % tandis qu'il est de 55 % aux États-Unis et de 75 % en Allemagne (Dion, 2020) ». Qui plus est, d'autres identifient de grandes barrières entre le milieu académique et l'industrie et souhaiteraient voir apparaître davantage de ponts entre ces deux mondes afin de favoriser le transfert des connaissances vers plus de débouchés utilisables en industrie à court et à moyen terme (Kwok, 2019).

Adaptation des travailleurs d'aujourd'hui à l'IA

La formation continue est identifiée à de nombreuses reprises dans la littérature comme étant l'élément principal qui permettrait de pallier le virage trop lent des entreprises canadiennes vers l'intelligence artificielle (Deloitte, 2018). On cible entre autres la formation pour les gestionnaires d'entreprises afin que ceux-ci soient sensibilisés à la valeur ajoutée de l'IA et aient la base nécessaire pour l'utiliser et la comprendre dans le contexte de leur propre entreprise (Deloitte, 2019). Des initiatives voient déjà le jour en ce sens au Québec. Entre autres, 23,4 millions de dollars ont été investis par le ministère de l'Emploi du Travail et de la Solidarité (MTESS) sociale sur 4 ans (2019-2023) avec comme objectif de qualifier les

professionnels, les cadres et les dirigeants dans l'adoption de technologies d'IA et de les accompagner dans ce processus².

La formation continue offerte aux employés et employées responsables des technologies de l'information (TI) dans les entreprises est également ciblée, afin que les entreprises puissent implanter adéquatement les solutions d'intelligence artificielle et en comprendre minimalement les fondements. À cet effet, une étude canadienne démontre que les entreprises du Canada investissent actuellement moins de temps dans la formation de leurs employés en lien avec l'automatisation et l'intelligence artificielle que leurs semblables de plusieurs autres pays, tels que la Chine, l'Australie ou les États-Unis (Deloitte, 2019). Le Canada se trouve donc dans une position où il investit massivement dans la recherche fondamentale et le développement de l'intelligence artificielle (600 millions de dollars uniquement en 2018 (Gagné, 2019) tout en présentant un certain retard dans son intégration des technologies de l'IA déjà développées dans l'ensemble de ses industries ainsi que dans le développement des compétences nécessaires pour l'utiliser. Finalement, puisque l'intelligence artificielle touchera l'ensemble des emplois à long terme, il sera important de disposer de formations continues applicables à l'ensemble des travailleurs afin d'accroître leur efficacité. Le CTIC donne entre autres l'exemple des agriculteurs qui devront intégrer l'IA dans leur travail afin d'optimiser le rendement de leurs terres et de leurs cultures.

Professions liées au développement de l'IA

En ce qui concerne les entreprises qui œuvrent dans le développement de modèles, de solutions ou d'application d'intelligence artificielle, la littérature identifie deux profils d'emploi clés qui seront particulièrement en demande, bien qu'un profil pluridisciplinaire semble préférable dans l'état actuel du marché de l'emploi. D'abord, le scientifique des données (*data scientist*) collecte et traite les données collectées grâce à des algorithmes ou des modèles d'IA afin d'en extraire une valeur ajoutée. Il effectue également les analyses statistiques nécessaires afin de déterminer les approches d'apprentissage machine les plus optimales pour chaque contexte. De plus, il est responsable de trouver de nouvelles solutions ou de nouvelles sources de données à partir desquelles les modèles d'IA peuvent s'alimenter (Deloitte, 2019). Le CTIC estime que la demande de scientifiques des données dans les entreprises s'est multipliée par six en moins de 3 ans (2017 à 2020). Aux États-Unis, on estime que le manque à combler de travailleurs qui ont les compétences nécessaires en « data science » sera d'au moins 150 000 travailleurs et que les universités seront en mesure de répondre au tiers de la demande seulement d'ici les prochaines années (Granville, 2020). Le professionnel de l'informatique, dont la dénomination varie grandement selon la littérature consultée (ingénieur en intelligence artificielle, ingénieur en machine learning, spécialiste IA, etc.), est le second profil d'emploi clé. Dans la littérature québécoise, et selon les intervenants consultés, la dénomination la plus courante est développeur *full-stack*, logiciel, informatique, en intelligence artificielle, etc., et son rôle dans l'équipe consiste principalement à programmer le modèle conçu par le scientifique des données et le rendre exécutable et déployable à grande échelle dans des environnements précis (Longour, 2018). Contrairement au scientifique des données, le développeur n'a pas à comprendre toutes les subtilités mathématiques des modèles, mais ses compétences de programmation doivent être supérieures à celles du scientifique des données afin d'être en mesure d'adapter les modèles à des environnements technologiques et d'affaires variés (Deloitte, 2019). Le CTIC évalue que le profil de développeur (ingénieur en apprentissage machine) est dix fois plus recherché aujourd'hui qu'il ne l'était il y a 3 ans (CTIC, 2020). À travers ces deux professions clés, des compétences en commercialisation semblent également être requises pour détecter les possibilités où l'IA génère le plus de valeur ajoutée et

² Cette somme a été accordée à l'organisme Scale.AI pour qu'il développe et octroie des formations pour gestionnaires et cadres

éviter de développer des modèles très performants, mais qui ne trouveraient pas d'utilité à valeur ajoutée intéressante pour le marché (Deloitte, 2018b). Ces compétences liées à la commercialisation deviendront particulièrement importantes lorsque l'IA sera davantage démocratisée et que l'accent sera mis sur la détection des opportunités applicatives qui dégagent les plus grandes valeurs ajoutées à partir de modèles existants. La formation universitaire est requise pour les deux emplois clés liés au développement de l'intelligence artificielle à l'heure actuelle. Dans le cas du scientifique des données, on estime que le BAC+4³, avec une concentration de mathématiques appliquées et de statistiques, est la formation minimale nécessaire (Merle, 2019). Dans le cas du développeur, un baccalauréat d'une durée similaire avec une forte composante de programmation semble actuellement le minimum requis. C'est d'ailleurs sur ces formations universitaires que compte la *Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle* afin de développer une main-d'œuvre compétitive en intelligence artificielle. Il est toutefois nécessaire de réitérer que l'état embryonnaire du marché de l'emploi en IA amène de multiples zones floues quant aux distinctions des différents emplois qui y sont liés. Les rôles et responsabilités de chacun des professionnels sont grandement susceptibles de varier pour une même dénomination d'emploi, tout comme des tâches très similaires peuvent être attribuées à des travailleurs qui ont une dénomination d'emploi différente.

Transformation des emplois pour l'utilisation de l'IA

L'arrivée de l'intelligence artificielle dans les entreprises aura pour conséquence de remplacer ou transformer différentes professions à forte composante répétitive et, pour d'autres à forte composante créative ou humaine, d'accentuer la demande. Des recherches indiquent que 65 % des emplois qu'occuperont les enfants actuellement d'âge préscolaire n'existent pas encore, du moins pas sous la forme dans laquelle ces emplois se pratiqueront d'ici 20 ans (Dubé, 2019). De plus, la littérature mentionne que parmi les nouveaux types d'emplois qui seront créés ce sont davantage des emplois transformés et de niveau universitaire que des emplois de niveau collégial qui seront à pourvoir.

Outre les deux profils d'emploi clés mentionnés précédemment, plusieurs emplois adaptés à l'application de l'intelligence artificielle ressortent dans la littérature comme étant primordiaux pour le Canada. Parmi ceux-ci, les études mentionnent l'analyste des données médicales (*medical data analyst*), une spécialité du profil d'analyste des données (Deloitte, 2019). Un autre exemple d'importance donné pour les régions de l'Ouest canadien est celui d'analyste des données pétrolières (*data petroleum analyst*) (Brookfield Institute, 2019). De façon générale, ce sont les professions des données (*data scientist, data officer, data protection officier, data manager, data miner, data specialist, etc.*), associées à une formation universitaire de 3 à 5 ans, qui, en termes de besoins de main-d'œuvre créés par l'intelligence artificielle, seront les plus en demande (Merle, 2019). De plus, des spécialités liées aux profils d'emploi en données appliquées deviendront nécessaires à certaines sphères d'activité. On pense notamment au scientifique des données des réseaux sociaux qui sera une spécialisation d'avenir pour les sciences des données (Granville, 2020). La fine compréhension de la nature des données permet entre autres de réduire les risques d'introduction de biais lors de l'utilisation d'algorithmes ou lors de l'analyse des résultats de ceux-ci.

La création et la transformation des emplois entraîneront une mise à jour des compétences à développer, et ce, tant pour les travailleurs déjà à l'emploi que pour les travailleurs de demain. On estime qu'actuellement, une compétence développée en lien avec les technologies de l'information devient désuète 5 ans après son acquisition (Deloitte, 2018b). Afin d'adapter la manière d'aborder la formation

³ Le BAC+4 est l'équivalent d'un baccalauréat de 120 crédits ou d'un BAC de 90 crédits avec un Diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS) par la suite

lors de l'intégration de l'intelligence artificielle, la littérature fait ressortir l'importance de développer de nouveaux types de compétences relatives au savoir-être, comme la collaboration, l'adaptation et, surtout, la capacité à se former et maintenir ses compétences à jour tout au long de sa carrière (Deloitte, 2018b). Dans son étude, le CTIC identifie plusieurs sphères de compétences qui seront complémentaires à l'intelligence artificielle et qui prendront de l'importance, notamment : l'originalité, la gestion avancée, la vente et le marketing, la pensée critique, l'apprentissage souple, la perception sociale, etc. (CTIC, 2020. Liste complète).

Adaptation à l'arrivée de l'intelligence artificielle dans d'autres pays

Finlande

Afin de mieux répondre aux défis liés à la maîtrise des nouvelles technologies, certains pays, comme la Finlande, songent à changer leur législation, de même qu'à financer et rendre obligatoire la formation continue à vie pour tous (ministère des Affaires économiques et de l'Emploi de la Finlande, 2018). Ce modèle s'apparente à celui mis en place dans certaines professions au Québec, où le renouvellement d'adhésion à un ordre professionnel nécessite un certain nombre d'heures de formation continue. La Finlande valorise également la maîtrise de l'utilisation des interfaces numériques (systèmes d'exploitation, applications, etc.), qui sont le pont entre l'intelligence artificielle et l'humain, dans l'ensemble de ses programmes de niveau technique et professionnel. De manière transversale, l'objectif d'une intégration des technologies est de permettre à l'ensemble des travailleurs de développer la faculté de cohabiter et partager leur travail avec une intelligence artificielle (ou un automate), de la même manière qu'un ensemble de travailleurs qui a la capacité d'interagir avec l'interface Windows, sans pour autant en comprendre la moindre programmation sous-jacente. En complément, la Finlande souhaite encourager et financer l'ensemble des programmes de niveau universitaire liés au développement et à la gestion d'intelligence artificielle.

États-Unis

Pour répondre aux enjeux liés à l'intelligence artificielle, les États-Unis suivent trois grandes idées. Premièrement, ils misent sur l'investissement public pour soutenir les entreprises dans l'adoption de l'IA afin de stimuler la demande interne. Deuxièmement, ils souhaitent revoir l'ensemble des formations, à partir de l'école primaire, afin d'inclure davantage l'utilisation des technologies de l'information, dont l'intelligence artificielle. Finalement, ils désirent offrir des formations « requalifiantes » accessibles aux travailleurs actifs et aux chercheurs d'emploi afin de les outiller dans la compréhension et l'utilisation des technologies actuellement mises en place dans les entreprises (Gouvernement des États-Unis, 2016).

La politique américaine vise également à agrandir le bassin de main-d'œuvre disponible de deux grandes catégories d'emploi dans les prochaines années. Les chercheurs en intelligence artificielle, qui ont pour objectif de faire avancer la recherche fondamentale en intelligence artificielle, représentent la première grande catégorie. La ligne directrice est celle d'accroître le bassin des doctorants ou post-doctorants qui ont des parcours relevant de l'informatique, des mathématiques, des statistiques et de la science des données. La deuxième grande catégorie est celle des spécialistes de l'IA, désignés ci-haut par le titre de développeurs. Généralement bacheliers en génie informatique ou logiciel, leur rôle principal est d'aider à programmer, d'entraîner et de raffiner les méthodes applicatives spécifiques à chaque sphère d'activité. Cette profession peut également être occupée par des titulaires de formations universitaires spécifiques à une sphère d'activité où l'intelligence artificielle est en cours d'application (gouvernement des États-Unis, 2016). Le besoin de main-d'œuvre des deux catégories d'emploi combinées est estimé à environ

144 000 travailleurs, alors qu'uniquement 26 000 personnes ayant ce profil seraient disponibles (2017). Une veille des entreprises américaines en intelligence artificielle souligne que l'une des stratégies pour pallier ce manque de main-d'œuvre disponible serait actuellement d'engager des bacheliers d'autres disciplines qui présentent de fortes aptitudes en programmation et de leur offrir une formation en entreprise sur l'apprentissage machine, les mathématiques et les statistiques de 6 à 12 mois afin de les rendre opérationnels (Kwok, 2019).

Faits saillants de la revue de la littérature

- 1) Les formations universitaires de haut niveau sont celles privilégiées, pour être apte à travailler dans le développement de l'intelligence artificielle et répondre aux besoins de main-d'œuvre de l'industrie ;
- 2) La requalification des travailleurs actuels est prioritaire, pour préparer ces derniers à l'arrivée de l'intelligence artificielle et qu'ils apprennent à cohabiter avec elle ou à l'utiliser ;
- 3) Des efforts doivent être déployés pour sensibiliser et accompagner les gestionnaires d'entreprises dans l'adoption de l'intelligence artificielle afin de rattraper le retard du Québec et du Canada dans le virage 4.0 ;
- 4) Les métiers de la donnée, actuellement associés à des formations universitaires de 120 crédits ou plus, sont ceux pour lesquels la demande accrue est la plus probable dans les années à venir ;
- 5) La littérature ne fait nulle mention de techniciens en intelligence artificielle ou d'un quelconque profil de niveau collégial pouvant s'y apparenter ;
- 6) Les deux angles principaux d'intervention qui ressortent des comparaisons internationales sont :
 - a) Favoriser l'adoption de l'IA dans l'ensemble des industries par différentes mesures, dont la sensibilisation et la formation des cadres ou gestionnaires
 - b) Offrir la formation continue nécessaire afin d'adapter les compétences des travailleurs actuels à l'utilisation et au partage de leurs tâches avec l'IA.

4. ENTREVUES AUPRÈS D'ACTEURS STRATÉGIQUES DANS L'ÉCOSYSTÈME D'IA QUÉBÉCOIS

Note méthodologique

À la suite de la revue de la littérature, l'une des sources d'information privilégiées pour la présente étude est la tenue d'entrevues de longue durée (une heure ou plus) avec des acteurs stratégiques de l'écosystème d'intelligence artificielle québécois. L'objectif de mener des entrevues est de mieux connaître l'ensemble des professions liées à l'IA et les qualifications recherchées pour les exercer ainsi que de quantifier les besoins de main-d'œuvre anticipés pour les organisations dans l'écosystème d'IA. L'avenir des organisations et des entreprises en intelligence artificielle, au sens large, a également été abordé afin de connaître le point de vue des acteurs impliqués dans le développement de l'IA sur les actions qui faciliteraient son adoption au Québec.

L'idée de créer une nouvelle technique en intelligence artificielle a également été évoquée à plusieurs moments clés durant les entrevues afin d'en évaluer la pertinence et de conclure l'étude avec des pistes de réflexion au regard de la demande de plusieurs cégeps qui souhaitent créer un nouveau programme d'études. C'est donc à cette fin que des acteurs stratégiques du milieu académique, des laboratoires publics et privés, des petites et grandes entreprises ainsi que d'entreprises en démarrage ont été contactés. La présente section fait état des discussions qui ont eu lieu avec les 18 acteurs stratégiques clés qui ont accepté de collaborer avec le Groupe DDM dans le cadre de cette étude. Bien qu'aucun chiffre exact n'existe, il est estimé que les diverses organisations qui ont participé à ce processus rassemblent au moins 85 % des travailleurs en IA dans la province⁴. Le questionnaire qui a servi de ligne directrice aux entrevues se trouve en annexe.

Professions liées à l'intelligence artificielle

À la suite des formalités et de l'introduction servant à expliquer l'objectif de l'étude et le contexte dans lequel travaillent les acteurs consultés, l'entrevue s'est rapidement dirigée vers la composition de la main-d'œuvre des différentes organisations consultées. Les acteurs ont identifié deux grands groupes de professions liées à l'intelligence artificielle toujours présents ainsi que deux autres groupes parfois présents, dépendamment du contexte et des objectifs poursuivis par l'organisation.

Le premier grand groupe, dont chacun des acteurs a fait mention, est celui des scientifiques des données (*data scientist*). Bien que ce groupe ne représente pas actuellement la majorité des employés associés à l'intelligence artificielle, il semble que le *data scientist* soit le travailleur clé autour duquel gravite le reste de l'équipe. Il possède d'ordinaire des études de 2^e ou 3^e cycle universitaire. Ses tâches sont similaires à celles décrites dans la revue de la littérature, soit des tâches centrées sur des processus de création de bases de données, de traitement de celles-ci et surtout d'identification et d'extraction de la valeur ajoutée à l'intérieur de ces bases de données. Les acteurs consultés mentionnent aussi fréquemment que ce rôle

⁴ Cette estimation s'appuie sur l'évaluation faite par les différents acteurs consultés du nombre de personnes travaillant directement en IA. Cette estimation variait entre 1 200 et 1 700 personnes, selon les acteurs consultés. Il est à noter qu'il est ici question des personnes travaillant directement en IA dans les organisations et non de la somme des employés des organisations en IA.

comporte une part de travail de vulgarisation et de visualisation des données afin de les rendre compréhensibles pour tous.

Le deuxième grand groupe est, quant à lui, composé de ceux que l'on désignait plus tôt comme les développeurs. Ceux-ci représentent la majorité de la force de travail en intelligence artificielle et ont souvent un parcours académique qui inclut l'informatique, le génie informatique ou le génie logiciel. La majorité des acteurs consultés mentionnent que les développeurs ont habituellement minimalement un baccalauréat de 120 crédits avec une forte composante de programmation. Quelques entreprises consultées mentionnent toutefois que ce poste peut aussi être occupé par des personnes ayant des profils plus variés, qui permettent d'allier mathématiques et programmation dans d'autres branches des études supérieures. Les développeurs sont principalement responsables de développer, construire, tester et gérer des architectures logicielles permettant le déploiement des algorithmes.

À ces deux groupes de base s'ajoutent parfois ceux que les intervenants appellent les scientifiques ou les chercheurs en apprentissage machine. Ceux-ci ont, la plupart du temps, des études postdoctorales en apprentissage machine et contribuent à la recherche fondamentale par l'intermédiaire de leurs activités dans les organisations. La profession de scientifique en apprentissage machine se trouve principalement dans les laboratoires de recherche publics ou privés visant à faire avancer la recherche fondamentale, mais semblent moins présents dans les organisations de type PME ou start-up, qui tentent plutôt d'appliquer des modèles d'intelligence artificielle à des situations d'affaires données afin d'en dégager une valeur ajoutée.

Dans les organisations axées sur l'application et le développement d'un produit à partir de modèles qu'elles n'ont pas elles-mêmes développés, il existe parfois un quatrième groupe spécifique au produit vers lequel s'oriente l'entreprise en IA appelé les « experts du domaine (*domain-knowledge expert*). Il s'agit d'un groupe d'employés qui comprend la nature exacte des données afin de s'assurer que les modèles sont correctement entraînés et que les réponses trouvées sont réellement pertinentes et spécifiques à l'industrie. À cet effet, l'exemple des médecins est celui qui revient le plus souvent. Les entreprises qui tentent de développer des modèles servant à détecter des maladies à partir d'imageries médicales ont constamment besoin d'un bassin de médecins spécialistes qui comprennent la nature des données fournies à l'algorithme et qui sont en mesure d'interpréter ou de valider les résultats produits par le modèle lors de son entraînement. Selon certains acteurs, plus l'adoption de la technologie se fera dans l'ensemble des industries, plus ce type de travailleurs spécifiques capables de comprendre la nature des données et de les annoter correctement prendra de l'importance dans les organisations. Conformément à ce qui a été identifié dans la revue de la littérature, les acteurs ciblent alors un besoin pour des formations spécifiques à chaque industrie (médecine, ingénierie, biologie, etc.) avec un profil enrichi en connaissance sur les sciences des données afin de répondre à ce type de besoin.

Dans l'ensemble des organisations consultées, aucun technicien n'occupe de poste en lien avec le développement de l'intelligence artificielle. Dans certaines organisations, les techniciens à l'emploi occupent des postes en soutien informatique ou encore en programmation d'interfaces (application, interface web, etc.), mais aucun n'est appelé à contribuer au développement d'un produit ou d'un service d'IA. Qui plus est, la demande de techniciens informatiques pour gérer les infrastructures matérielles ne sera probablement pas portée à augmenter avec l'intégration de l'IA. Certaines solutions basées sur l'intelligence artificielle remplacent déjà la majorité des tâches techniques liées à l'utilisation la plus efficiente possible des infrastructures physiques et de leurs puissances de calcul (Morin, 2020).

Compétences clés pour l'intelligence artificielle

Qu'importe l'emploi ou le niveau de formation, certaines sphères de compétences, savoir-faire, champs académiques ressortent comme étant essentielles au travail dans le secteur de l'intelligence artificielle.

Les acteurs consultés s'accordent pour dire qu'il existe deux grandes sphères académiques qui alimentent le développement des compétences nécessaires au milieu de l'IA. La première grande sphère académique relève des savoirs informatiques et, plus spécifiquement, la branche de l'apprentissage machine. Elle comprend les compétences liées à la maîtrise du langage de programmation *Python*, qui est le premier incontournable mentionné par l'ensemble des acteurs. Ce langage possède la plus grande palette d'outils pour créer et utiliser diverses fonctions utilisant l'intelligence artificielle. Il est suivi de très loin par le langage C++, puis par le plus récent langage de programmation *Golang*⁵, qui est en forte expansion et qui sera appelé à remplacer le Java dans les années à venir, selon certains acteurs. Savoir programmer, mais aussi savoir comprendre l'impact du code développé afin de le rendre déployable à grande échelle, et ce, de la façon la plus efficiente possible et dans des infrastructures variées, sont des compétences clés. La majorité des intervenants mentionne également l'aptitude à utiliser les différentes *librairies* en apprentissage machine comme étant un incontournable. Ils mentionnent entre autres qu'avoir une formation ou une expérience de travail en lien avec l'utilisation de *TensorFlow*⁶ ainsi que *Pytorch*⁷ est actuellement un acquis essentiel. Savoir gérer des bases de données programmées en SQL (*Structured Query Language* ; Langage de requête structurée) fait aussi partie des compétences les plus souvent citées. Cette sphère est d'ailleurs particulièrement importante à développer, et ce, à un haut niveau, pour occuper le poste de développeur.

La deuxième sphère de savoir-faire relève des mathématiques. La maîtrise de différentes composantes des mathématiques appliquées, et particulièrement celle des statistiques, est une compétence clé mentionnée par l'ensemble des acteurs. Savoir interpréter des données statistiques, créer des modèles et interpréter l'information à l'intérieur de bases de données a été mentionné maintes fois dans les discussions. Certains ajoutent, par rapport au savoir-faire statistique, que l'une des lacunes principales, tout niveau d'éducation confondu, est la capacité de mener des collectes de données efficaces. Les intervenants ont par ailleurs soulevé l'inadéquation de la formation collégiale quant aux connaissances et aux compétences en mathématiques requises pour répondre aux besoins en intelligence artificielle. Selon eux, le travail en science des données ou en apprentissage machine requiert des acquis mathématiques et un nombre d'heures d'application de celles-ci qui surpasse ce qui peut être développé dans un programme d'études de niveau collégial. La littérature abondait également en ce sens puisque plusieurs articles consultés mentionnent qu'il n'y a pas de voie rapide pour développer l'esprit mathématique nécessaire au travail en intelligence artificielle (Marinova, 2020). Une personne doit impérativement être confrontée à plusieurs centaines, voire milliers, d'heures de résolution de problèmes mathématiques afin de développer la maîtrise nécessaire, tout comme une intelligence artificielle a besoin d'une quantité importante de données afin d'avoir une valeur prédictive intéressante (Marinova, 2020).

Sur le plan du savoir-être, la capacité à travailler en équipe, et ce, particulièrement au sein d'une équipe pluridisciplinaire, est particulièrement importante. Beaucoup d'intervenants consultés des divers milieux considèrent les formations encore aujourd'hui trop en silos et mentionnent que les sphères académiques des sciences et celles du génie gagneraient à être moins cloisonnées afin de favoriser la création de profils

⁵ <https://golang.org/>

⁶ TensorFlow est un outil *open source* d'apprentissage automatique développé par Google.

⁷ PyTorch est une bibliothèque *Python* d'apprentissage profond développée par Facebook et qui s'appuie sur *Torch*

de formation plus versatiles, qui seraient très utiles à l'IA. L'autonomie et la capacité (accompagnée de l'intérêt) d'autoformation chez les travailleurs ont également été mentionnées par une majorité d'acteurs du marché du travail comme étant des compétences essentielles. À ce sujet, l'autoformation, à partir de partages de connaissances internes ou disponibles en ligne, est ressortie dans chacune des entrevues comme un mode de formation privilégié et encouragé par l'ensemble des organisations consultées. Puisque plusieurs communautés de partage scientifique en ligne liées à l'IA sont très actives, les acteurs soulignent que leurs employés sont toujours fortement encouragés à les consulter et même à y contribuer, et ce, tant durant leur temps rémunéré qu'en dehors de leurs heures de travail.

Formations recherchées et utilisées

En raison des deux grands groupes de travailleurs qui composent la main-d'œuvre en IA et conformément à ce qui a été souligné dans la revue de la littérature, l'ensemble des formations recherchées par les organisations consultées est de niveau universitaire. Dans la plupart des cas, même le baccalauréat semblait encore insuffisant du point de vue des employeurs et professeurs consultés. Ce phénomène s'explique d'une part par le peu de formation axée sur l'IA⁸ de 1^{er} cycle et, d'autre part, par la valeur ajoutée qui vient avec l'expérience de recherche, une spécificité des deuxièmes et troisièmes cycles universitaires.

Les acteurs qui œuvrent dans les laboratoires de recherche sont d'avis qu'une formation universitaire de 2^e cycle est minimalement requise pour contribuer au développement et à la recherche en intelligence artificielle. Qu'importe la taille des groupes de travail en laboratoire, le groupe qui requiert le niveau de formation le plus bas est celui des développeurs ou encore de ceux qui ont été désignés comme étant les professionnels de données et qui ont tout de même minimalement un baccalauréat et des études complémentaires (2^e cycle en apprentissage machine, cours de 2^e cycle en science des données, etc.). Selon ces acteurs, même les personnes à l'emploi sous le titre d'aide technique (collecte de données, annotation, nettoyage, etc.) dans les laboratoires ou les centres de recherche sont titulaires d'un baccalauréat pour assurer la qualité nécessaire au développement des algorithmes. Les tâches perçues comme étant les plus simples, comme l'exploration de données, le nettoyage de données ou la gestion de bases de données, demandent, selon eux, une formation de premier cycle universitaire, car celle-ci permet d'avoir une compréhension globale de la manière d'utiliser ces données et, comme l'expliquait l'un de ces acteurs, d'« être capable de réfléchir comme la machine qui va les [données] utiliser », afin de les structurer adéquatement.

Les acteurs qui visent davantage la recherche fondamentale ne semblaient pas entrevoir comment s'insérerait un nouveau diplômé de formation de niveau collégial dans leurs équipes de travail. Il ne s'agit pas, selon eux, d'une réalité qui s'applique seulement au Québec, puisqu'étant, pour la plupart, détenteurs de diplômes à la fois canadiens et internationaux, ils étaient devant ce constat également pour la France, les États-Unis, etc. Même selon un axe plus applicatif, le programme de formation privilégié est la maîtrise professionnelle qu'offrent certaines universités et qui inclut l'application de solutions d'IA en industrie comme projet de fin d'études. La main-d'œuvre du milieu des laboratoires et des centres de recherche en intelligence artificielle est alors composée presque uniquement des professions décrites ci-haut, comme des chercheurs en IA et des scientifiques de données avec des étudiants de 2^e et 3^e cycle pour les assister dans les tâches d'exploration et de nettoyage des données.

⁸ Plusieurs baccalauréats, par exemple en informatique, sont en transformation continue afin d'offrir davantage de cours de 1^{er} cycle en lien avec l'IA à l'heure actuelle.

Sans rechercher un bassin aussi important de scientifiques de données et de chercheurs détenant des diplômes universitaires de 2^e ou 3^e cycle, les acteurs du milieu privé, toutes tailles confondues, abondaient dans le sens des autres acteurs, soit qu'une formation universitaire de 120 crédits est minimalement souhaitable afin d'être opérationnel dans une organisation. Lorsqu'ils commencent à avoir des produits ou des services à vendre à certains clients, les acteurs consultés disent avoir besoin d'un plus grand bassin d'employés présentant le profil de développeurs afin d'adapter et d'intégrer ces solutions chez leurs clients. Ils font toutefois certaines distinctions. Des types de mandats requérant des compétences plus poussées sont identifiés. Par exemple, l'intégration de solutions d'intelligence artificielle chez des entreprises clientes semble être un rôle qui requiert davantage d'expérience et qui ne peut être confié à un développeur encore junior. En contrepartie, les acteurs voient certaines tâches telles que celles relevant de l'assurance qualité comme pouvant être confiées à des développeurs nouvellement diplômés d'un baccalauréat. Malgré les différences sur le plan des responsabilités dans l'équipe, avoir le profil de développeurs versatiles et donc minimalement un baccalauréat alliant mathématiques et informatique semble être le minimum requis pour intégrer les équipes des entreprises établies en intelligence artificielle.

Formations et profils complémentaires sur lesquels miseraient les acteurs stratégiques

Durant le processus d'entrevue, les acteurs stratégiques ont été questionnés à savoir quel type de formation ou de profil n'existant actuellement pas devrait être mis de l'avant afin de répondre à leurs besoins de main-d'œuvre. Conséquemment à ce qui a été mentionné dans la revue de la littérature, ils mentionnaient unanimement un profil universitaire dans lequel les mathématiques et l'informatique sont plus intégrées l'une dans l'autre. Le développement d'un baccalauréat spécifique à l'utilisation de l'apprentissage machine, et qui comprendrait des composantes de mathématiques appliquées, de statistiques et de programmation, répondrait donc à leurs besoins.

L'autre spécialité que les acteurs voudraient se voir développer est un baccalauréat sur la science des données puisque cette sphère d'activité prendra de l'importance et non pas seulement pour les besoins liés à l'IA. Dans plusieurs organisations, les acteurs estimaient que le temps qu'ils consacraient à la phase de préparation des données pouvait prendre de 50 % à 80 % du temps total du projet. Selon plusieurs, cette phase pourrait être déléguée à des bacheliers nouvellement diplômés ayant été formés spécifiquement dans cette sphère d'activité si un baccalauréat en science des données existait. Beaucoup déplorent qu'actuellement, cette phase est trop souvent déléguée à du personnel ayant des études de 2^e ou 3^e cycle en raison de l'absence de formation spécifique en science des données au premier cycle universitaire, qui serait selon plusieurs un niveau acceptable. Encore une fois, les acteurs soulignent que pour ce qui touche la science des données, ils demeureraient réticents à confier ces tâches à des techniciens compte tenu du niveau de compréhension mathématique nécessaire qui dépasse celui du collégial.

Bien qu'une rareté de main-d'œuvre soit à prévoir pour les emplois liés aux hautes technologies, la majorité des acteurs consultés évalue qu'actuellement il n'est pas très difficile de trouver une ressource avec un profil de développeur ni de scientifique des données ou de chercheur. En revanche, il est plutôt rare de trouver une ressource qui possède ces deux profils, alliant les mathématiques et la programmation au niveau désiré dans les deux cas. Le terme employé par plusieurs acteurs pour décrire une telle ressource idéale est celui de *Jack of all trades* (personne capable de tout faire) de l'IA.

En plus de ce profil, les acteurs consultés qui en sont déjà à l'étape de commercialisation de divers produits en intelligence artificielle, mentionnent qu'ils souhaiteraient que les formations universitaires en logiciel

et en informatique offrent davantage de cours touchant les domaines des affaires, l'entrepreneuriat ou la commercialisation. Ils mentionnent qu'idéalement l'équipe d'architecture d'affaires et celle d'architecture technique dans les entreprises devraient être composées d'employés qui maîtrisent un grand nombre de concepts similaires afin de favoriser un développement de produits à la fois fonctionnel et orienté vers des besoins d'affaires réalistes à atteindre de façon technique. Certains acteurs ajoutent à ce point qu'il serait important pour les personnes en emploi, ayant un profil de développeurs dans le domaine de l'intelligence artificielle, de développer la capacité à mesurer les impacts d'affaires de leurs interventions durant leur parcours académique. À cet effet, des acteurs mentionnent que la phase de développement de l'IA a mis l'accent sur le développement des compétences dans la sphère des mathématiques et de l'informatique, mais que pour passer à la prochaine étape de son adoption, les sphères de la science des données et des affaires devront aussi être mises de l'avant. Finalement, les acteurs consultés désireraient voir davantage d'intégration pratique des connaissances en industrie, et ce, pour tous les programmes éducatifs. Selon les acteurs, sortir de l'institution pour réaliser un projet complet en industrie, tout en étant encadré par des professeurs universitaires, demeure le meilleur moyen d'apprendre la réalité de l'intelligence artificielle. Plusieurs acteurs stratégiques soulignent que les compétences nécessaires à l'apprentissage machine ne peuvent se développer que dans le milieu académique et que le déploiement d'une initiative dans un milieu d'affaires devrait être un élément central de la formation. À cet effet, plusieurs acteurs citent comme exemple la maîtrise professionnelle en apprentissage automatique⁹, dont une partie importante est dédiée à un projet que réalisent les candidats en industrie avant de pouvoir obtenir leur diplôme. L'importance de bien choisir l'endroit où faire son stage ou le temps passé dans des milieux d'affaires semble alors crucial.

Formation collégiale et intelligence artificielle

Les acteurs stratégiques consultés étaient tous enthousiastes à l'idée que la formation collégiale se penche sur les besoins de main-d'œuvre et de compétences en lien avec l'écosystème d'IA. Ils étaient toutefois dubitatifs quant à la possibilité d'offrir un nouveau programme technique dans les cégeps afin de répondre aux besoins de main-d'œuvre à venir en intelligence artificielle.

Selon l'ensemble des acteurs consultés, l'augmentation du bassin de talents en IA est une priorité. Comme il a été mentionné précédemment, ils voient actuellement la formation universitaire comme un élément minimal requis afin de travailler dans le milieu de l'IA. Conséquemment, plusieurs acteurs souhaiteraient plutôt qu'en premier lieu, la formation collégiale s'intéresse à la création d'une formation préuniversitaire axée sur les mathématiques et l'informatique, ce qui favoriserait l'augmentation d'inscription dans les programmes universitaires pertinents à l'IA et préparerait mieux les étudiants aux contenus de ceux-ci. À cet effet, le programme de formation collégiale préuniversitaire intitulé *Sciences informatiques et mathématiques (200.CO)* a depuis peu été officialisé. Ce programme d'études est actuellement offert dans 12 établissements et il est maintenant possible pour d'autres établissements d'enseignement collégial de faire une demande au Ministère pour pouvoir l'offrir. La littérature abonde dans le sens des acteurs consultés puisque plusieurs auteurs soulignent que rendre les mathématiques attrayantes et pertinentes en démontrant leurs possibles applications, et ce, au niveau secondaire et collégial, est la première étape pour attirer davantage de gens dans des carrières orientées vers les STIM, dont l'intelligence artificielle (Marinova, 2020).

Outre le volet préuniversitaire, les acteurs souhaiteraient voir davantage l'utilisation de l'informatique intégrée dans l'ensemble des cours de la formation de niveau collégial puisqu'il s'agit, selon eux, d'un

⁹ <https://mila.quebec/cours/maitrise-industrielle-en-apprentissage-automatique/>

besoin du marché de l'emploi depuis plusieurs années, tous domaines confondus. L'utilisation des technologies de l'information devrait alors se faire de manière transversale dans l'ensemble des matières afin de former des cohortes d'étudiants mieux préparés à relever les défis de leurs programmes de science ou de génie à l'université. Ce constat ne se limite toutefois pas qu'à la formation collégiale ; il s'applique également à la formation secondaire dans laquelle l'utilisation des technologies de l'information pourrait être intégrée à l'apprentissage des autres matières.

En ce qui a trait à un programme possible d'études collégiales de niveau technique en IA, la majorité des acteurs y voient peu de pertinence pour répondre aux besoins de leur propre organisation, outre l'utilité d'engager les étudiants vers une formation universitaire appropriée dans une formule DEC-BAC. Comme mentionné précédemment, un baccalauréat est parfois insuffisant pour posséder tous les acquis nécessaires à un emploi d'entrée en intelligence artificielle. Une technique présentée comme formant des travailleurs en intelligence artificielle ou même en apprentissage machine ne serait alors pas l'avenue à emprunter pour développer un profil qui réponde adéquatement aux besoins des organisations. Deux des acteurs consultés, responsables des cours d'introduction à l'apprentissage machine au niveau du baccalauréat dans deux universités différentes, confirment que même après avoir complété une formation préuniversitaire en sciences (pures, nature, etc.), les étudiants présentent des connaissances trop faibles en mathématiques pour toucher directement des concepts d'apprentissage machine.

Même lorsqu'il s'agit uniquement de la sphère de l'application de l'intelligence artificielle ou encore d'aspects qui touchent le prétraitement des données, les acteurs consultés se disent réticents à confier la gestion de bases de données, représentant des terra-octets d'informations et dont la complexité augmente rapidement, à des ressources qui n'ont pas minimalement un baccalauréat. Selon la majorité des acteurs, malgré que ces tâches puissent sembler plus répétitives ou structurées, la compréhension mathématique, scientifique et les habiletés en programmation demandées pour les exécuter demeurent trop difficiles à développer dans un programme d'études collégiales de 3 ans. De plus, les entrevues et la littérature ont fait ressortir que l'apprentissage machine lui-même permet de faire une bonne partie de ce prétraitement à l'heure actuelle. Il est estimé qu'en 2022, près de la moitié des tâches manuelles liées au prétraitement des données seront déjà réalisées par des algorithmes et plus spécifiquement exécutées grâce à de l'apprentissage machine (Granville, 2020). Certains acteurs consultés étaient du même avis en mentionnant que tout le travail manuel de prétraitement était confié à des intelligences artificielles et que les travaux requérant des connaissances plus approfondies pour faire de l'analyse ne pouvaient être effectués par quelqu'un n'ayant pas minimalement une maîtrise liée aux sciences des données et de l'expérience en recherche.

Pour tout ce qui relève de l'apprentissage machine, les acteurs soulignent que la mise à jour des connaissances nécessaires à cette sphère d'activité évolue beaucoup trop vite pour être adéquatement circonscrite dans un programme de formation technique et que même les professionnels actuellement en poste, qui ont des maîtrises ou des doctorats, doivent s'engager dans un parcours de formation continue à vie afin de demeurer pertinents et capables d'œuvrer dans ce milieu.

Science des données

Les acteurs ont toutefois présenté plusieurs alternatives connexes à une nouvelle technique en intelligence artificielle qui répondent aux besoins de main-d'œuvre et qui pourraient être offertes dans le milieu collégial. Une première alternative serait d'offrir un programme d'études techniques axé sur la science des données. Les acteurs consultés étaient plus favorables à cette appellation, car elle ciblait une sphère pertinente de l'intelligence artificielle, mais également pertinente et applicable dans beaucoup

d'autres contextes en entreprise, étant donné la place que prendra la gestion des données dans l'avenir. Ils soulignent également que cela ne porte pas l'étudiant à croire qu'il serait capable de développer des modèles d'IA ou des algorithmes en terminant sa formation technique. Selon les acteurs, une technique axée sur la science des données devrait permettre de former des travailleurs capables de comprendre minimalement des architectures de données et de pouvoir les prétraiter afin de limiter le temps de travail plus manuel des scientifiques de données. Il s'agirait alors plutôt d'un rôle de gestionnaire de pipeline de données et de base de données, le tout principalement en lien avec la gestion de l'infonuagique. Les acteurs soulignent toutefois qu'ils préféreraient confier ce rôle à un travailleur qui détient une formation universitaire, mais que les besoins en science des données seront probablement trop importants pour exclure la possibilité qu'un technicien doive collaborer. Une bonne partie de ces tâches dites manuelles de prétraitement se verront toute de même probablement confier à des intelligences artificielles dans un avenir plus ou moins rapproché. De plus, il demeure impossible selon des acteurs consultés que la première phase d'entraînement des modèles, à partir de ces données, soit confiée à des techniciens, car comme le mentionne l'un des acteurs, à l'heure actuelle même des doctorants ont des lacunes dans la détection d'erreurs durant l'entraînement de leurs modèles sur des bases de données et participer à ce prétraitement leur permet de détecter davantage d'erreurs par la suite. Les acteurs consultés soulignent également l'importance pour les chercheurs et les développeurs de travailler avec leurs données eux-mêmes, du moins dans une phase initiale, afin de bien comprendre la nature de l'information qui se cache « dans la boîte noire » ainsi que le type d'erreurs ou de biais qui pourraient s'y glisser. Toutefois, même abordée sous l'angle de la science des données plutôt que l'angle de l'intelligence artificielle ou de l'apprentissage machine, la majorité des acteurs se montrait encore réticente à impliquer des techniciens dans la chaîne de production. Il leur semblait ambitieux de croire qu'il serait possible d'atteindre le niveau de compétence en informatique, en programmation, mais surtout, en mathématiques, nécessaire à cet aspect du travail en IA. Si une technique venait tout de même à être offerte, les acteurs insistent sur le fait qu'ils aimeraient qu'elle soit offerte dans une formule de continuité DEC-BAC afin d'accroître les inscriptions dans les formations universitaires relatives à l'intelligence artificielle. L'un des acteurs consultés soulève d'ailleurs que le collègue idéal, pour effectuer la préparation de données, serait un bachelier en informatique, qui mettrait un peu moins de temps en programmation durant la formation et un peu plus de temps en statistiques et en science des données.

Technicien dans une perspective à long terme

La pertinence de la formation collégiale dans une optique à plus long terme, d'ici 7 à 10 ans, c'est-à-dire lorsque la phase de développement des modèles sera presque terminée et que l'implémentation dans l'ensemble des industries sera plus avancée, a été soulevée par la majorité des acteurs de l'ensemble des milieux. Dans ce scénario, le besoin de techniciens dépendrait du degré d'adoption de la technologie dans les industries et sa place serait davantage dans toutes les entreprises utilisatrices de solutions d'IA. Ces techniciens serviraient alors à guider les usagers, à monitorer les modèles en entreprise, à entretenir ou à créer de nouveaux pipelines de données, à fournir les nouvelles données pour améliorer les modèles ainsi qu'à en extraire des visualisations et des tableaux de bord simples pour les gestionnaires des différents départements de l'entreprise. Ils ne seraient toutefois pas impliqués dans la conception des algorithmes ou des modèles à proprement parler. Les acteurs consultés parlent d'un horizon de 7 à 10 ans, selon les industries, afin qu'un technicien ait sa place dans l'industrie. Ils mettent toutefois l'accent sur le fait que l'adoption et l'intégration optimale de modèles d'IA dans les industries requerront, dans un premier temps, des travailleurs détenteurs de diplômes d'études supérieures conjointement avec des experts du milieu des affaires de l'entreprise afin de pouvoir relayer au technicien la tâche d'entretenir les pipelines de données, de préparer les données et d'effectuer une certaine assurance qualité des systèmes. Ces

techniciens pourraient alors selon certains participer à la mise à jour des modèles dans des phases de réentraînement et d'amélioration. Selon plusieurs, le point culminant de la demande pour ce type de technicien surviendra lorsque la fonction publique québécoise adoptera l'IA de façon massive. La fonction publique représente l'institution ayant le plus de données au Québec et rendre utilisables ces données sera un travail colossal.

Parallèle du technicien en informatique

Certains acteurs font un parallèle entre l'adoption massive de l'informatique et la nécessité d'avoir un technicien informatique dans les entreprises. En effet, avant l'intégration de l'informatique dans toutes les industries, le technicien informatique n'était pas nécessaire au développement des premiers processeurs ou encore des systèmes d'exploitation qui requéraient des connaissances de pointe. L'intégration de l'informatique au sein des entreprises requerra encore une fois des travailleurs possédant de hauts niveaux de compétences, mais légèrement moins que ceux ayant conçu les systèmes d'exploitation et les composantes informatiques. Aujourd'hui, puisque cette adoption est complète, la majorité des entreprises ont dans leurs effectifs au moins un technicien informatique dont la fonction est de guider les usagers et de monitorer l'utilisation du matériel et du réseau informatique afin d'en assurer son bon fonctionnement. Bien que ce dernier ne maîtrise pas les aspects liés à la conception ou la programmation sous-jacente du système qu'il gère, il est tout de même en mesure d'en assurer la qualité et d'en faciliter l'utilisation pour l'ensemble des usagers. Il agit également comme point de contact avec les fournisseurs de solutions logicielles et de matériel informatique afin de s'assurer que leurs produits s'intègrent bien dans les systèmes en place dans l'entreprise. Ce nouveau technicien en intelligence artificielle serait possiblement en mesure de remplir ces rôles également lorsque l'ensemble des industries aura intégré cette nouvelle technologie adéquatement. Quoique certains acteurs consultés soient d'avis que l'objectif de l'IA est plutôt d'éliminer la nécessité d'avoir recours à ce type de technicien, la moitié des personnes consultées croit plutôt qu'il est utopique de dire que le travail plus manuel de l'intelligence artificielle disparaîtra complètement et qu'une main-d'œuvre technique ne sera pas nécessaire à long terme, bien que celle-ci ne le soit pas encore à court terme (1 à 3 ans) au Québec.

Profil à la technique en informatique existante

Les acteurs consultés remettent également en question la création d'une nouvelle technique et pensent qu'il serait plus judicieux de miser sur la création d'un nouveau profil dans le programme Techniques de l'informatique déjà existant (420.B0). Selon eux, même si on tente d'axer une technique sur l'intelligence artificielle ou sur la science des données, les connaissances de base en mathématiques, en informatique, en programmation, en infonuagique et en gestion de base de données doivent tout de même être développées jusqu'à un certain point. Ces acquis préalables sont majoritairement adressés pour des compétences ciblées par la technique en informatique dont les cours d'informatique, de programmation, de gestion de base de données et de mathématiques appliquées à l'informatique remplissent déjà une majeure partie du programme. Plusieurs cégeps offrent également des profils mieux adaptés à la réalité de certaines industries. Le Cégep de Sainte-Foy offre, par exemple, des profils axés soit sur la programmation d'applications mobiles ou encore la programmation dans le milieu du jeu vidéo¹⁰. Les acteurs perçoivent ainsi l'option de développer un profil IA ou science des données dans la technique en informatique, comme c'est le cas pour le jeu vidéo. Ils souhaiteraient alors que les nouvelles compétences au choix soient axées sur l'utilisation des solutions infonuagiques spécifiques à l'IA ainsi que sur

¹⁰ <https://www.cegep-ste-foy.qc.ca/programmes/programmes-techniques/techniques-de-linformatique-programmation-web-mobile-et-jeux-video/>

l'introduction à la recherche scientifique, aux statistiques et à la science des données. Ces cours viseraient la maîtrise des aspects de collecte de données sur l'infonuagique et, par la suite, de préparation de ces données collectées. De plus, comme plusieurs cégeps et universités ont déjà des ententes de formule DEC-BAC avec la technique en informatique, la transition au premier cycle universitaire sera facilitée, ce qui demeure idéal selon l'ensemble des acteurs. Cependant, malgré les discussions sur ces possibles alternatives la grande majorité des acteurs consultés se disent réticents à envisager l'intégration d'un technicien nouvellement diplômé d'une formation collégiale dans leur équipe.

Attestation d'études collégiales en intelligence artificielle

À la suite des discussions concernant l'éventualité d'une technique en intelligence artificielle, l'attestation d'études collégiales (AEC) en intelligence artificielle, qui se donne actuellement dans quelques cégeps, a également été abordée à quelques reprises avec les personnes consultées. À titre informatif, cette AEC est une formation continue de 900 heures étalées sur 2 ans qui s'adresse à des personnes ayant déjà de forts acquis de base en informatique, soit l'équivalent de la technique en informatique ou plus en termes de cours ou d'expérience de travail. La liste des cours et leur durée ont été présentées aux acteurs consultés afin d'évaluer si ces cours étaient ou non utiles, de leur point de vue, afin de combler leurs besoins en compétences ou améliorer le bassin de talents en intelligence artificielle de façon globale. Il est à noter que ce segment de l'entrevue n'a été réalisé qu'avec les acteurs qui désiraient discuter plus longuement de ce sujet. La section ci-dessous s'appuie uniquement sur les réponses de 6 des 18 répondants.

D'abord, le fait qu'une telle AEC soit offerte uniquement à des gens qui ont déjà une technique en informatique démontrait selon eux que l'ensemble des acquis de base de la technique devait être maîtrisé avant même l'acquisition des connaissances en intelligence artificielle et que, par conséquent, il n'était pas possible de créer une technique de 3 ans dans laquelle offrir suffisamment de contenu et de connaissances. De plus, les acteurs auxquels l'AEC a été présentée se sont montrés sceptiques devant la pertinence d'une telle formation. La sélection trop variée de cours couvrant plusieurs aspects d'apprentissage machine et trop peu de science des données donnait selon eux l'impression d'une tentative d'effleurer toutes les sphères de l'intelligence artificielle sans toutefois développer de réelles compétences dans chacune d'elles. Les acteurs ont mentionné entre autres l'exemple de la maîtrise professionnelle en apprentissage automatique, qui est d'une durée de 2 ans et qui permet tout juste le développement du niveau de compétences attendu d'un travailleur en apprentissage machine. Ils étaient alors très incertains du niveau de compétence que pouvait atteindre un étudiant avec un nombre d'heures de formation insuffisant.

Finalement, la majorité des acteurs stratégiques mentionnent qu'ils accorderaient autant, sinon plus, de valeur à la formation d'un étudiant qui aurait choisi un parcours d'autoformation spécifique à certains aspects de l'intelligence artificielle puisque ce choix démontre une passion et une capacité à l'autoformation par les sources disponibles en ligne, des aspects recherchés chez les membres de leurs équipes.

Faits saillants des entrevues auprès des acteurs œuvrant en développement de l'IA

- 1) La main-d'œuvre des entreprises œuvrant en intelligence artificielle au Québec est composée intégralement de personnes possédant une formation universitaire ;

- 2) Les acteurs désireraient de façon prioritaire voir davantage de formation spécifique à l'intelligence artificielle au premier cycle universitaire plutôt que des nouvelles techniques collégiales pour répondre à leurs besoins ;
- 3) Devant la possibilité de créer une nouvelle technique, les principaux acteurs œuvrant dans le développement de l'intelligence artificielle au Québec ont mentionné avoir peu d'intérêt pour le profil d'un nouveau technicien sur un horizon de court à moyen terme ;
- 4) La réticence principale des acteurs consultés devant la possibilité d'une nouvelle technique se trouve au niveau de la maîtrise des mathématiques nécessaires en intelligence artificielle qui est, selon eux, impossible à atteindre dans un programme d'études collégiales de 3 ans, tout en ayant les acquis minimums dans les autres sphères de compétences (informatique, programmation, infonuagique, etc.) ;
- 5) Dans la mesure où les établissements de formation collégiale désirent répondre aux enjeux de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, ils devront s'orienter sur trois pistes majeures, c'est-à-dire :
 - a. Adapter des programmes préuniversitaires axés sur l'informatique et les mathématiques afin de mieux outiller les cohortes d'étudiants qui se dirigent vers ces programmes à l'université,
 - b. Orienter une technique vers la science des données plutôt que l'intelligence artificielle ou l'apprentissage machine, des domaines qui requièrent des connaissances trop avancées pour le niveau collégial,
 - c. Miser sur la création d'un profil spécifique aux enjeux des sciences des données dans la technique informatique déjà existante comme c'est actuellement le cas pour l'industrie du jeu vidéo et celle du développement d'applications mobiles qui ont des profils spécifiques dans ce programme de formation technique.

5. ENTREVUES AUPRÈS D'UTILISATEURS POTENTIELS DE L'IA AU SEIN DE DIFFÉRENTES INDUSTRIES QUÉBÉCOISES

Note méthodologique

Puisque la présente étude est exploratoire, la méthodologie établie préalablement aux travaux a dû être revue en cours de mandat. À la suite des entrevues menées auprès d'acteurs clés de l'écosystème de l'intelligence artificielle, il était prévu de créer deux groupes de discussion avec des travailleurs, c'est-à-dire l'un rassemblant des travailleurs de niveau collégial et le second des travailleurs de niveau universitaire. D'abord, aucun travailleur de niveau collégial, ayant des tâches liées directement à l'intelligence artificielle, n'était présent dans les entreprises œuvrant en IA. Comme mentionné dans la section précédente, en plus de l'absence de cette main-d'œuvre dans les organisations, la quasi-totalité des entreprises a mentionné que le profil n'était pas intéressant pour elles à court ou à moyen terme. Ce premier groupe de discussion a donc dû être écarté en raison de l'absence de travailleurs répondant au profil recherché ; deux groupes de discussions avec des travailleurs universitaires ont alors été envisagés.

Les entrevues de groupe avec des travailleurs de niveau universitaire servaient à établir plus clairement les tâches et compétences liées aux postes qu'ils occupent afin de connaître les tâches qui auraient pu potentiellement être déléguées à un technicien et ainsi de créer le profil théorique de celui-ci en conséquence. D'abord, les acteurs consultés mentionnaient que selon eux, aucune tâche ne pouvait efficacement être déléguée à un technicien dans leur organisation à l'heure actuelle. De plus, la plupart avaient déjà bien détaillé les tâches des membres de leurs équipes ainsi que leurs parcours académiques. Ils voyaient donc peu la pertinence de libérer des travailleurs afin de répondre sensiblement aux mêmes questions, ce qui a entraîné un manque d'intérêt de leur part à solliciter ou à libérer des travailleurs afin de participer à cette étape subséquente de l'étude. La complexité liée au fait de rassembler des travailleurs de différentes entreprises à un même moment a également découragé plusieurs entreprises, en raison du manque de disponibilité. Finalement, au regard des entrevues menées auprès des acteurs stratégiques, la pertinence des groupes de discussion en fonction de l'objet de l'étude et de l'échéancier a été remise en question.

Plusieurs pistes méthodologiques de remplacement ont alors été proposées. Puisque la piste la plus prometteuse identifiée par les acteurs consultés était la place d'un potentiel technicien, idéalement en science des données, dans des entreprises n'œuvrant pas directement en intelligence artificielle, mais l'utilisant, cette solution alternative a été explorée. En remplacement des groupes de discussion, ce sont donc 12 entrevues auprès d'acteurs clés d'entreprises, de diverses industries susceptibles d'adopter prochainement ou ayant adopté l'intelligence artificielle qui ont été réalisées. Les organisations contactées sont notamment celles ciblées par les acteurs stratégiques centrés sur le développement de l'IA, soit des clients potentiels de solutions d'IA, et qui pourraient à long terme voir la pertinence d'engager un technicien. À titre indicatif, des organisations liées au domaine des finances, de la géomatique, du jeu vidéo, de l'animation 3D, du milieu bancaire, de l'assurance, de la médecine, du génie civil et de l'agriculture ont entre autres été ciblées.

Deux réalités différentes

La tenue des entrevues avec ces organisations a permis de faire ressortir deux réalités. D'une part, des entreprises œuvrent dans des domaines directement liés aux technologies de l'information, par exemple le jeu vidéo, et d'autre part des entreprises œuvrent dans des domaines qui ne sont pas directement liés aux technologies de l'information, par exemple l'agriculture ou le génie civil.

Organisations en technologies de l'information

Le profil de la technique en intelligence artificielle apparaissait, du point de vue des entreprises en technologies de l'information, comme une initiative intéressante pour des postes dans les entreprises qui n'œuvrent pas dans un domaine d'affaires lié aux TI. Autrement dit, elles ne prévoyaient pas avoir un jour besoin d'un tel profil technique à l'intérieur même de leurs organisations. Étant déjà composées d'une main-d'œuvre qui comprend des techniciens en informatique, programmeurs, développeurs, etc., les organisations en TI possèdent, à leur avis, toutes les compétences requises pour effectuer l'ensemble des tâches liées à l'implémentation de l'intelligence artificielle ou encore pour l'utiliser dans leur propre entreprise. Ce constat était le même pour le milieu financier et bancaire, que l'on peut placer dans la catégorie des organisations en TI puisqu'une partie des travailleurs du milieu possède des formations qui intègrent des mathématiques, comme la comptabilité et l'actuariat. Ainsi, ces derniers sont amenés à maîtriser les acquis de base nécessaires, conjointement avec les membres de leur équipe d'informatique, afin d'utiliser adéquatement les solutions d'IA. Le défi principal consiste, selon eux, à intégrer l'intelligence artificielle dans les infrastructures informatiques ou logicielles plus anciennes et qui seraient trop coûteuses à changer. Dans ce contexte, les solutions qui font preuve d'une grande créativité et d'un savoir-faire de pointe en informatique sont de mise. Pour ces besoins ponctuels plus spécifiques, les organisations du milieu financier et bancaire favorisent alors les consultants externes, qui ont des compétences plus développées que celles de leur bassin d'employés, plutôt qu'engager des ressources entièrement dédiées à l'intelligence artificielle dans leur propre organisation. De plus, si une telle ressource venait à être nécessaire à l'interne, ceux-ci mentionnent qu'ils rechercheraient des profils universitaires.

La majorité des industries liées aux technologies de l'information n'est pas impliquée dans le développement des modèles et des algorithmes et semblait satisfaite d'utiliser les modèles rendus accessibles publiquement et gratuitement (*open source*) ou encore d'en acheter au besoin à des consultants spécialisés. Les compétences de leurs ressources à l'interne leur semblaient donc suffisantes pour intégrer et ajuster ces modèles à l'intérieur de leurs produits en collaboration avec ces consultants. On constate globalement que les besoins circonscrits à un niveau technique des industries en technologies de l'information sont déjà comblés par la main-d'œuvre existante dans la majorité des cas et dans les cas restants, une main-d'œuvre très créative au niveau des solutions informatiques est nécessaire afin d'intégrer adéquatement les modèles aux infrastructures existantes.

Organisations non -TI

Pour les organisations dont le domaine d'affaires n'est pas celui des technologies de l'information, il était plus difficile de mesurer l'impact potentiel de l'implémentation de l'intelligence artificielle dans leurs organisations ainsi que les besoins de main-d'œuvre qu'elle pourrait occasionner. Plusieurs représentants de ces industries mentionnent que bien des entreprises québécoises n'ont pas la main-d'œuvre nécessaire pour répondre aux défis que représente l'automatisation, constat qui a également été soulevé dans la revue de la littérature. Dans ce contexte, l'intelligence artificielle n'est donc pas un enjeu selon ces organisations pour les années à venir, tant que leurs entreprises n'auront pas complètement intégré

l'automatisation. Pour ce qui est des quelques entreprises de plus grande taille ou avant-gardistes qui souhaitent intégrer l'intelligence artificielle, elles semblent privilégier les partenariats avec les universités. Elles se trouvent alors à fournir des données existantes et/ou installent des capteurs de données sur leurs équipements afin de générer une quantité d'information suffisante à partir de laquelle peuvent travailler les chercheurs afin de développer des modèles. Les organisations qui fournissent les données contribuent également à valider les résultats obtenus par les modèles, comme dans le cas des médecins, afin d'évaluer leur valeur prédictive.

Dans cette perspective, les répondants perçoivent l'avantage de développer une main-d'œuvre technique très outillée, surtout en statistiques, pour s'occuper de la collecte et de la préparation de ces bases de données dans différents milieux. Ces techniciens se verraient confier l'entretien et la mise à jour de leurs bases de données, ainsi que l'intégration des solutions infonuagiques, afin que ces données puissent être collectées à grande échelle simultanément. Les représentants de ces industries non-TI mentionnent qu'ils préfèrent tout de même avoir recours à une équipe de consultants qui dispose d'une expertise plus pointue pour faire ressortir les résultats les plus utiles pour eux et pour les accompagner dans le choix des modèles. Le technicien serait alors attiré à la création des pipelines de données à partir des capteurs installés dans les entreprises ainsi qu'à la préparation des données existantes pour que celles-ci puissent servir au premier déploiement des modèles. L'élaboration ou l'adoption des modèles se verrait toutefois confiée à une équipe de consultants en intelligence artificielle. À ce niveau, c'est donc un technicien en science des données avec une forte composante de gestion de l'infonuagique qui semble le plus pertinent et non un technicien en intelligence artificielle à proprement parler. Toutefois, les entreprises dans des domaines d'affaires non-TI n'envisagent pas d'engager un technicien attiré à des tâches liées à l'utilisation de l'IA d'ici les 3 prochaines années.

Faits saillants des entrevues avec des acteurs axés sur l'utilisation de l'intelligence artificielle

Les entrevues avec les entreprises utilisatrices ont permis de faire ressortir de nouveaux constats :

- 1) Il existe deux types d'organisations qui souhaitent utiliser l'intelligence artificielle, soit les organisations dans un domaine d'affaires lié aux TI et celles qui ne le sont pas ;
- 2) Pour les organisations dans un domaine d'affaires lié aux TI, le besoin en compétences lié à l'utilisation et l'intégration de l'intelligence artificielle semble relativement comblé par la main-d'œuvre en place.
 - a. Les acteurs consultés, dont le mandat est d'accompagner les organisations dans l'adoption de l'IA, mentionnent d'ailleurs qu'elles sont les clientes idéales avec lesquelles travailler en raison du bassin de compétences dont elles disposent déjà à l'interne ;
- 3) Pour les organisations dans un domaine d'affaires non lié aux TI, le virage vers l'intelligence artificielle semble encore très ardu pour plusieurs raisons :
 - a. La majorité des entreprises québécoises n'a pas encore fait le virage vers l'automatisation et est donc peu préoccupée par l'intelligence artificielle à l'heure actuelle,
 - b. Les préoccupations de main-d'œuvre sont centrées sur la rareté de la main-d'œuvre pour certains postes clés liés à l'automatisation comme celui d'électromécanicien,
 - c. Celles-ci n'envisagent pas d'engager un technicien lié à l'intelligence artificielle d'ici les 5 prochaines années.

6. ENQUÊTE EN LIGNE

Pour faire suite au processus d'entrevue avec les acteurs engagés dans le développement de l'intelligence artificielle ainsi que ceux qui sont susceptibles de l'utiliser dans un avenir rapproché, une enquête en ligne a été effectuée afin de sonder de la manière la plus exhaustive possible l'écosystème en IA. Celle-ci visait à quantifier et à qualifier les besoins de main-d'œuvre de l'écosystème ainsi qu'à évaluer dans quelle mesure l'ajout de techniciens ayant une spécialité en intelligence artificielle pourrait éventuellement contribuer à leur organisation. Près de 200 entreprises ou organisations ayant des employés impliqués dans le développement de l'intelligence artificielle au Québec ont été sondées entre novembre 2019 et janvier 2020. En tout, 43 organisations ont complété l'enquête en ligne durant la période allouée. Les entreprises répondantes possèdent un total de 750 employés directement impliqués dans le développement de l'IA au Québec, soit près de la moitié des personnes y travaillant dans la province selon leur propre estimation.

Il a d'abord été demandé aux répondants d'identifier les principales professions directement liées au développement ou à l'implémentation de l'intelligence artificielle dans leur organisation. Les deux emplois ayant été identifiés le plus souvent sont ceux de scientifique des données et de programmeur-développeur (en machine learning, en IA, etc.), soit les mêmes identifiés aux étapes précédentes de l'étude. En plus de ce constat général, les laboratoires de recherche ont mentionné employer généralement des chercheurs/scientifiques en intelligence artificielle, qui sont des doctorants en apprentissage machine, tandis que les organisations plus axées sur le développement d'un produit emploient des travailleurs qui pratiquent une profession liée à l'industrie à laquelle le produit s'adresse (p. ex. : médecin chercheur, ingénieur biomédical, biologiste, linguiste, géomaticien, etc.). L'enquête appuie également la revue de la littérature concernant le fait que malgré les différentes appellations pour les différents emplois, les responsabilités et les tâches attribuées à chacun d'eux sont imprécises. Comme mentionné précédemment, dans l'état actuel du marché, le profil versatile (*Jack of all trades*) est celui qui est privilégié et les membres des équipes d'intelligence artificielle sont souvent portés à s'impliquer dans toutes les étapes du travail, qu'importe leur titre. Ce constat est également ressorti dans quelques entrevues où des acteurs avaient mentionné avoir eu le titre de développeur en apprentissage dans une organisation et de scientifique des données dans une autre, mais que malgré ce changement de titre, 80 % à 90 % de leurs tâches demeuraient les mêmes. Nonobstant cette absence de distinction claire entre les tâches pouvant être attribuées à chacune des professions, les sections ci-dessous font état des résultats obtenus par le sondage ventilé pour chaque profession afin de souligner les tendances principales dans les réponses des organisations consultées.

Scientifique des données

Le scientifique des données est, dans la majorité des cas, la première profession nommée par les répondants. On trouve habituellement entre 2 et 12 scientifiques des données dans chaque organisation, et ce, qu'importe la taille des équipes dédiées à l'intelligence artificielle, pouvant varier entre 3 et 200 personnes. De façon générale, les répondants se voyaient engager davantage de scientifiques des données d'ici 3 ans afin de doubler leur effectif. Les tâches attribuées au scientifique des données sont le plus souvent les suivantes : identification des sources de données, analyse des données, prétraitement des données pour les rendre utilisables par les modèles, contribution au développement des algorithmes et, enfin, préparation de la portion « communication des résultats ». Afin d'effectuer ces tâches, le prérequis le plus important concerne la maîtrise des mathématiques à un niveau très avancé. La majorité des intervenants identifient ce niveau de maîtrise des mathématiques aux 2^e et 3^e cycles universitaires. Ce

constat s'explique possiblement par l'absence de formation spécifique à la science des données au niveau du 1^{er} cycle universitaire. La gestion des bases de données (maîtrise du *SQL*) ainsi que des habiletés de base de programmation en *Python* semblent également importantes.

Développeur-programmeur (informatique, en machine learning, en AI, etc.)

Pour la majorité des organisations, le développeur-programmeur est la profession la plus importante en termes de nombre. C'est également le cas des organisations orientées plutôt vers le développement d'un produit commercialisable que recherche fondamentale. On trouve de 1 à 120 personnes portant le titre de développeur ou programmeur selon la taille des organisations. Il s'agit également de la catégorie d'emplois que les employeurs envisagent d'engager le plus d'ici 3 ans en terme absolu. Les tâches identifiées pour le développeur ou programmeur sont entre autres la programmation d'outils ou d'interfaces, afin d'alimenter les modèles, et l'exécution des expérimentations, afin de comparer et d'améliorer les résultats des algorithmes. Il est à noter que selon son niveau de formation, le développeur-programmeur est souvent impliqué dans le développement même des algorithmes et parfois aussi dans la gestion de la donnée. Le prérequis le plus souvent identifié par les intervenants pour occuper ce poste est la maîtrise de la programmation à un niveau de baccalauréat en informatique, génie informatique ou génie logiciel. Comme il a été dit précédemment, le langage de programmation *Python* doit être maîtrisé au niveau avancé. En plus de ces compétences de programmation, la compréhension des mathématiques appliquées spécifiques au champ de l'intelligence artificielle est importante, et ce, à un niveau qui dépasse les cours de mathématiques de niveau collégial associés aux sciences pures ou aux sciences de la nature.

Chercheur — Scientifique en intelligence artificielle

Pour les organisations de plus grande taille (100+) ou celles axées sur la recherche fondamentale, le scientifique/chercheur en intelligence artificielle est également présent. Dans ces organisations, les chercheurs en IA sont peu nombreux, soit habituellement moins de 10 chercheurs, principalement en raison de la rareté de cette main-d'œuvre. Leur rôle principal est de contribuer à la recherche fondamentale, de développer de nouvelles solutions d'apprentissage et de nouveaux modèles, de produire des publications scientifiques et parfois d'obtenir des brevets pour leurs percées technologiques. Tous les intervenants identifient minimalement la maîtrise ou le plus souvent le doctorat en apprentissage machine accompagné de publications scientifiques dans le domaine comme étant des prérequis pour occuper cet emploi. Il s'agit toutefois de la profession pour laquelle les entreprises pensent le moins augmenter leurs effectifs au fur et à mesure que l'attention se transférera du développement des modèles à leur application en industrie.

Formation collégiale

Questionnées sur la pertinence de la création d'une nouvelle technique en intelligence artificielle, les réponses à l'enquête ont été plutôt hétérogènes. Un peu plus du tiers des répondants perçoivent la technique comme peu ou très peu pertinente, alors que la majorité croit l'initiative moyennement pertinente et, dans quelques rares cas, fort pertinente. Uniquement deux organisations affirment qu'elles considèrent la création d'une nouvelle technique comme essentielle pour répondre aux besoins de la main-d'œuvre à venir en intelligence artificielle.

Questionnées sur le nombre de diplômés de niveau collégial qu'elles engageraient dans leurs équipes d'ici 5 ans si une nouvelle formation était créée, les organisations ont majoritairement répondu aucun (63%). En ce qui concerne les répondants restants, ils estimaient qu'ils engageraient de 1 à 10 personnes

possédant ce nouveau profil technique d'ici 5 ans si une formation technique était créée. Au total, ces intentions représenteraient 59 embauches¹¹ potentielles pour ce nouveau profil de poste. Il est à noter que les deux organisations qui ont mentionné la technique comme étant essentielle ont répondu qu'elles n'engageraient aucun diplômé technique même si une nouvelle formation spécifique à l'intelligence artificielle était créée. De façon générale, ce sont les institutions ayant une forte proportion de leurs activités axées sur la recherche fondamentale qui perçoivent le technicien comme le plus pertinent, alors qu'elles sont celles qui manifestent le moins d'intérêt pour l'embauche d'un tel profil. Cette discordance s'explique partiellement par le fait que les laboratoires de recherche universitaires ont à leur disposition des auxiliaires de recherche, qui sont des étudiants de 2^e ou 3^e cycle et qui peuvent se voir confier les tâches associées au prétraitement des données.

Les répondants ayant mentionné qu'ils n'engageraient pas de diplômés d'un programme d'études techniques justifient leur choix par la complexité des tâches liées à l'intelligence artificielle, la nécessité d'être versatile et d'avoir une compréhension globale des systèmes et surtout, encore une fois, la nécessité de comprendre les mathématiques à un niveau qui dépasse largement le niveau collégial, et ce, même pour les tâches les plus simples. À l'opposé, les répondants qui défendent la place des techniciens dans les équipes mentionnent que la démocratisation de l'intelligence artificielle amènera des tâches plus encadrées qui pourront être déléguées à des techniciens. Ils mentionnent entre autres le contrôle qualité des données, la recherche en ligne de celles-ci (*Web-scrappe*) et l'importation des données classifiées et nettoyées dans les bases de données comme des tâches qui pourront être déléguées à des techniciens s'ils reçoivent une formation technique complète spécifique à ce type de tâches. Un profil de technicien en infonuagique ou encore en science des données serait donc plus utile pour les organisations que de tenter de développer un profil en intelligence artificielle. Cependant, même les rares défenseurs d'une nouvelle technique en intelligence artificielle ajoutent dans la totalité des cas à leurs commentaires que cette technique devrait être offerte en continuité DEC-BAC puisque le niveau universitaire demeure celui souhaité pour travailler dans le milieu de l'intelligence artificielle. Il est donc possible d'inférer que le désir lié à la création d'un nouveau programme collégial est en partie alimenté par le désir d'accroître les bassins d'étudiants universitaires dans des sphères liées à l'IA, ce qui n'est pas l'objectif d'un programme d'études techniques.

Faits saillants de l'enquête en ligne

L'enquête en ligne a permis d'appuyer plusieurs constats qui émergeaient de la revue de la littérature et des entrevues avec les intervenants :

- 1) L'état embryonnaire du marché de l'emploi en intelligence artificielle fait en sorte que le profil versatile, soit la capacité à travailler dans toutes les sphères de l'IA, typiquement lié à une formation de 2^e ou 3^e cycle universitaire, est encore celui qui prédomine et prédominera pour les trois prochaines années ;
- 2) Les tâches à réaliser par chaque professionnel ne sont pas limitées au titre de l'emploi qu'ils occupent puisque les développeurs sont souvent appelés à faire du travail sur les données et à développer des modèles tout comme les scientifiques doivent s'impliquer dans les phases plus accentuées sur la programmation ;

¹¹ Somme des intentions d'embauche pour un profil technique de l'ensemble des organisations répondantes se manifestant pour le profil.

- 3) Même les répondants favorables à l'idée d'une nouvelle technique identifient le niveau du baccalauréat comme un idéal et insistent, en ce sens, sur l'importance de la formule DEC-BAC si une nouvelle technique voit le jour ;
- 4) Les quelques répondants favorables à l'idée d'une nouvelle technique mentionnent en grande partie qu'ils n'engageraient cependant pas ce nouveau type de diplômé dans les trois prochaines années ;
- 5) L'ensemble des répondants s'accordent pour affirmer que toute initiative menant à augmenter le bassin de talents en intelligence artificielle ou à attirer les étudiants dans les programmes universitaires pertinents pour l'IA devrait être considérée.

7. CONSTATS ET PISTES DE RÉFLEXION

Durant les phases de revue de la littérature, d'entrevues auprès de diverses organisations et d'enquête en ligne auprès de l'ensemble de l'écosystème en intelligence artificielle, plusieurs pistes de réflexion et plusieurs constats clairs se sont dégagés :

- 1) Malgré sa position de meneur en termes de recherche fondamentale, le Québec présente un retard dans l'adoption de l'intelligence artificielle dans ses industries et dans son virage vers l'automatisation de façon générale ;
- 2) Considérant le stade de développement de l'intelligence artificielle, un profil versatile en IA (*Jack of all trades*) alliant les mathématiques et l'informatique à un niveau de 2^e ou 3^e cycle universitaire demeure le profil le plus pertinent et le plus exigé ;
- 3) L'encouragement à développer des formations de 1^{er} cycle universitaire portant sur l'apprentissage machine ou sur la science des données permettrait de mieux répondre aux besoins actuels et à venir (trois prochaines années) de l'industrie ;
- 4) La promotion des différents programmes de 2^e cycle universitaire portant sur l'intelligence artificielle et qui sont déjà offerts dans plusieurs universités est une avenue à privilégier ;
- 5) Le développement d'une formation continue permettant de requalifier les travailleurs de tous les corps de métiers est une action prioritaire pour répondre aux besoins des entreprises et favoriser l'intégration de l'intelligence artificielle ;
- 6) La création d'un nouveau programme d'études pré-universitaire orientant les étudiants vers des études universitaires liées aux STIM est la réponse privilégiée par les acteurs consultés ;
- 7) À cet effet, le déploiement du programme d'études préuniversitaires « Sciences informatiques et mathématiques (200.CO) » dans plus d'établissements d'enseignement de niveau collégial est une avenue à considérer ;
- 8) Une réponse possible pour la formation technique devrait d'abord évaluer la pertinence d'adapter le programme d'études Techniques de l'informatique dans une perspective d'y ajouter des compétences aux choix spécifiques liés aux sciences des données et à la maîtrise de l'infonuagique afin de répondre à des besoins connexes créés par l'IA ;
- 9) Une veille prospective devrait être effectuée au regard des besoins de main-d'œuvre et de formation du domaine de l'intelligence artificielle, notamment d'un besoin qui pourrait émerger de techniciens formés en intelligence artificielle ou en science des données dans un horizon de 5 à 10 ans ;
- 10) Une étude complémentaire devrait être menée afin d'identifier les compétences nécessaires pour exercer une profession du domaine de l'IA et de distinguer ces compétences par ordre d'enseignement (collégial ou universitaire).



Raphaël Readman, M.A.,
analyste stratégique



Bruno Del Degan, ing. f., M. Sc.,
président

RÉFÉRENCES

- BEAUDOIN, P., 2017. Dans Tremblay, J. « Comment l'intelligence artificielle bouleversera le marché de l'emploi ». Société Radio-Canada, 5 p.
- BURKOV, A. 2019. *The hundred-page machine learning book*. 152p.
- BROOKFIELD INSTITUTE, 2019. *Signs of the times : expert insights about employment in 2030*. 30 p.
- CAMPAN C. et VALLÉE, L., 2019. « Des emplois plus nombreux et meilleurs : les multiples effets de l'IA sur le marché du travail ». *Note économique de l'institut économique de Montréal*. 5p.
- CIFAR, 2019. *IACan 2019, rapport annuel de la stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle*. 40 p.
- COMITÉ D'ORIENTATION DE LA GRAPPE EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, 2018. *Stratégie pour l'essor de l'écosystème québécois en intelligence artificielle*. 92 p.
- DASTIN, J. *Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women*. 6 p.
- DELOITTE, 2018. *L'impératif de l'IA au Canada : des prédictions à la prospérité*. 24 p.
- DELOITTE, 2018b. *La révolution de l'intelligence artificielle : préparer l'avenir de la main-d'œuvre canadienne*. 64p.
- DELOITTE, 2019. *Future in the balance? How countries are pursuing an AI advantage*. 20 p.
- DION, M. 2020. « Les entreprises pas suffisamment conscientes des défis de demain ». *radio-canada le 17 février 2020*. 2p.
- DUBÉ, J. S., 2019. *Intelligence artificielle (IA) et emplois : revue de presse 2017-2018*. 6 p.
- FUGÈRE, C., 2019. Dans Normand, F., 2019. « Une grappe de fournisseurs 4.0 émerge au Québec ». *Les Affaires*, édition du 30 mai 2019, 5 p.
- GAGNÉ, J., F. 2019. « Carte de l'écosystème en IA ». *Element.AI*. 9p.
- GRANVILLE, M. 2020. *Will 2020 prove to be the year of the data scientist*. 4p.
- GOVERNEMENT DES ÉTATS-UNIS. 2016. *Artificial intelligence, automation and the economy*. 51p.
- HEC MONTRÉAL. 2019. *Subvention de 23,4millions à Scale AI pour de la formation*. 1p.
- KWOK, R., 2019. « Junior AI researchers are in demand by universities and industry ». *Nature*. 7p.
- LONGOUR, M., 2018. *Les nouveaux métiers de l'intelligence artificielle : un univers fascinant*. 4 p.
- MACLURE, J. ET SAINT-PIERRE M. N., 2018. « Le nouvel âge de l'intelligence artificielle : une synthèse des enjeux éthiques ». *Les cahiers de propriété intellectuelle*. Vol 30. No3. PP741-763
- MARINOVA, M. 2020. *The hidden factor thats keepinbg people out of STEM jobs*. 5p.
- MCAFEE, A. et BRYNJOLFSSON, B., 2016. *The second machine age : work, progress and prosperity in a time of brilliant technologies*. 306 p.
- MERLE, B. 2019. *Formation en big data : ce n'est plus de la science-fiction*. 5p.
- MORIN, C. 2020. *Lancement d'element AI orkestrator*. 2p.

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUE ET DE L'EMPLOI DE LA FINLANDE. 2018. *Work in the age of artificial intelligence : four perspectives on the economy, employment skills and ethics*. 58p.

NORMAND, F., 2019. « Une grappe de fournisseurs 4.0 émerge au Québec ». *Les Affaires*, édition du 30 mai 2019. 5 p.

PINEAU, J., 2017. Dans Tremblay, J. « Comment l'intelligence artificielle bouleversera le marché de l'emploi ». Société Radio-Canada. 5 p.

Annexe

Entrevues

Entrevue auprès d'intervenants et intervenantes stratégiques

Présentation des objectifs

- Cibler les compétences clés à développer pour les travailleurs et travailleuses du domaine de l'intelligence artificielle (IA) ;
- Dresser un portrait des professions qui composent la main-d'œuvre des entreprises en IA ;
- Avoir une connaissance des besoins anticipés de main-d'œuvre en IA ;
- Évaluer l'adéquation de l'offre éducative en lien avec les besoins en compétences pour travailler en IA ;
- Connaître les tâches liées aux professions identifiées par les intervenants afin de déceler des zones de surqualification ou sous-qualification, et ainsi, identifier la présence de nouvelles professions d'importance.

Introduction : portrait du secteur

1. Quelle est la place de l'IA au sein de votre organisation ?
 - Comment celle-ci a-t-elle évolué ?
 - Quels types d'extrants produisez-vous en lien avec l'IA (produits, recherches, analyses, etc.) ?

Portrait des professions et de la formation

2. Quels sont les principaux groupes d'employés et employées qui contribuent au développement et à l'application de l'IA dans votre organisation ?
 - Quelles professions sont associées à chacun de ces grands groupes ?
 - À quelles tâches, quels projets ou quelles phases de développement ces professions sont-elles associées ?
 - Ces tâches seront-elles appelées à changer d'ici trois ans ?
 - Quels sont les diplômes, compétences (savoir, savoir-faire et savoir-être) ou expériences spécifiques recherchés pour chacune de ces professions ?
3. Selon vous, les travailleurs et travailleuses sont-ils suffisamment formés pour exercer les professions nécessaires aux entreprises développant de l'IA ?
 - Y a-t-il une surqualification ou sous-qualification ? Si oui, pour quels emplois ?
 - Les nouveaux diplômés et diplômées sont-ils adéquatement formés pour travailler dans votre organisation ? Si non, quelles sont les principales lacunes ?

4. Quelles sont les formations offertes directement en entreprise et sous quelle forme se déroulent-elles ?
 - Qui coordonne ces formations (le réseau scolaire, l'entreprise ou un organisme) ?
 - À qui sont destinées ces formations (nouveaux employés et employées ou ceux et celles déjà en emploi) ?
 - Quelle est la place de « l'autoformation » ?
5. Dans le domaine de l'IA, quelles sont les compétences essentielles à acquérir pour les gens œuvrant en développement et en maintenance applicative ou voulant y travailler ?
 - Ces compétences et leur importance sont-elles appelées à évoluer ?
6. Quels changements pourraient être apportés à l'offre de formation initiale et continue (professionnelle, collégiale ou universitaire) afin de mieux répondre aux besoins en main-d'œuvre et en compétences de votre organisation et de ceux et celles travaillant au développement de l'IA ?
 - Considérez-vous l'offre de formation actuelle (à ne pas confondre avec le nombre de diplômés et diplômées) comme suffisante ?
 - Quelles formations n'étant pas offertes en IA devraient l'être ?
 - Quels sont les principaux obstacles à la formation initiale et continue en IA ?

Conclusion : étapes à venir

7. Quel est selon vous l'avenir de l'IA au Québec ?
 - Pour les compagnies qui la développent ;
 - Pour l'ensemble du marché du travail (travailleurs et travailleuses) et de l'économie (produits) ;
 - Pour la population générale.
8. Quels sont, selon vous, les autres organisations ou intervenants et intervenantes auxquels il serait essentiel de parler afin de dresser un portrait juste des professions actuelles et d'avenir en lien avec le développement et l'application de l'IA parmi ses spécialistes au Québec ?
9. Est-ce que votre organisation accepterait de libérer certains de ses employés et employées afin de participer à des groupes de discussion (deux à trois heures) qui serviraient à documenter la présente étude ?

Entrevue avec des organisations utilisatrices d'intelligence artificielle

Présentation des objectifs

- Déterminer le degré d'adoption de l'intelligence artificielle (IA) dans différentes entreprises et industries.
- Comprendre les nouveaux besoins en compétence et en formation liés à l'adoption de l'IA dans diverses industries.
- Évaluer la pertinence d'une nouvelle formation technique (collégiale) afin de répondre à ces besoins en compétence et possiblement en nouvelles professions spécialisées dans l'utilisation de l'IA.

IA dans votre organisation

- Quelles sont les principales sphères d'activité de votre entreprise ?
- Est-ce que l'intégration de l'IA a eu pour effet des changements dans vos opérations? Si oui, lesquels?
- Selon vous, quelle place occupera l'IA au sein de vos opérations dans un horizon de 5 à 10 ans?

Emplois et formations

1. Quelles sont les principales professions interagissant avec l'IA dans votre entreprise ou votre industrie ?
 - Quels sont les diplômes, formations ou expériences recherchés afin d'occuper celles-ci ?
2. Est-ce que l'intégration de l'IA dans vos activités a amené de nouveaux besoins de main-d'œuvre ou de formation dans votre entreprise? Si oui, de quelle façon?
3. Quel est le profil (formation, expérience, etc.) actuellement exigé afin d'être considéré pour ce (ou ces) poste(s) utilisant l'IA dans votre organisation?
4. Est-ce que la création d'une nouvelle formation permettrait à votre organisation de disposer d'un nouveau bassin de talents que vous entrevoyez comme nécessaire pour les prochaines années ?
 - a. Si oui, quel type de formation serait le plus approprié à former cette nouvelle main-d'œuvre?
5. Quelles sont vos principales contraintes dans l'utilisation de l'IA à l'heure actuelle ?
6. La possibilité d'offrir une technique spécialisée en IA vous apparaît-elle pertinente ?

- a. Dans quelle sphère de l'IA celle-ci devrait-elle se concentrer (science de la donnée, apprentissage machine, multimédia, etc.) ?
 - b. Quelle serait la place de ce nouveau diplômé technique dans votre organisation ?
 - c. Quelles tâches lui confieriez-vous ?
 - d. Quelles seraient les compétences minimales qu'il aurait à développer durant son parcours collégial pour effectuer adéquatement ses différentes tâches ?
7. Selon vous, comment ce nouveau type de technicien pourrait-il appuyer l'ensemble des entreprises québécoises dans un avenir plus ou moins rapproché ?