

**ANALYSE
COMPARATIVE
D'ÉCOSYSTÈMES
EN IA**

dans le but de repérer les pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances



**Rapport préparé sous la direction de
Nathalie de Marcellis-Warin, Ph. D. (Polytechnique Montréal, CIRANO, OBVIA)**
Pour le Forum IA Québec et le Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle

Rapport préparé sous la direction de :

- **Nathalie de Marcellis-Warin**, professeure titulaire au département de mathématiques et génie industriel, Polytechnique Montréal, présidente-directrice générale du CIRANO et chercheuse co-responsable de la fonction Veille et enquêtes de l'OBVIA.

Collaboratrices pour la rédaction du rapport :

- **Ariane Durand**, directrice du projet au CIRANO. Ariane a collaboré sur la gestion du projet, la conduite des entrevues, l'analyse et la rédaction des fiches des études de cas.
- **Juliette Lhuisset**, étudiante à la maîtrise à Polytechnique Montréal. Juliette a collaboré sur la revue de littérature et la comparaison des écosystèmes en IA.

Contributeur-trices

Plusieurs experts ont participé à la réflexion autour de la problématique du mandat et ont facilité la mise en contact avec des représentants des écosystèmes canadiens et à l'international. Plusieurs rencontres ont été organisées. Des chercheurs du CIRANO ont apporté leur expertise sur différentes parties et ont été impliqués dans la réflexion, la relecture et les réponses aux commentaires du rapport :

- **Benoit Dostie**, professeur titulaire au département d'économie appliquée, HEC Montréal, Chercheur principal Innovation et transformation numérique au CIRANO, co-responsable de la fonction Veille et enquêtes de l'OBVIA.
- **Thierry Warin**, professeur titulaire au département des Affaires internationales, HEC Montréal, chercheur principal en science des données au CIRANO, chercheur à l'OBVIA.
- **Genevieve Dufour**, directrice des grands projets de collaboration au CIRANO

Plusieurs partenaires ont aussi été consultés durant le processus :

- **Lyse Langlois**, directrice générale de l'OBVIA.
- **Audrey Murray**, présidente, Commission des partenaires du marché du travail (CPMT).
- **Anne-Marie Hubert**, associée directrice pour l'Est du Canada, EY Canada.

Des échanges réguliers ont eu lieu avec le **comité de suivi** mis en place par le Forum IA Québec et le PIA. Ce comité était coordonné par **Réjean Roy** (pour le Forum IA Québec) et **Benoit Pagé** (pour le Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle). Des représentants du Mila, d'IVADO, de l'OBVIA et de JACOBBS ont participé aux rencontres.

Mandat donné au CIRANO

en collaboration avec le fonction Veille et enquêtes de l'OBVIA

Conduire une analyse comparative d'écosystèmes en IA dans le but de repérer des pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances qui pourraient être adaptées et adoptées au Québec.

Pour citer ce document

De Marcellis-Warin N. (2022). Analyse comparative d'écosystèmes en IA dans le but de repérer les pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances. (2022RP-20).

<https://doi.org/10.54932/SXOH3928>

Ce mandat a été donné par le Forum IA Québec et le Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle (PIA) :



Le Forum IA Québec soutient l'essor de l'écosystème québécois en IA. Il a pour mission de faire de l'IA un levier de développement économique et social pour le Québec. Il poursuit cet objectif en assurant la concertation des acteurs du milieu et leur mobilisation autour de projets communs ; en menant des activités de vigie et de réflexion stratégique ; en favorisant le rayonnement de l'écosystème au Québec, au Canada et à l'étranger. Le Forum appuie également les acteurs gouvernementaux dans leurs efforts d'adoption de l'IA de manière éthique et socialement responsable, et dans l'élaboration de politiques visant à soutenir le secteur.

<https://forumia.quebec/>



Le Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle (PIA) est une initiative des cégeps et des universités situés sur l'Île de Montréal en vue d'apporter une réponse concertée aux défis de formation que représentent les développements de l'intelligence artificielle. C'est un réseau de chercheurs, enseignants, professeurs, gestionnaires provenant de douze cégeps et sept universités situés sur l'Île de Montréal qui œuvrent à construire une ou des compréhensions partagées à propos des enjeux soulevés par l'intelligence artificielle pour l'enseignement supérieur et la formation.

<https://poleia.quebec/>

Remerciements

La réalisation de ce projet a nécessité la consultation d'un grand nombre d'acteurs de l'écosystème IA au Québec (établissements d'enseignement, centres de recherche, centres collégiaux de transfert de technologie (CCTT), startups, entreprises) ainsi que des représentants de plusieurs établissements et organisations des écosystèmes IA à travers le Canada et à l'international.

Nous ne pouvons pas nommer toutes les personnes que nous avons rencontrées mais nous remercions particulièrement Emelie Brunet et Catherine Saine (Mila), Brian Moore (IVADO), Nicolas Martin (OBVIA), Matthieu Boisclair (Jacobb), Phil Mitsopoulos (Stradigi.ai), François Borelli (Numana), François Labonté (CRIM), Lori Glover (MIT AI), Tawid Chtioui (Aivancity), René Sylvestre (DG Québec Singapour), Veronica Puah (SGInnovate), Ville Valtonen (Elements of AI), Michael Page (Linkedin Learning), Steve Lowry (AlinBC), Katarina Fegeant (AI Sweden), Mario Rovera-Huguet (UK Science and Innovation Network), Harshaan Sandhu (UK Office for AI), Jennifer LaPlante (Deep Sense), Andreas Liebl (AppliedAI), Adrien Sellenz (Digital Wallonia 4 AI).

Nous tenons à remercier Marie-Paule Jeansonne et Réjean Roy (Forum IA Québec), Benoit Pagé et Sylvie Normandeau (Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle) ainsi que les personnes du comité de suivi du projet. Leurs suggestions et commentaires lors des rencontres organisées pour échanger sur les écosystèmes choisis ont permis d'améliorer le contenu du rapport. Nous remercions les équipes du CIRANO et de l'OBVIA, et particulièrement Lyse Langlois, directrice de l'OBVIA, pour leur soutien pour la réalisation de cette étude. Nous remercions les chercheurs Benoit Dostie (HEC Montréal, CIRANO, OBVIA) et Thierry Warin (HEC Montréal, CIRANO, OBVIA) ainsi que Geneviève Dufour (CIRANO) pour leurs suggestions et commentaires. Nous remercions Audrey Murray, Présidente de la CPMT ainsi qu'Anne-Marie Hubert, Associée directrice d'EY pour l'Est du Canada, et son équipe, pour leurs commentaires lors de rencontres de travail et pour la mise en contact dans les différents écosystèmes. Nous remercions les membres de la communauté de pratique sur l'intégration de l'IA en gestion animée par Marie-Claude Sécher (CDPQ) et Ravy Por (KPMG) pour leurs commentaires lors de ma présentation de la *Déclaration de Montréal pour le développement de l'IA responsable*.

Nous remercions aussi les participants au webinaire organisé par le PIA le 25 août 2021 sur le thème « *Nouvelles compétences, nouvelles formations : l'enseignement supérieur comme acteur stratégique de l'écosystème en IA* ». Nous avons fait une présentation préliminaire des grands constats du rapport. Nous remercions particulièrement les panélistes Valérie Bécaert (ServiceNow), Yoshua Bengio (Mila et Université de Montréal), Mélanie Bosc (TECHNOcompétences) et Mathieu Lefort (Montréal International) qui ont réagi aux principaux constats. Les échanges qui ont suivi ont été riches pour nous aider à bonifier la partie recommandations du rapport.

Résumé exécutif

Objectif de l'étude

Le Forum IA Québec et le Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle (PIA) ont mandaté le CIRANO, en collaboration avec la fonction Veille et enquêtes de l'OBVIA, pour conduire une analyse comparative d'écosystèmes en IA, afin de repérer certaines pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances et de faire des recommandations pour le Québec.

Méthodologie de l'étude et écosystèmes en IA étudiés

La méthodologie s'est articulée en trois volets : 1) la réalisation d'une revue de documents et rapports publiés sur la formation et le transfert de connaissances en IA au Québec, dans le reste du Canada et ailleurs dans le monde, 2) La sélection d'écosystèmes en IA à explorer selon plusieurs critères (l'IA dans leur stratégie nationale, les initiatives innovantes, les pratiques de collaboration, l'utilisation responsable de l'IA), et 3) la conduite d'entrevues avec des représentants en lien avec les initiatives de formation et de transfert de connaissances au Québec et dans les écosystèmes retenus. • 13 écosystèmes ont été retenus dans 4 zones géographiques: Amérique du Nord (Canada avec l'Ontario, la Nouvelle-Écosse et la Colombie-Britannique, États-Unis avec la Californie et le Massachusetts), Europe (France, Belgique, Suède, Finlande, Allemagne, Royaume-Uni), Asie (Singapour) et Moyen-Orient (Israël). • Les offres de formation ont été catégorisées en fonction des types d'organisations (établissements d'enseignement ou autres institutions/organisations) et selon le format, diplômant ou non. Chaque individu a une stratégie de formation qui lui est propre pour sa formation initiale, sa préparation à l'intégration du marché du travail et le rehaussement de ses compétences en IA. Le transfert de connaissances dans le domaine de l'IA passe par des activités d'accompagnement et de collaboration entre établissements d'enseignement et entreprises. • La littératie numérique, de l'IA et des données forme une base de compétences nécessaires pour comprendre le niveau d'éveil à l'IA et les besoins de formations ainsi que l'acceptabilité sociale de l'IA.

Défis actuels des écosystèmes en IA et forces et faiblesses de l'écosystème québécois

Les défis actuels des écosystèmes en IA sont caractérisés par une forte demande de talents en intelligence numérique, une demande de formations qui répondent aux besoins du marché, l'émergence de nouveaux profils d'emploi, une demande en hausse pour le rehaussement des compétences des travailleurs en emploi et une adoption de l'IA par les entreprises encore limitée à certains secteurs. C'est ce qui a motivé la mise en place de nombreuses initiatives des établissements d'enseignements et d'autres types d'acteurs, autant en matière de formation que de transfert de connaissances. Pour le Québec, les rapports qui ont été publiés en 2020 et 2021 ainsi que les entrevues menées auprès des acteurs de l'écosystème en IA ont permis de faire un survol des forces et des faiblesses. Le Québec est reconnu pour son importante communauté de recherche en IA et son positionnement pour un développement responsable de l'IA. De nombreux établissements d'enseignement ont remodelé leurs programmes pour répondre aux enjeux du numérique et aux besoins du marché. Des initiatives concertées cégeps-universités

ont été mises en place et des collaborations de recherche appliquée ou l'intégration de stages ont vu le jour. Plusieurs instituts et organisations participent à accompagner les entreprises dans l'adoption de l'IA. Toutefois, la multiplicité des acteurs est souvent vue comme un obstacle pour les entreprises. Plusieurs organisations n'utilisent pas l'IA faute de compréhension générale de l'IA et de ses applications et en raison de la difficulté d'évaluer leur niveau de maturité, d'identifier les compétences nécessaires ou les besoins de formation pour les employés.

Principaux constats qui ressortent des analyses des écosystèmes en IA illustrés par une sélection d'études de cas

Six grands constats ont pu être faits concernant les pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances existantes à partir de l'analyse des écosystèmes en IA.

Constat 1 : Une offre de formations en IA appliquée interdisciplinaire et interuniversitaire

Tous les écosystèmes font ressortir une offre importante de formations en IA mais certaines se démarquent par leurs spécificités interdisciplinaires et interuniversitaires, soit en intégrant des cours d'application de l'IA, soit en proposant des programmes intégrés. Des formations interdisciplinaires courtes et en ligne ciblent aussi les exécutifs et les gestionnaires qui les choisissent le plus souvent selon le prestige de l'établissement.

Constat 2 : Des parcours d'apprentissage expérientiel "bidirectionnel" avec un accompagnement et du mentorat

Le marché recherche des étudiants qui ont déjà de l'expérience avec des applications de la science des données et de l'IA. Les établissements mettent en place des schémas de collaboration entre établissements, avec des instituts de recherche ou des entreprises en offrant du mentorat et de l'accompagnement. Cela prend la forme de stages intégrés dans les formations, de formations en alternance ou de projets en collaboration avec des entreprises. Ce transfert de connaissances est valorisé dans les deux sens notamment dans le cas de projets avec des PME qui se forment en même temps.

Constat 3 : Des écosystèmes qui intègrent les enjeux éthiques de l'IA dans les formations et le transfert de connaissances en IA et en font une marque de différenciation

Les établissements d'enseignement proposent des formations qui intègrent l'enseignement des principes éthiques et de responsabilité sociale dans les cours techniques pour éviter de donner une simple « couleur éthique » à la formation. Des cours spécifiques, conférences ou webinaires en éthique sont aussi donnés pour sensibiliser les professionnels. Certains écosystèmes en font une véritable marque de différenciation.

Constat 4 : Une offre de formations qui s'ajuste rapidement et qui répond sur « mesure » aux besoins des entreprises

Les offres de formation étudiées se démarquent par leur adéquation avec la réalité des besoins du marché. Les entreprises pratiquent une identification poussée des besoins en compétences, et reconnaissent des cours en ligne dans leur plan de formation. Certains partenariats employeur/université offrent des formations sur mesure mais ce sont surtout les entreprises d'éducation qui proposent le plus rapidement de nouvelles formations.

Constat 5 : Un accompagnement et un transfert de connaissances ciblé (par type d'entreprise, type de communauté, domaine d'application ou secteur)

Les écosystèmes étudiés proposent des stratégies d'accompagnement et de transfert de connaissances qui prennent en compte les besoins spécifiques des connaissances techniques, de certaines entreprises (startup ou PME) ou des domaines d'application précis (par ex. l'IA pour le secteur des océans) ou de communautés minoritaires ou d'immigrants pour les intégrer plus rapidement dans l'écosystème.

Constat 6 : Des formations - visibles et soutenues par les gouvernements - pour sensibiliser et informer la population des opportunités et des enjeux de l'IA

Plusieurs écosystèmes ont mis en place des cours ou des programmes pour sensibiliser la population sur les opportunités et les enjeux de l'IA. Ces formations sont mises en avant et soutenues par les gouvernements. Certains cours ont des modules plus avancés qui peuvent aussi permettre aux étudiants, professionnels, et entreprises de mieux appréhender le potentiel de l'IA et des transformations nécessaires pour créer un nouveau modèle d'affaires ou améliorer leurs processus.

Recommandations pour améliorer la formation et le transfert de connaissances en IA au Québec

À la suite des constats sur les pratiques innovantes pour la formation et le transfert de connaissances dans les écosystèmes en IA étudiés, et à la suite des discussions que nous avons eues avec des représentants de l'écosystème québécois, nous avons identifié certaines pistes qui pourraient être recommandées pour le Québec.

- ✦ Recommandation 1 : Élargir l'offre de programmes de formations initiales en IA appliquée combinées à des formations interdisciplinaires et interuniversitaires.
- ✦ Recommandation 2 : Créer des opportunités de développement professionnel qui font la promotion de parcours expérientiels et offrir plus de formations intégrant ce type de modalités d'apprentissage.
- ✦ Recommandation 3 : Valoriser les formations en IA responsable intégrées dans les programmes ou dans le transfert de connaissances pour qu'elles soient vues comme une différenciation de l'offre au Québec.
- ✦ Recommandation 4 : Augmenter la collaboration entre les établissements d'enseignement et les entreprises pour soutenir des programmes de formation « sur mesure » offrant des attestations ou des certifications pour les travailleurs souhaitant acquérir des compétences ou se perfectionner en IA.
- ✦ Recommandation 5 : Mettre en place des moyens pour mieux informer et former les décideurs et les gestionnaires au potentiel d'applications de l'IA dans leur contexte d'affaires de même qu'aux facteurs de succès qui favorisent une adoption efficace et responsable.
- ✦ Recommandation 6 : Élaborer une stratégie provinciale pour sensibiliser la population du Québec aux opportunités et aux enjeux de l'IA et augmenter la littératie numérique.

Table des matières

1. Introduction	11
2. Mise en contexte de l'étude et méthodologie	14
2.1 Mise en contexte	14
2.2 Méthodologie de recherche	15
2.3 Choix des écosystèmes en IA à explorer	15
2.4 Conduite d'entrevues avec des parties prenantes gravitant dans le domaine de la formation dans les différents écosystèmes en IA	19
3. Référentiel global des types d'offres de formation et transfert de connaissances et survol de la situation actuelle au Québec	20
3.1 Référentiel global des types d'offres de formation et transfert de connaissances	20
3.2 Survol de la situation actuelle de l'écosystème IA québécois en matière de formation et de transfert de connaissances	30
4. Principaux constats qui ressortent des analyses des écosystèmes en IA illustrés par une sélection d'études de cas	39
4.1 Constat 1 : Une offre de formation en IA appliquée interdisciplinaire et interuniversitaire	41
4.2 Constat 2 : Des parcours d'apprentissage expérientiel "bidirectionnel" avec un accompagnement et du mentorat	46
4.3 Constat 3 : Des écosystèmes qui intègrent les enjeux éthiques de l'IA dans les formations et le transfert de connaissances en IA et en font une marque de différenciation	50
4.4 Constat 4 : Une offre de formation qui s'ajuste rapidement et qui répond sur « mesure » aux besoins des entreprises	53
4.5 Constat 5 : Un accompagnement et un transfert de connaissances ciblé (par type d'entreprise, type de communauté, domaine d'application ou secteur)	56
4.6 Constat 6 : Des formations - visibles et soutenues par les gouvernements - pour sensibiliser et informer la population des opportunités et des enjeux de l'IA	59
4.7 Éléments de comparaison des études de cas présentées selon certaines caractéristiques et les constats établis	62
5. Recommandations pour améliorer la formation et le partage de connaissances en IA au Québec	64
6. Conclusion	75
Références	77
ANNEXES	82

Liste des schémas

Schéma 1	Panorama des écosystèmes en IA étudiés dans le but de repérer des pratiques innovantes en matière de formation et transfert de connaissances18
Schéma 2	Types d’offres de formation et de transfert de connaissances en IA - Référentiel global.....29
Schéma 3	Types d’offres de formation et de transfert de connaissances en IA - Référentiel Québec.....38
Schéma 4	Identification des études de cas dans chacun des écosystèmes en IA étudiés dans le reste du Canada et à l’international40
Schéma 5	Matrices de comparaison des études de cas présentée63

Liste des encadrés

Encadré 1	Définition de l’intelligence artificielle (IA)..... 13
Encadré 2	Questions posées lors des entrevues avec les acteurs des écosystèmes en IA étudiés.....18
Encadré 3.	Activités menant à du transfert de connaissances.....26
Encadré 4	Éducation aux STIM et à l’IA.....28
Encadré 5	Hi! Paris, un centre de recherche et d’enseignement interdisciplinaire et interinstitutionnel42
Encadré 6	Exemples de projets en IA proposés par les entreprises dans le programme <i>Summation</i> de SGinnovate (Singapour).....48
Encadré 7	Faculty propose des formations sur mesure pour renforcer les compétences en sciences des données et en IA d’une équipe qui travaille sur un même projet IA.....55
Encadré 8	« L’IA pour tous » cours gratuit offert par Deeplearning.ai sur Coursera.....62
Encadré 9	Principales recommandations pour améliorer la formation et le partage de connaissances en IA au Québec.....65

Liste des abréviations et des acronymes

AEC	Attestation d'études collégiales
AEP	Attestation d'Études Professionnelles
IA	Intelligence artificielle
AInBC	Artificial Intelligence Network of British Columbia
CCTT	Centres Collégiaux de Transfert de Technologie
CEST	Commission de l'Éthique en Science et en Technologie
CIFAR	Canadian Institute For Advanced Research
CIQ	Conseil Interprofessionnel du Québec
CLOM	Cours en Ligne Ouvert et Massif
CNRC	Conseil National de Recherches du Canada
CNRS	Centre National de Recherche Scientifique (France)
COQES	Conseil Ontarien de la Qualité de l'Enseignement Supérieur
CPMT	Commission des Partenaires du Marché du Travail
DEC	Diplôme d'études collégiales
DEP	Diplôme d'Études Professionnelles
DESS	Diplôme d'études supérieures spécialisées
ECTS	European Credit Transfer and Accumulation System
ENSAE	Ecole Nationale de la Statistique et de l'Administration Economique
ENSTA	Ecole Nationale des Techniques Avancées
FLOT	Formation en Ligne Ouverte à Tous
HBAP	Harvard Business Analytics Program
IVADO	Institut de valorisation des données
LL	LinkedIn Learning
LMS	Learning Management System
MBA	Master of Business Administration
MBAN	Master of Business Analytics
MIT-CSAIL	MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory
MTESS	Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité Sociale
MOOC	Massive Open Online Course
PARI	Programme d'Aide à la Recherche Industrielle
SIA	Systèmes d'Intelligence Artificielle
STIM	Science, technologie, ingénierie, mathématiques
TI	Technologies de l'Information
TPE	Très petite entreprise
UX	User Experience

1. Introduction

La transformation numérique, qui s'accélère dans tous les secteurs de l'économie, apporte des conditions favorables à l'adoption et à l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA). En 2018, le Comité d'orientation de la grappe en intelligence artificielle publiait la *Stratégie pour l'essor de l'écosystème québécois en intelligence artificielle* (Comité d'orientation de la grappe en intelligence artificielle, 2018). Les auteurs identifiaient les nombreux points forts de l'écosystème : « une expertise de pointe au-delà de l'Université de Montréal et de l'Université McGill, une présence des forces sectorielles propres à chaque université sur lesquelles bâtir et créer un potentiel de spécialisation, un mouvement d'augmentation de la quantité de talents embauchés par les universités, une proactivité des acteurs académiques (pour la révision des programmes connexes à l'IA) ». Parmi les points faibles, le rapport soulignait : « l'absence d'arrimage entre la formation universitaire, la formation collégiale et les besoins de l'industrie ; le fait que la coordination entre les universités et les acteurs industriels demeurent souvent difficile - des entreprises rapportent par exemple ne pas bien savoir vers qui se tourner pour entreprendre un projet collaboratif de recherche appliquée ». Le rapport proposait « qu'une meilleure collaboration interuniversitaire gagnerait à être instaurée pour réduire les redondances [...], assurer un minimum de coordination entre les programmes universitaires et [...] offrir une formation riche, permettant aux étudiants d'avoir accès aux départements et aux expertises de plusieurs universités ».

Ces constats vont dans le même sens que ceux faits dans la plupart des écosystèmes d'IA concernant notamment les besoins en formation initiale et continue ainsi que les besoins des entreprises - et surtout des petites - en accompagnement et expertises. La capacité des établissements d'enseignement à s'adapter ne va pas aussi vite que la transformation numérique, causant un écart dans cette adaptation et les besoins de compétences du marché. En effet, cela demande aux établissements d'enseignement d'adapter les formations existantes, mais aussi d'en proposer de nouvelles n'existant tout simplement pas.

Selon une étude d'IBM, 63% des dirigeants mondiaux considèrent la disponibilité de compétences comme le principal obstacle à la réussite de l'IA (IBM, 2018). Plus proche de nous, 68% des entreprises canadiennes préfèrent remplacer leurs employés par de nouveaux talents, que de former les employés actuels (11%) afin de faire évoluer leurs compétences (Deloitte, 2020). Il est clair que le niveau de besoins excède celui des talents disponibles sur le marché. En plus de former de nouveaux talents, le besoin peut être comblé par des stratégies de rehaussement des compétences (*upskilling*) ou de requalification (*reskilling*) des travailleurs¹.

¹ Le rehaussement des compétences est le processus d'apprentissage de nouvelles compétences ou d'enseignement de nouvelles compétences aux travailleurs. La requalification est le processus qui consiste à acquérir de nouvelles compétences afin de pouvoir effectuer un travail différent.

Dans le chapitre 3 du Québec Économique 9, Hadj (2020) a rappelé les enjeux et les défis que le Québec, mais aussi la plupart des écosystèmes en IA, doivent surmonter : « Alors que les applications de l'IA commencent à se déployer au Québec, le recrutement et la rétention des talents nécessaires à la production et à l'intégration de l'IA dans les entreprises requièrent qu'un effort particulier soit fait pour accroître l'offre de formation initiale dans les domaines du numérique et de l'IA, et pour donner une plus grande importance aux domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STIM) dans l'éducation secondaire et postsecondaire ainsi qu'au perfectionnement professionnel de la main-d'œuvre actuelle. Les programmes de formation de base offerts par les établissements d'enseignement ainsi que la formation continue et les formations visant le perfectionnement doivent être axés sur des exigences en mutation. Tous les acteurs du domaine de la formation doivent fournir des efforts conjoints pour assurer une transition équitable des travailleurs au fur et à mesure du déploiement de l'IA, notamment grâce à des programmes de formation pensés pour être suivis tout au long de la vie active, à du soutien aux personnes affectées par les suppressions de postes et à un accès facilité à de nouvelles possibilités sur le marché du travail ».

Plusieurs questions se posent concernant l'offre de formation : *Comment inclure la formation en IA dans les formations initiales existantes ? Quelles nouvelles formations initiales spécialisées en IA seraient nécessaires ? Comment combler les lacunes et faire évoluer rapidement les compétences des travailleurs actuellement sur le marché ? Comment collaborer ou augmenter la collaboration entre les entreprises et les institutions d'enseignement pour mieux soutenir le développement des métiers en intelligence numérique et offrir des formations adaptées aux besoins du marché ? Comment le transfert de connaissances se fait-il et comment peut-il être amélioré lors des activités d'accompagnement, de projets collaboratifs ou de mandats d'exécution ?*

Plusieurs initiatives ont été mises en place au Québec du côté des établissements d'enseignement, instituts et centres de recherche et d'autres acteurs. Que ce soit au niveau de la formation initiale ou continue au collégial et à l'université, de nouveaux programmes ont été créés et des programmes existants ont été modifiés. Un effort a été fait pour mieux arrimer la formation des établissements d'enseignement et les intermédiaires de recherche ont renforcé leur rôle pour assurer une meilleure coordination entre les universités et les acteurs industriels en essayant d'aider à faire du maillage entre les chercheurs et les entreprises qui souhaitent entreprendre un projet collaboratif de recherche appliquée. Des initiatives sont soutenues par le gouvernement, notamment pour l'accompagnement des PME. Parmi les précédentes initiatives, on peut notamment citer la création du Pôle montréalais d'enseignement supérieur en intelligence artificielle (PIA) pour ce qui est de l'aide au développement de l'offre de formation, celle du Centre Collégial de Transfert en Technologie (CCTT) de JACOBBS pour le transfert de connaissances; ou encore les initiatives d'IVADO et ScaleAI de rapprochement avec les entreprises.

Néanmoins, certains défis demeurent et, comme il y a toujours matière à amélioration, le Forum IA Québec et le PIA ont joint leurs forces afin de faire conduire une analyse comparative

d'écosystèmes en IA ailleurs au Canada et dans le monde dans le but de repérer des pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissances en IA. La démarche permettra d'explorer différentes façons de faire dans des institutions collégiales, universitaires et dans des organisations privées. L'objectif de l'analyse est ainsi de dégager des pistes pour améliorer la formation et le transfert des connaissances en IA à Montréal et au Québec.

Afin d'assurer une définition commune à l'expression « intelligence artificielle » tout au long de cette analyse, nous avons utilisé celle proposée par le Forum IA Québec.

Encadré 1.

Définition de l'intelligence artificielle (IA)

L'expression « intelligence artificielle » est utilisée pour décrire des machines ou des programmes qui sont capables d'exhiber des comportements que l'on attribue généralement aux êtres humains, comme apprendre, comprendre des langues comme le français ou l'anglais, ou résoudre des problèmes complexes. Les techniques d'apprentissage automatique, les avancées en recherche opérationnelle (une discipline qui vise le développement de modèles mathématiques conceptuels pour optimiser la prise de décisions) et l'explosion de la puissance de calcul mise à la disposition des chercheurs ont récemment permis de réaliser des percées remarquables en IA. Ces dernières permettent aux ordinateurs d'améliorer leur capacité à réaliser des tâches sans qu'un humain ne les ait explicitement programmées pour ce faire. (Forum IA Québec, 2020).

La formation et le transfert de connaissances en IA couvrent à la fois les techniques de l'IA (l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond, le traitement des images, le traitement des langues naturelles, etc.), les possibles applications de l'IA dans différents secteurs d'activité (finance, santé, justice, industrie, transport, etc.) et les aspects éthiques de l'IA.

Après une première section avec une mise en contexte de l'étude et de la méthodologie utilisée, nous allons organiser le rapport en trois sections afin de :

- Présenter un référentiel des offres de formation et de transfert de connaissances en IA afin de comparer les écosystèmes et faire un survol de la situation actuelle au Québec ;
- Analyser différents écosystèmes en IA et des initiatives de formation et de transfert de connaissances dans le reste du Canada et à travers le monde pour identifier de meilleures pratiques et des approches innovantes et établir des constats ;
- Proposer des recommandations pouvant être mises en place pour améliorer ou adapter la formation et le transfert de connaissances dans l'écosystème IA au Québec.

2. Mise en contexte de l'étude et méthodologie

Dès 2019, un rapport de l'OCDE mentionnait que dans le contexte de transformation accélérée qui inclut entre autres de nouvelles plateformes technologiques et la démocratisation du travail à distance, on note que la quête de versatilité et de nouvelles compétences via des formations formelles ou informelles, parrainées ou non par l'employeur, devrait prendre de plus en plus d'importance (OCDE, 2019). Bien qu'il soit difficile de prévoir de manière certaine sur quelles compétences repose la création de valeur économique de demain, il est impératif de créer un système d'éducation flexible, accessible et adaptatif afin de faire converger les leviers et facteurs clés de succès.

2.1 Mise en contexte

Les établissements d'enseignement essaient d'adapter leur offre de formation en proposant de nouvelles formations diplômantes qui répondent au contexte qui évolue et aux besoins du marché. Il y a actuellement une accélération de l'offre des formations offertes en IA par les établissements d'enseignement. Ces formations sont pour la plupart créditées. Il y a aussi des formations et activités non créditées offertes par ces établissements, mais aussi par d'autres organismes publics ou des entreprises privées qui sont destinées aux travailleurs en emploi ou à des étudiants qui souhaitent des formations complémentaires. Bien que plusieurs misaient déjà il y a quelques années sur une augmentation du niveau de popularité des systèmes de formation en ligne et d'autoformation (Rainie et Anderson, 2017), il est important de se pencher sur les meilleures pratiques et les pratiques innovantes mises en place par des écosystèmes en IA.

Dans la présente étude, nous allons faire une analyse de plusieurs régions reconnues comme pôles d'excellence en IA dans le but de saisir les pratiques exemplaires en matière de formations et de transfert de connaissances, et de décrire les arrimages établis entre établissements d'enseignement et les entreprises productrices d'IA, les organisations utilisatrices d'IA, les investisseurs et les organismes de soutien et les acteurs gouvernementaux. Les finalités de cette analyse sont entre autres :

- De repérer des expériences ou des pratiques innovantes qui pourraient aider les institutions d'enseignement à améliorer ou adapter la formation offerte en IA ;
- D'identifier des exemples de modèles de collaboration et de partenariat qui permettraient aux acteurs universitaires et collégiaux et à leurs partenaires de mieux répondre aux besoins croissants de l'écosystème ;
- De mieux connaître des pratiques de formation ou de transfert de connaissances universitaires ou collégiales qui favorisent l'utilisation efficace et responsable de l'IA par les organisations ;
- D'identifier des pratiques de formation ou de collaboration novatrices qui stimulent la création et l'essor de nouvelles entreprises.

2.2 Méthodologie de recherche

La méthodologie suivie est articulée en trois volets :

- Le premier volet a consisté à faire une revue des documents et rapports publiés pertinents sur la formation et le transfert de connaissances en IA au Québec, dans les autres provinces du Canada et ailleurs dans le monde. Les références utilisées (données, documentations, rapports de recherche, articles et autres) proviennent de plusieurs sources (instituts de recherche, ministères, entreprises spécialisées en IA, cabinets professionnels). Nous allons présenter les informations recueillies qui nous ont permis de construire un référentiel global des offres de formations existantes et d'identifier des exemples de pratiques innovantes dans les différents écosystèmes. Cette revue a permis de collecter les rapports publiés au Québec. Nous avons complété cette analyse en consultant les sites internet des établissements d'enseignement et en rencontrant plusieurs acteurs collégiaux et universitaires au Québec. Cela nous a permis de donner des exemples de l'offre de formation en IA au Québec.
- Le deuxième volet a permis de sélectionner les écosystèmes à explorer plus en profondeur à partir d'une liste de critères préétablis (que nous décrirons dans la section suivante). Nous avons consulté pour commencer les sites internet des établissements d'enseignement ainsi que de certaines institutions et organisations dans chaque écosystème.
- Le troisième volet a permis de conduire des entrevues avec des professionnels et des représentants en lien avec différentes initiatives de formation pour chacun des écosystèmes sélectionnés². Lorsque cela était possible, nous avons toujours commencé par contacter les organisations qui fédèrent les initiatives de l'écosystème en IA (ex. AI Network for BC, AI Sweden, etc.). Certains contacts ont été transmis par le Forum IA Québec, le PIA, EY Québec, la CPMT et l'OBVIA. Ces échanges ont permis d'affiner notre connaissance de ces écosystèmes et d'identifier des cas pour illustrer certaines des meilleures pratiques de formation (que nous avons reprises dans les études de cas). Nous avons fait des entrevues pour chaque étude de cas retenue.

2.3 Choix des écosystèmes en IA à explorer

Dans le but d'identifier les pratiques exemplaires en formation et en transfert de connaissances au Canada, hors du Québec et dans le monde, nous avons sélectionné des écosystèmes en IA sur la base des critères suivants :

² Lors de nos entrevues avec plusieurs acteurs de l'écosystème IA du Québec, ils ont identifié des contacts dans d'autres écosystèmes.

- Le pays ou la région ou la province est reconnu(e) pour avoir identifié dans ses priorités stratégiques la formation et le perfectionnement de personnel qualifié en IA ainsi que des initiatives pour aider les étudiants, les travailleurs et la population à acquérir de nouvelles compétences ;
- Des initiatives de formation et de transfert de connaissances en IA innovantes ont été mises en place ou adoptées (certaines pouvant être analysées plus en profondeur pour notre étude) ;
- Des initiatives se font en collaboration avec les établissements d'enseignement ;
- Les pratiques favorisent l'utilisation efficace et responsable de l'IA par les organisations.

Nous avons principalement exploité quatre sources documentaires : le rapport du CIFAR (Dutton et al., 2020)³, des chapitres des éditions 2019 et 2020 du Stanford AI Index (Perrault et al. 2019, Zhang et al. 2020) et le rapport de la Commission Européenne sur l'offre de formation avancée en compétences numériques en 2019-2020.

Nous avons retenu trois critères liés à la formation et aux talents en IA tirés du rapport du CIFAR sur les stratégies nationales et régionales en matière d'IA :

- Perfectionnement du personnel qualifié;
- Compétences et avenir du travail;
- Initiatives en éthique sur l'utilisation et le développement de l'IA.

Les autres sources nous ont permis de repérer différentes stratégies nationales ou régionales, particulièrement les collaborations académiques et les initiatives de rehaussement de compétences (Perrault et al., 2019, chap. 9), les investissements en enseignement de l'IA des meilleures universités dans le monde (Zhang et al., 2021, chap. 4). De plus, le rapport de la Commission européenne spécifie que les zones les plus performantes dans l'écosystème techno-économique mondial de l'IA sont les États-Unis, la Chine et l'UE27; les forces du Royaume-Uni et du Canada sont également mises en évidence.

Nous avons aussi consulté le comité de suivi mis en place pour ce projet par le Forum IA Québec et le PIA. Les membres nous ont suggéré des initiatives à l'international à explorer (par exemple, l'écosystème d'Israël qui a soutenu des initiatives innovantes de formation en entreprise).

Le Mila nous a partagé les résultats d'une étude qu'il a fait réaliser par Juniper en janvier 2020 sur le marché de l'offre de rehaussement des compétences en IA. Cette étude avait pour objectif d'identifier les besoins et les opportunités du marché au Canada et à l'international pour le développement de formations professionnelles en apprentissage machine et en éthique de l'IA pour des travailleurs en emplois. Elle ciblait à la fois les personnes qui avaient des connaissances en apprentissage machine et celles qui avaient les bases requises en STIM pour de tels développements. L'étude a identifié des exemples de programmes ou de cours qui sont offerts. Cela a complété notre revue et nous a permis de cibler certains écosystèmes dont les

³ Voir notamment le tableau 4 page 10 (« carte thermique des stratégies en IA »).

programmes sont gérés par des organisations soutenues par le gouvernement (l'écosystème de Singapour) ainsi que certains programmes spécifiques qui avaient été identifiées (notamment les formations offertes par les universités américaines).

Lors de discussions avec des acteurs de l'écosystème en IA au Québec, nous avons aussi eu des suggestions sur des initiatives ailleurs au Canada qu'il serait intéressant de regarder plus en détail comme l'écosystème de l'Ontario. On peut citer le projet de collaboration avec LinkedIn Learning ainsi que leur programme de microcertifications, l'écosystème de la Colombie-Britannique qui a des programmes ciblés en IA pour les start-ups en collaboration avec un établissement d'enseignement ou l'écosystème de la Nouvelle-Écosse qui a un focus spécifique de collaboration et d'accompagnement pour des projets en IA appliquée au secteur des océans. Nous avons donc exploré toutes les zones ou pays suggérés afin de faire une sélection et identifier des études de cas spécifiques pour lesquelles nous allions aller chercher plus d'informations. Selon les zones géographiques, différents modèles ont été observés dont certains avec une offre de formation en dehors des établissements d'enseignement. Nous avons aussi observé une offre de plus en plus importante de formations qui vient d'entreprises privées d'éducation ou de grandes entreprises technologiques (par exemple, IBM, Google, Amazon).

Basés sur l'ensemble de ces critères et sur les consultations, nous avons ainsi retenu pour notre étude 13 écosystèmes en IA dans 4 zones géographiques : Amérique du Nord (Canada avec l'Ontario, la Nouvelle-Écosse et la Colombie-Britannique, États-Unis avec la Californie et le Massachusetts), Europe (France, Belgique, Suède, Finlande, Allemagne, Royaume-Uni), Asie (Singapour) et Moyen-Orient (Israël). Le schéma 1 positionne sur une carte les différents écosystèmes en IA qui ont été étudiés.

Notre objectif dans la suite du rapport n'est pas de décrire en détail les écosystèmes retenus, mais de faire ressortir certaines caractéristiques et pratiques innovantes que nous analyserons plus en détail, afin de pouvoir faire des recommandations pour le Québec. Nous ajouterons aussi parfois des exemples issus d'autres écosystèmes que nous n'avons pas étudiés en profondeur mais qui peuvent être intéressants à titre de comparaison sur le plan de la formation⁴.

⁴ Par exemple, l'Australie a une stratégie similaire à celle de Singapour (priorité mise sur la recherche et la stratégie industrielle) avec une volonté de devenir le leader un jour en intelligence augmentée, ou encore Taiwan qui a établi une stratégie pour le personnel qualifié avec une approche quantifiée : avoir 1000 « élites » dans le domaine des technologies l'IA, former 10,000 personnes aux applications de l'IA, attirer des talents en AI d'ailleurs. Sources : <https://www.adelaide.edu.au/aiml/news/list/2020/10/07/20m-to-establish-centre-for-augmented-reasoning-at-aiml> <https://ai.taiwan.gov.tw/actionplan/ai-talent-program/>

SCHÉMA 1 : PANORAMA DES ÉCOSYSTÈMES EN IA ÉTUDIÉS DANS LE BUT DE REPÉRER DES PRATIQUES INNOVANTES EN MATIÈRE DE FORMATION ET DE TRANSFERT DE CONNAISSANCES



2.4 Conduite d'entrevues avec des parties prenantes gravitant dans le domaine de la formation dans les différents écosystèmes en IA

Un guide d'entrevue a été préparé afin de collecter de l'information sur chaque écosystème autour de plusieurs questions ciblées. Comme précisé auparavant, nous ne voulions pas faire une description exhaustive des écosystèmes, mais pouvoir identifier des initiatives et pratiques innovantes et les positionner dans notre référentiel de formation. Nous nous sommes préparés avant chaque entrevue en faisant un survol des documents existants qui décrivaient les différents écosystèmes en IA pour avoir une idée du contexte local. Nous avons préparé une liste de questions qui permettaient de faire des entrevues semi-structurées.

Encadré 2.

Questions posées lors des entrevues avec les acteurs des écosystèmes en IA étudiés

- Quelles pratiques innovantes sont mises en place concernant la formation (initiale et continue) et le transfert de connaissances dans votre écosystème ?
- Quelles stratégies sont mises en place pour rehausser les compétences des travailleurs en IA et offrir des formations en IA aux travailleurs ?
- Quelle est l'efficacité relative de chaque modèle ? (Nombre d'inscrits, nombre de finissants, entrée sur le marché du travail, emplois, si données disponibles)
- Comment s'assurer de développer des talents adaptés aux besoins du marché ?
- Comment la formation et le transfert de connaissances en IA sont-ils effectués au sein des grandes entreprises ? petites et moyennes entreprises ? Start-ups ?
- Comment intégrer les principes éthiques de l'IA dans les formations et dans le transfert de connaissances afin de s'assurer une utilisation responsable par les organisations ?
- Comment se fait la collaboration entre les parties prenantes dans l'écosystème de formation et de transfert de connaissances en IA (rôles et responsabilités) ?
- Quels sont les requis technologiques à mettre en place pour soutenir la formation IA ? (Infrastructures technologiques, politique de gestion des données, confidentialité, partage, sécurité, etc.).

Plus de 30 entrevues (pour une durée de 30 minutes à 1h30) ont été conduites avec des représentants de différentes parties prenantes dans les écosystèmes retenus au Canada et à l'international. Plusieurs initiatives seront mentionnées tout au long du rapport.

Nous avons souhaité étudier certaines d'entre elles afin d'illustrer des approches innovantes d'apprentissage et de transfert de connaissances. Des fiches ont été produites pour approfondir l'étude de certaines initiatives supportées par différents types d'organisation (voir l'annexe 4 à la fin du rapport). Nous avons procédé à la recherche et à l'analyse de toute la documentation relative à l'organisation sélectionnée afin de pouvoir positionner l'initiative dans le référentiel de formation (établissement d'enseignement/ autres types d'organisation-institution / transfert de connaissances/ littératie numérique, d'IA et de données).

3. Référentiel global des types d'offres de formation et transfert de connaissances et survol de la situation actuelle au Québec

La littérature actuelle sur les écosystèmes de l'IA et la transformation numérique montre qu'étant donné que les effets continus de l'innovation numérique sur le marché du travail sont incertains et qu'il est difficile de prévoir avec précision de quelles compétences le marché du travail aura besoin, il est nécessaire d'avoir en place un système d'éducation et de formation adaptatif et résilient qui sache répondre à des besoins changeants chez différentes clientèles.

Le plan stratégique 2020-2024 de la CPMT parle de « développement tout au long de la vie des compétences de la main-d'œuvre face à la transformation accélérée du marché du travail⁵. Dostie et Dufour (2020) montrent que l'accélération des changements technologiques a des implications importantes sur la manière dont sont articulés les systèmes de formation, non seulement pour les formations initiales, mais aussi pour les formations continues. En effet, comme le souligne un avis de la CEST, « avec l'IA, la vitesse des changements technologiques pourrait être plus rapide qu'elle ne l'était précédemment. Ceci pourrait faire en sorte que certaines compétences soient recherchées seulement pour une courte période. Ainsi, un plus grand nombre de personnes pourraient devoir se requalifier à plusieurs reprises au cours de leur carrière. De plus, un plus grand nombre de personnes pourraient ne pas perdre leur emploi, mais devoir suivre une formation parce que celui-ci se transforme » (CEST, 2021).

Avant d'identifier les pratiques innovantes de formation et de transfert de connaissances dans les différents écosystèmes en IA, il est nécessaire de les définir, de les catégoriser et d'identifier les acteurs qui offrent les formations ou qui permettent un transfert de connaissances. Nous allons donc présenter un référentiel global auquel nous nous référerons dans la suite du rapport et pour présenter notamment des exemples d'offres de formation au Québec. Dans le cadre de cette étude, nous entendons par "référentiel global" un ensemble d'éléments renvoyant les uns aux autres et dont nous étudierons les sous-ensembles.

3.1 Référentiel global des types d'offres de formation et transfert de connaissances

Il y a plusieurs classifications de la formation - que ce soit par le format, la durée, ou d'autres caractéristiques (initiale ou continue, spécifique ou générale, en classe/en ligne, à temps partiel/temps plein, structurée/non structurée, diplômante/ attestation, etc.). Les formations peuvent être différenciées selon l'acteur qui les délivre. Cela peut être par des établissements d'enseignement (collèges ou universités incluant des instituts ou centres de recherche et des initiatives multiuniversitaires qui sont rattachés à ces établissements) ou par d'autres types d'organisations/institutions (que ce soient des organisations privées ou des OBNL).

⁵ <https://www.cpmt.gouv.qc.ca/publications/pdf/CPMT-plan-strategique.pdf>

Si l'on regarde spécifiquement la formation des adultes (âgés de 25 à 64 ans qui ont généralement terminé leur formation initiale et ont commencé leur vie professionnelle), l'OCDE (2020) propose une classification plus large qui sépare : *l'éducation formelle* (activités d'apprentissage institutionnalisées - séminaires, cours, formation en cours d'emploi, enseignement ouvert et à distance, etc. reconnus comme des programmes par les autorités compétentes en matière d'éducation ou équivalentes) et *l'éducation non formelle* (activités d'apprentissage institutionnalisées qui sont de courte durée (moins d'un semestre ou équivalent temps plein) et non reconnues par les autorités compétentes en matière d'éducation ou d'équivalence⁶.) Dostie et Dufour (2020) proposent une classification qui se veut un écho de celle faite par la *Loi favorisant le développement et la reconnaissance des compétences de la main-d'œuvre en vigueur au Québec*. Dans cette classification, ils ont regroupé sous l'étiquette appelée « formation formelle » celles qui étaient les plus susceptibles d'être reconnues aux fins de la loi dite « du 1 % »; cela inclut à la fois des ateliers, la formation scolaire, mais aussi toute formation se donnant hors des lieux de travail.

Les besoins de formation en IA couvrent à la fois les méthodologies de l'IA (l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond, le traitement des images, le traitement des langues naturelles, etc.), les applications de l'IA dans différents secteurs d'activité (finance, santé, justice, agriculture, industrie, transport, etc.) et les enjeux liés à l'utilisation de l'IA, notamment les aspects éthiques qu'elle soulève. Cela requiert donc des formations aux techniques de l'IA pour les développeurs, les programmeurs, les chercheurs et les utilisateurs d'IA, ainsi que des formations s'adressant aux cadres, aux dirigeants ou encore aux employés d'entreprises qui ne sont pas dans le développement ou l'utilisation directe de l'IA, mais qui sont des experts d'autres métiers qui vont être impactés par l'IA et qui doivent connaître la valeur et la plus-value de l'IA pour leur organisation. Tous doivent avoir une formation sur les enjeux éthiques se rapportant à l'utilisation de l'IA. Cela veut dire qu'en plus des formations initiales (premier cycle et cycles supérieurs), il va y avoir un besoin de formation continue qui passe pour les travailleurs par la formation prodiguée en cours d'emploi, qu'elle soit soutenue par leur employeur ou non. Rainie et Anderson (2017) mentionnent les résultats d'un sondage représentatif effectué aux États-Unis dans lequel 86 % des travailleurs interrogés mentionnent qu'il sera essentiel pour eux de recevoir de la formation et de développer de nouvelles compétences pour rester à jour dans leur milieu de travail et rehausser leurs compétences pour s'adapter au nouveau contexte technologique. Le Baromètre CIRANO 2018 avait montré que 60 % des travailleurs étaient prêts à se former aux nouvelles technologies et à l'IA (De Marcellis-Warin et Peignier, 2018).

Dans certains cas, les entreprises font appel à des consultants pour les aider dans le diagnostic ou l'exécution d'un projet d'IA, créant des opportunités d'apprentissage informelles avec du transfert de connaissances vers les employés. Les entreprises ou organisations peuvent aussi

⁶ L'OCDE propose aussi une troisième catégorie, *l'apprentissage informel* (activités d'apprentissage non institutionnalisées qui ne sont pas structurées et qui peuvent avoir lieu n'importe où, par exemple apprendre en faisant). Cette dernière catégorie se rapproche de ce que nous appelons le transfert de connaissances (OCDE, 2020).

collaborer dans des activités de recherche impliquant des chercheurs et des étudiants. Ce sont aussi autant d'opportunités d'apprentissage. De nombreux travaux portent sur la collaboration en innovation et l'importance du partage de connaissances dans ce contexte (de Wit-de Vries et al. 2019). La confiance, la communication, le recours à des intermédiaires et l'expérience sont considérés comme des facilitateurs du transfert de connaissances.

Comme nous souhaitons mettre en évidence le rôle et la collaboration avec les établissements d'enseignement, nous avons donc choisi de classer les offres de formation en fonction du type d'organisme qui offre la formation (établissements d'enseignement ou autre organisation) et d'identifier spécifiquement les initiatives de transfert de connaissances.

3.1.1 Formations offertes par des établissements d'enseignement

Les formations offertes par les établissements d'enseignement sont qualifiantes et transférables et possèdent un objectif d'apprentissage encadré. Elles sont données par des établissements d'enseignement à différents niveaux d'apprentissage (collèges ou universités) ou par des instituts et centres de recherche associés à ces établissements. Ces activités offrent un diplôme ou une attestation de l'établissement reconnu à travers le marché, qu'elles soient offertes en formation initiale ou continue. Elles permettent l'obtention d'un diplôme d'études professionnelles (DEP), d'un diplôme d'études collégiales (DEC) ou d'un diplôme universitaire (Baccalauréat, DESS, Maîtrise, Doctorat). En formation continue, on a l'obtention d'une attestation de formation continue ou d'études professionnelles (AEP), ou d'une attestation d'études collégiales (AEC). Les universités offrent aussi des formations courtes de cycles supérieurs (microprogrammes) permettant d'acquérir les compétences pratiques et théoriques nécessaires à l'exercice d'une profession. Ces formations courtes peuvent, à certaines conditions, mener à l'admission à un programme de DESS. Certains programmes qui ne sont pas spécialisés en IA permettent aussi à l'étudiant de se créer un cheminement personnalisé en IA, en prenant des cours et/ou en faisant un mémoire de recherche dans ce domaine.

Les formations initiales proposées par les établissements d'enseignement au premier cycle et aux cycles supérieurs permettent de former les talents en IA en demande sur le marché du travail. Différentes formations sont proposées. L'offre de programmes évolue dans le temps pour répondre aux besoins du marché, mais il y a toujours un délai pour faire accréditer les nouveaux programmes. Goodman, Melkers et Pallais (2018) soulignent l'arrivée sur le marché d'une panoplie de diplômes universitaires et collégiaux courts qui montrait qu'il y avait une demande substantielle pour l'éducation de la part des travailleurs en milieu de carrière. Certains établissements ou instituts de recherche proposent des programmes courts (incluant microprogrammes ou nanoprogrammes) pour offrir des formations dans des domaines nouvellement en demande. Certains programmes innovent dans le contenu ou la forme.

Bauern et al. (2009) soutiennent que la formation continue garantit l'accès à des connaissances de pointe et augmente ainsi la propension d'une entreprise à innover. La formation continue

propose des formations qualifiantes permettant d'obtenir une attestation de l'établissement d'enseignement reconnue sur le marché (la plupart du temps une attestation de participation est remise aux personnes ayant assisté à plus de 80 % des heures de la formation). De nombreux établissements d'enseignement et instituts de recherche offrent des services de formation continue qui permettent d'obtenir ces attestations reconnaissant les compétences acquises. Les instituts de recherche et universités offrent aussi des écoles d'été sur des techniques ou des thématiques spécifiques (ex. les biais liés à l'utilisation d'algorithmes) qui peuvent durer plusieurs jours. Des programmes de formation continue sont aussi offerts pour les cadres et les dirigeants.

Les établissements d'enseignement proposent de plus en plus une offre de cours en ligne qui constituent une nouvelle option qui ne se substitue pas seulement à l'offre de cours classique. Les cours peuvent aussi s'adresser à un public plus âgé. De plus, cela permet d'augmenter l'accessibilité des formations initiales et le nombre d'inscrits dans les programmes (Goodman et al. 2018)⁷. Toutefois la concurrence avec de grandes universités américaines, mais aussi partout dans le monde ainsi qu'avec des entreprises privées qui offrent des cours en ligne est importante. Dans certains cas, ces cours peuvent se donner aussi en format de cours en ligne ouverts à tous. Certains d'entre eux sont appelés les MOOCs (acronyme formé des initiales de *massive open online course*, en français formation en ligne ouverte à tous ou FLOT, ou encore cours en ligne ouvert et massif ou CLOM).

De plus en plus de formations initiales intègrent des stages en milieu de pratique pour travailler sur des projets ou permettent l'intégration d'étudiants dans des projets de recherche en collaboration avec les entreprises. Cela permet de mettre en application ce qui a été enseigné dans les programmes. Dans certains cas, les établissements organisent des conférences ou des activités spécifiques pour les étudiants, notamment pour leur montrer des applications des concepts et méthodes enseignés.

3.1.2. Formations données par d'autres types d'organisations / institutions

D'autres types de formations sont proposées avec aussi un objectif d'apprentissage pointu, mais sont non diplômantes. Elles permettent l'acquisition et le rehaussement des compétences et sont offertes sous plusieurs formats. Les organisations ou institutions ne sont pas reconnues comme établissements d'enseignement. Ces formations peuvent par exemple être données par des centres de formation, des ordres professionnels, des entreprises d'éducation ou par les entreprises elles-mêmes. D'autres acteurs de l'écosystème peuvent aussi jouer un rôle, comme les centres de transfert de technologies ou les incubateurs.

⁷<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/698895>
<https://scholar.harvard.edu/files/joshuagoodman/files/educationnext2018.pdf>

La plus grande offre se trouve en ligne en autoformation⁸ sur des sites gérés par des entreprises d'éducation ou autres organisations privées de formation. Les cours offerts en ligne sont plus ou moins longs (de 3 h à 45 h) et souvent découpés en modules. Les cours peuvent être suivis de façon flexible, à un rythme personnalisé au moment où l'apprenant est disponible. Des chats sont disponibles pour poser des questions à des experts.

Certains cours sont donnés sur des plateformes d'entreprises privées par des professeurs d'établissements d'enseignement reconnus, mais cela ne permet pas de les faire créditer de façon systématique. Ces formations peuvent permettre d'obtenir des attestations (qui prouvent que la personne a suivi la formation ou a été présente à l'activité qui peut être une conférence, un webinaire, un concours) ou des "badges" de compétences (mis en place par certaines entreprises). Les formations offertes par l'entreprise (par une ressource en interne ou externe) le sont dans le cadre d'un plan de formation.

Ces formations sont reconnues sur le marché du travail par d'autres employeurs ou peuvent avoir une reconnaissance pour un secteur industriel en particulier. La majorité de ces formations courtes en IA requiert toutefois un minimum de connaissances en programmation et une base en mathématique équivalente au niveau collégial. Pour certaines formations, une préparation est offerte pour ceux qui voudraient se remettre à niveau avant de les suivre. Dans certains cas, cela peut aussi permettre à ceux qui les ont suivies d'obtenir des crédits dans un programme de formation offert par un établissement d'enseignement qui serait suivi par la suite (avec toutefois des conditions très strictes de reconnaissance des acquis notamment sur la méthode d'évaluation des connaissances). Ces formations sont surtout suivies par des travailleurs en emploi, mais certaines le sont aussi par des étudiants qui souhaitent avoir des compétences complémentaires à leur formation (par exemple pour les langages de programmation) et qu'ils vont pouvoir valoriser lors de leur recherche d'emploi. En effet, dans le cas particulier de l'industrie de la programmation, il existe des référentiels en ligne (tels que GitHub⁹) qui permettent de présenter ses compétences et ses qualifications. Les entreprises peuvent ainsi les vérifier et les prendre en compte sans que cela soit associé à une formation diplômante et certifiée.

Des programmes de formation continue sont proposés par des instituts de formation ou des formateurs agréés indépendants. Certains ordres professionnels offrent aussi des formations à leurs membres. De plus, certaines entreprises technologiques ont créé leur propre centre de

⁸ La plupart de ces formations privées ne sont pas reconnues par les normes officielles (voir : <https://www.cscience.ca/2021/07/08/devenir-specialiste-de-donnees-en-quelques-semaines>)

⁹ Git est un système de contrôle open source de version distribué, ce qui signifie que l'ensemble de la base du code et de l'historique est disponible sur l'ordinateur de chaque développeur, ce qui permet des branchements faciles. GitHub offre un service d'hébergement de référentiel Git basé sur le cloud. De nombreux développeurs hébergent le code source de leurs projets chez GitHub.

formation interne, mais certaines le proposent comme un service, à travers notamment un réseau d'écoles dédiées à l'intelligence artificielle (par exemple les écoles de l'IA de Microsoft).

Chaque individu va ainsi avoir une stratégie de formation qui lui est propre. Cela commence par le ou les choix de formation initiale, mais il peut y avoir aussi un besoin d'acquérir de nouvelles compétences qui ne font pas partie de la formation initiale qui est suivie et sans vouloir nécessairement le faire dans un cadre de formation créditée. D'autres types de formations sont disponibles comme les concours (par exemple les marathons de programmation comme des hackathons), les conférences, les webinaires ou les communautés en ligne (avec la mise à disposition de codes ou de données libres de droits). Il existe aussi de la formation qui se fait à travers du coaching, du mentorat ou du parrainage ainsi que les séances d'accompagnement dans les incubateurs et accélérateurs. On parle ici d'accompagnement de formation individualisé. L'accompagnement est abordé comme une approche qui vise à développer le savoir à travers la communication interpersonnelle d'une personne d'expérience avec une personne moins expérimentée. Cette approche procède par la centration sur l'expérience concrète de travail ou en référence à une situation réelle (Voyer et al., 2016). L'autoformation ou le coaching par exemple font partie de la stratégie de formation.

Les entreprises de toutes tailles mettent en place des plans de formation pour leurs employés et les plus grandes utilisent des plateformes d'apprentissage (les « Learning Management System » ou LMS)¹⁰. Elles offrent leurs propres cours sur cette plateforme et identifient aussi les cours en ligne qui pourraient être reconnus comme une formation professionnelle pour leurs employés (mais tous les cours en ligne ne rentrent pas dans cette catégorie, il faut que cela soit demandé par l'entreprise).

De plus, certaines grandes entreprises ont mis en place leur propre programme de formation au sein de ce qu'elles qualifient d'université et qui porte leur nom. L'objectif d'une telle structure est de mener des activités qui favorisent l'apprentissage individuel et collectif, et développent le partage de connaissances au sein de la firme. Ces programmes sont très agiles et s'arriment aux besoins identifiés par les sociétés notamment en période de mutations et de transformations technologiques. Même si ces formations ne sont pas diplômantes, elles permettent d'acquérir des compétences identifiées comme nécessaires par ces entreprises et sont reconnues par les acteurs de l'industrie (Saussereau et Stepler 2002). Dans certains cas, ces programmes sont construits en collaboration avec des universités et écoles implantées dans les régions où se trouve l'entreprise et permettent ainsi d'améliorer les liens et les échanges avec les acteurs universitaires. Cela peut aussi amener des collaborations de recherche et favoriser le transfert de connaissances.

¹⁰ voir les détails sur le site : <https://oce.uqam.ca/la-formation-en-ligne-en-entreprise/>

3.1.3 Transfert de connaissances en IA

Dans le contexte de l'IA, le transfert de connaissances va aussi passer par des activités de collaboration, d'accompagnement et de conseils. Cela peut se faire autour du diagnostic, de la stratégie et de l'exécution et impliquer plusieurs types d'acteurs.

Encadré 3.

Activités menant à du transfert de connaissances

Diagnostic	Évaluation de l'état de maturité en IA de l'organisation afin de comprendre la situation actuelle et les besoins.
Stratégie	Accompagnement dans l'approche de l'utilisation de l'IA, conseils sur l'expérience à créer et les méthodes pour y arriver.
Exécution	Développement de projets en IA et soutien sur l'utilisation de l'IA.

Les activités de conseils et d'accompagnement se font avec des experts de l'innovation numérique et de l'IA. Ils doivent définir le besoin et la solution en collaboration avec les entreprises. Cela permet au départ de poser les questions sur ce qui est attendu et la faisabilité en fonction notamment de la maturité technologique de l'entreprise. Souvent, l'identification des données disponibles et la façon dont elles sont structurées (ou pas) sont une première étape nécessaire au développement de projets en IA.

Ces activités d'accompagnement peuvent déclencher un éveil et un intérêt à mieux comprendre l'IA pour les dirigeants, les gestionnaires et les travailleurs ainsi qu'un besoin de rehaussement des compétences. Dans certains cas, des formations « sur mesure » sont demandées par les entreprises, car elles n'existent pas encore dans le réseau des établissements d'enseignement. Les plus petites entreprises ont souvent plus de difficultés à trouver des formations adaptées et surtout n'ont pas les capacités d'envoyer leurs employés les suivre et s'absenter de leurs tâches. Les entreprises font donc appel à des organismes de soutien ou des consultants pour les accompagner dans cette transformation, et certaines peuvent utiliser des programmes d'accompagnement soutenus par le gouvernement.

Les entreprises collaborent aussi de plus en plus avec divers partenaires issus des milieux industriels, universitaires et gouvernementaux, entre autres. La collaboration est considérée comme l'un des facteurs les plus importants de la réussite de projets d'innovation (Solar-Pellier et al. 2020). De 2015 à 2017, 18,6 % des collaborations à des activités d'innovation ont été faites avec des universités, collèges ou autres établissements d'enseignement supérieur¹¹.

Les collaborations de recherche entre les établissements d'enseignement, centres et instituts de recherche visent aussi à élargir la base de connaissances (collaborations axées sur le savoir) ainsi que celles axées sur la production de valeur économique et de richesse (collaborations axées sur la propriété) (Bozeman et al., 2013). La recherche est généralement faite par les universités, puis

¹¹ Source : Statistique Canada, tableau 27-10-0178-01.

transmise aux entreprises afin d'être implémentée dans leur fonctionnement. Or ce modèle est souvent long et n'est pas toujours optimal, notamment dû à la différence de langage entre ces deux entités, mais aussi à des objectifs pas toujours compatibles à court terme (Rajalo & Vadi, 2017). Des organisations qui facilitent ce transfert de connaissances entre les universités et les entreprises ont vu le jour. Elles ont pour rôle de combler ces problèmes de langage, d'orienter la recherche de manière qu'elle réponde d'une meilleure manière aux besoins des entreprises, ou encore d'aider au financement de la recherche. Ces intermédiaires de recherche peuvent aussi jouer un rôle important dans la mise en relation et le suivi de ces collaborations. Wirsich et al. (2016) montrent que plus les entreprises s'engagent dans cette collaboration, plus elles ont accès à des connaissances externes et des ressources supplémentaires.

Les stages, les projets en entreprise et les projets de recherche collaboratifs qui impliquent des étudiants sont des moyens pour ces derniers d'appliquer leurs connaissances, de construire leurs compétences sur le terrain, et aussi pour les entreprises d'apprendre des stagiaires. De plus en plus de stages servent aussi d'intégrateurs aux étudiants étrangers qui peuvent ensuite mieux s'insérer dans un milieu professionnel, car leur stage leur permet de faire leurs preuves.

3.1.4 Littératie numérique, de l'IA et des données

Sur le référentiel, nous avons représenté un socle pour la littératie numérique, de l'IA et des données qui permet de comprendre le niveau d'éveil à l'IA, les besoins identifiés et l'acceptabilité sociale de l'IA.

En effet, il est important que la population comprenne la valeur de l'IA pour la société, mais aussi les enjeux que cela peut représenter si sa diffusion n'est pas faite dans un cadre de développement ou d'utilisation responsable. Cette sensibilisation passe donc par un niveau minimal de littératie numérique, en IA et des données. Comme nous le faisait remarquer un membre du comité de suivi du Forum IA - PIA, « en comprenant mieux l'IA cela permet de contribuer à l'acceptabilité sociale et la confiance des citoyens/usagers envers l'IA, qui est souvent manquante, mais nécessaire ». Les facteurs qui expliquent l'acceptabilité sociale des technologies émergentes sont reliés au niveau de perception des risques, aux bénéfices perçus, au niveau de confiance dans la gouvernance associée (notamment par le gouvernement) et aux sources d'informations utilisées (qui donnent l'information et indiquent par quel moyen les citoyens accèdent à l'information: TV, radio, site internet, réseaux sociaux) (De Marcellis-Warin et Peignier, 2018). La littératie et les connaissances du sujet impactent les niveaux de perception (De Marcellis-Warin et al., 2015). En effet, on retrouve de tels enjeux dans de nombreux secteurs comme la santé. Laufer (2000) disait que « l'acceptabilité sociale des systèmes d'IA est compromise par le statut ambigu du terme « artificiel », qui a une connotation négative et inférieure à la nature ». Roberge et al. (2019) ont montré dans leur étude que la littératie numérique est vue comme un facteur important de la réussite du développement et de l'implémentation des technologies employées dans les villes intelligentes.

Encadré 4.

Éducation aux STIM et à l'IA

Sur le référentiel, nous avons aussi rajouté à titre indicatif un bloc (en gris) qui représente l'acquisition de compétences essentielles pour tous ainsi que les formations en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM). En effet, dans un contexte de transformation numérique et d'une utilisation croissante des technologies dans la société, il y a un besoin croissant de compétences numériques de base¹². De plus, comme le souligne un avis de la CEST sur les effets de l'intelligence artificielle sur le monde du travail et la justice sociale, dans un contexte de transformation numérique (CEST, 2021), "la maîtrise des compétences essentielles devrait également être valorisée. Par exemple, une éducation fondamentale en mathématiques, en maîtrise du français, en pensée critique ou en logique, peut permettre à certains travailleurs de mieux s'adapter aux changements du monde du travail". L'accent doit être mis sur la numératie et une bonne formation en mathématiques au primaire et secondaire. De plus en plus de formations sont offertes aux enfants dans le contexte scolaire ou extrascolaire pour leur apprendre les rudiments du code et certains langages. Des programmes d'une journée pour les enfants du primaire sont aussi enseignés par des parents bénévoles qui sont formés pour délivrer le programme (éduquent à la fois parents et enfants)¹³. Cela permet aussi une introduction à la programmation en utilisant Scratch par exemple. Des camps scientifiques, expo-sciences, concours en STIM sont aussi proposés pour les élèves du secondaire. Certains ont innové en offrant un « programme intensif en IA » pour les étudiants du secondaire¹⁴.

Le schéma 2 (Types d'offres de formation et de transfert de connaissances en IA – Référentiel global) va résumer les différents types d'offres de formation et de transfert de connaissances en montrant les liens qui existent entre les différents blocs. L'éveil du besoin de compétences pour travailler en IA, l'utiliser ou comprendre sa valeur pour l'organisation va amener les individus à choisir un plan de formation adapté à leurs besoins. Les activités d'accompagnement, de collaboration de recherche et d'exécution qui permettent le transfert de connaissances peuvent aussi permettre d'identifier un besoin de rehaussement des compétences, d'où la boucle vers les autres types de formations offertes.

¹² Tous les niveaux d'enseignement du préscolaire à l'universitaire sont mis au défi par des besoins de développement de compétences accrues en sciences mathématiques. La formation au primaire et au secondaire ne fait pas partie de ce rapport. Vous pouvez consulter le site de « En Avant Math! », projet en collaboration entre le Centre de recherche mathématiques (CRM) et le CIRANO (<https://enavantmath.org/>).

- Voir aussi les initiatives du Canada en STIM (<https://www.ic.gc.ca/eic/site/013.nsf/fra/00014.html>)

- Voir le Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur du gouvernement du Québec

http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Bilan_2018-2019_VF.pdf

- Voir le curriculum officiel de l'Ontario qui spécifie l'importance de l'enseignement des STIM

<https://www.dcp.edu.gov.on.ca/fr/planification/apprentissage-interdisciplinaire-et-integre/sciences-technologie-ingenierie-et-mathematiques-stim>

¹³ Par exemple, le programme *AI for Kids* à Singapour.

¹⁴ Voir le programme *AI Scholars « A High School intensive in Artificial Intelligence »* qui propose un programme en IA pour les élèves du secondaire enseigné par des étudiants aux études supérieures et des diplômés en IA de l'université Stanford et du MIT (source : www.inspiritai.com).

SCHÉMA 2 : TYPES D'OFFRES DE FORMATION ET DE TRANSFERT DE CONNAISSANCES EN IA – RÉFÉRENTIEL GLOBAL



Éveil du besoin de compétences pour travailler en IA, l'utiliser ou comprendre sa valeur pour l'organisation

FORMATIONS OFFERTES PAR DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

Ces formations sont qualifiantes et transférables et possèdent un objectif d'apprentissage encadré par un établissement d'enseignement. Ces activités offrent un diplôme ou une attestation de l'établissement reconnu à travers le marché.

FORMATIONS OFFERTES PAR D'AUTRES TYPES D'ORGANISATIONS / INSTITUTIONS

Ces formations possèdent un objectif d'apprentissage pointu et permettent l'évolution des compétences. Elles sont offertes sous plusieurs formats et par plusieurs acteurs. Les compétences acquises peuvent être reconnues par le marché.

TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Le transfert de connaissances en IA peut prendre plusieurs formes et passer par des activités :

- d'accompagnement ;
- d'exécution ;
- de collaborations de recherche université/entreprise.

stages, projets d'entreprise, projets de recherche collaboratifs

Formations initiales

(premiers cycles et/ou cycles supérieurs)

- Programmes cégeps
- Programmes universitaires

Formation continue

- Formations intensives collégiales
- Programmes de formation continue
- Cours offerts par des instituts de recherche
- Programmes de formation exécutive

- Conférences / webinaires / communautés de pratique / concours
- Coaching / incubateurs / accélérateurs

- Autoformation (cours de tous niveaux, techniques et non techniques)
- Formation par des organismes de formation
- Formations de chercheurs industriels
- Formations en entreprise
- Universités d'entreprise

Reconnaissance et transferts potentiels

Identification d'un besoin de rehaussement des compétences (experts en IA et experts d'autres métiers)

Littératie numérique, de l'IA et des données

Information et sensibilisation sur la valeur des compétences numériques de base, sur ce qu'est l'IA, le partage de données ainsi que les opportunités et enjeux pour la société

Education aux STIM (primaire et secondaire)

Apprentissage interdisciplinaire et intégré des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques et leur capacité à les utiliser dans des situations réelles

+ Camps scientifiques, expo-sciences, concours de STIM, etc.

+ Formations à la programmation en activités parascolaires.

+ Ateliers en IA

À trois niveaux :

Diagnostic

Évaluation de l'état de maturité en IA de l'organisation afin de comprendre les besoins et la situation actuelle.

Stratégie

Accompagnement dans l'approche, conseils sur l'expérience à créer et les méthodologies à utiliser.

Mise en pratique : applications et utilisation

Développement de projets en IA et support sur l'utilisation de la science des données et de l'IA.

3.2 Survol de la situation actuelle de l'écosystème IA québécois en matière de formation et de transfert de connaissances

Plusieurs publications décrivent l'écosystème IA au Québec, les offres de formation avec ses opportunités et ses défis. Hadj (2020) parle notamment d'une augmentation de la demande de talents en IA avec l'utilisation croissante des applications d'IA dans pratiquement tous les secteurs de l'économie du Québec, mais une demande qui excède l'offre. Il soulève aussi que cela peut faire émerger de nouveaux profils d'emplois, notamment dans le domaine du développement des algorithmes d'apprentissage automatique et d'autres innovations numériques, et créer de nouveaux emplois axés sur des tâches spécialisées. La question de la formation de la main-d'œuvre en place, de nouveaux talents à venir et le besoin qu'un effort particulier soit fait pour accroître l'offre de formation initiale dans les domaines du numérique et de l'IA - ainsi qu'au perfectionnement professionnel de la main-d'œuvre actuelle - est donc cruciale au Québec.

Ces dernières années, de nombreuses initiatives ont été mises en place au Québec à la fois par les établissements d'enseignement (cégeps et universités) et par les autres types d'acteurs et entreprises en matière de formation et de transfert de connaissances en IA. Le gouvernement du Québec a plusieurs programmes de soutien à la formation et notamment au rehaussement des compétences des travailleurs. Nous avons fait un survol de la situation actuelle en consultant les plus récentes études et rapports qui ont été produits. Nous avons consulté les rapports en lien avec le numérique et l'IA, notamment publiés par DDM (2020), la CPMT (2021), et TECHNOCompétences (2021). Nous avons aussi pris connaissance de la version préliminaire des rapports produits par le Bureau de recherche institutionnelle de l'UQAM concernant l'offre de formation en IA au Québec (Quéré et McDuff, 2021) et par l'OBVIA (Gobeil-Proulx, 2021). Nous avons aussi échangé avec certains représentants d'établissements d'enseignement ainsi que différents partenaires et communautés de pratiques de l'écosystème IA au Québec.

Nous allons donc présenter certains faits saillants de ces études et illustrer avec des exemples l'offre de formation au Québec dans les grands blocs du référentiel (formations par les établissements d'enseignement, formations par d'autres types d'organisations/institutions, transfert de connaissances à travers des collaborations de recherche et du conseil, et la base des connaissances en littératie numérique, en IA et des données). L'objectif de cette étude n'étant pas de décrire de façon exhaustive le référentiel pour le Québec, mais de mettre en évidence les défis, les forces ainsi que les endroits où le Québec pourrait s'améliorer, nous avons identifié des exemples pour illustrer la diversité des formations en IA.

Le référentiel pour le Québec est proposé à titre illustratif et ne se veut en aucun cas exhaustif. Il propose quelques exemples afin d'illustrer la diversité des formations en IA et des initiatives de transfert de connaissances offertes au Québec, que ce soit dans les établissements d'enseignement et dans d'autres types d'organisations. De plus, nous avons pu constater que plusieurs initiatives de formation et de transfert de connaissances sont en projet ou en train de

se mettre en place et nous ne pouvions pas toutes les identifier. Plusieurs projets ont d'ailleurs été initiés par les appels de projets concertés cégeps/universités découlant des réalisations soutenues et accomplies au cours des trois dernières années et qui nous fournissent une meilleure connaissance des obstacles et des besoins relatifs à l'amélioration, à l'adaptation et au développement de cours et de programmes en IA et ses applications.

3.2.1 Quelques faits saillants tirés d'études et d'échanges avec des acteurs de l'écosystème en formation et transfert de connaissances en intelligence numérique et IA au Québec

Le gouvernement du Québec a expliqué dans son *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur* l'importance de développer les compétences numériques qui sont « la capacité de repérer, d'organiser, de comprendre, d'évaluer, de créer et de diffuser de l'information par l'intermédiaire de la technologie numérique. Elles revêtent donc plusieurs dimensions, soit les compétences en technologies de l'information et de la communication, les compétences sociales et collaboratives ainsi que les compétences cognitives » (Gouvernement du Québec, 2018).

Dans le cadre des travaux de la *Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA*, la littératie numérique avait été identifiée comme un des chantiers prioritaires pour le développement responsable de l'IA¹⁵. « La littératie numérique dépend de l'aptitude à comprendre et utiliser l'information écrite dans la vie courante. Elle s'inscrit ainsi dans un continuum allant de la littératie de base à la capacité de comprendre et interagir de façon éclairée avec des systèmes d'IA (SIA) (littératie de l'IA) .../... L'éducation au numérique se fait de plus en plus par les canaux formels, à l'école primaire et secondaire, et dans les institutions postsecondaires, par le biais de nouveaux programmes et l'implémentation de la technologie comme outil d'apprentissage.../... La formation continue doit être proposée et prise en charge par les employeurs, en particulier quand les métiers de leurs employés sont amenés à se transformer par l'utilisation de SIA pour différentes tâches, comme c'est le cas dans la santé, l'éducation, la justice, les administrations publiques et privées. De telles formations doivent alors non seulement permettre d'acquérir les compétences techniques pour savoir utiliser des SIA dans des tâches quotidiennes, mais elles doivent également amener ces professionnels utilisateurs de SIA à en faire un usage responsable en étant sensibilisés aux dimensions éthiques et sociales de cette utilisation » (Abrassart et al. 2018).

¹⁵ https://5da05b0d-f158-4af2-8b9f-892984c33739.filesusr.com/ugd/ebc3a3_d6a627b2f8644a30ae174762557da6fc.pdf

Nous avons fait une revue des études et rapports qui ont été publiés en 2020 et 2021 au Québec. Nous ressortons ici quelques faits saillants qui peuvent mettre en évidence des forces et des faiblesses de l'écosystème en IA du Québec et qui nous permettront d'orienter nos recommandations.

L'étude présentée par la firme Del Degan, Massé et Associés (DDM) au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du Québec a fait plusieurs constats sur la formation collégiale (DDM, 2020). Selon ce rapport, les formations offertes au niveau collégial étaient limitées et ne permettaient peut-être pas d'acquérir des connaissances suffisantes pour contribuer au développement d'un produit ou d'un service d'IA. Les auteurs ajoutent que les techniciens pourraient trouver leur place dans l'industrie dans un horizon de 7 à 10 ans, particulièrement pour entretenir les pipelines de données, préparer les données et effectuer une certaine assurance qualité des systèmes.

En février 2020, le PIA a fait un appel à projets visant à élaborer des initiatives concertées cégep-université, soit pour développer de la formation, soit pour connaître les compétences qu'exige l'IA ou la mise en œuvre des technologies qui en découlent. Au total, 14 projets ont reçu un financement¹⁶ et vont permettre d'innover pour améliorer la formation initiale en IA. En annexe 1, nous avons mis la description des 14 projets retenus et l'on peut voir que certains ont une approche multidisciplinaire avec des applications dans des domaines ou secteurs spécifiques. À titre d'exemples, le projet de cours en arts et technologies à l'ère de l'IA de l'Université de Montréal et du Cégep Marie-Victorin propose la conception de deux cours afin d'initier les étudiants en arts à des domaines liés à l'IA, comme la projection intelligente, la réalité virtuelle, la visualisation de données et la génération d'œuvres par l'IA. Le Collège John Abbott et l'Université McGill proposent un référentiel pour l'enseignement des sciences infirmières visant à préparer le personnel infirmier à fournir de meilleurs soins aux patients dans le cadre de l'utilisation complexe et évolutive de l'IA. Le Collège de Maisonneuve, l'Université de Montréal et l'UQAM et leur partenaire Concertation Montréal proposent l'élaboration d'un double DEC en mathématiques et en sciences humaines visant à encourager les filles à poursuivre des études en programmation ou en intelligence artificielle.

Quéré et McDuff (2021) ont conduit une enquête, à la demande du PIA, afin de dresser un inventaire des programmes et cours des collèges et des universités situés à Montréal ayant pour objet principal l'IA et ceux ayant des composantes de formation abordant l'IA dans les programmes d'études pouvant toucher soit à la formation des producteurs d'IA, soit à la formation des usagers de l'IA. Les thèmes les plus fréquents des programmes et des composantes de formation sont l'apprentissage automatique, la science des données et l'Internet des objets. C'est surtout le cas des programmes en STIM et pour certains autres domaines d'études comme la psychologie ou la gestion. Il y a aussi des activités offertes en IA dans des programmes de linguistique et du traitement automatique du langage. Le rapport dresse la liste des programmes qui existent avec pour objet principal l'IA. Plus de 30 programmes ont été recensés dont 12 en apprentissage automatique, 5 en robotique et 5 en enjeux sociaux

¹⁶ https://poleia.quebec/wp-content/uploads/2020/02/Communique%CC%81-PIA_Projets_FR-4.pdf

et éthiques. Nous allons en citer certains à titre d'exemple dans le référentiel de formation au Québec. Parmi les principaux obstacles soulevés par les répondants à l'enquête, on mentionne le manque de connaissances des étudiants, qui ne sont pas suffisantes en mathématiques et en programmation, des besoins en formation destinée aux enseignants, l'absence de ressources et d'outils pédagogiques.

L'OBVIA a fait une recension, pour le PIA, des besoins en compétences suscités par le développement et la mise en œuvre de l'IA à partir d'une revue exploratoire de la littérature. Les principales conclusions sont qu'il s'agit d'une littérature naissante, en progression, que l'on trouve surtout des études pour les secteurs de l'industrie 4.0 et de la santé et que la littérature traite de l'IA et des compétences de manière générale. Les compétences qui émergent de cette littérature à titre de compétences phares ou essentielles pour naviguer dans un milieu de travail où est déployée l'IA sont notamment la littératie en IA, le travail d'équipe, la créativité et la capacité à résoudre des problèmes complexes. Le rapport conclut qu'il faudrait maintenant réfléchir à la production de référentiel de compétences, général ou spécifique à certains domaines, afin d'aider les directions d'établissements supérieurs, ou les directions de programme, dans l'orientation de leurs offres de formation pour le développement de compétences ancrées sur les besoins d'un monde du travail en rapide transformation (Gobeil-Proulx, 2021).

Dans une étude menée par le CIRANO et l'OBVIA pour le Conseil Interprofessionnel du Québec (CIQ), De Marcellis-Warin et Mondin (2020) ont dressé un état des lieux sur les pratiques numériques des professionnels du Québec avec volet spécifique sur l'IA. Ils ont consulté les 46 ordres professionnels regroupés autour de 3 grands secteurs : Droit, Administration et Affaires (DAA), Génie, Aménagement et Sciences (GAS) et Santé et Relations Humaines (SRH) afin d'avoir une représentation de chaque secteur d'activité, du nombre de professionnels et de prendre en compte l'importance du virage numérique pour les professions (de « peu affectée » à « très affectée »), et leur maturité numérique (de « très en retard » à « très en avance »). Parmi les enjeux identifiés, le retard dans le développement de l'expertise numérique et le manque de main-d'œuvre qualifiée inhibent le virage numérique chez les professionnels du Québec. L'enquête faite auprès des professionnels a montré que pour de nombreux professionnels au Québec l'utilisation de l'IA reste encore floue et lointaine (Constat 7). Les professionnels sont prêts pour l'utilisation de système automatisé utilisant l'IA, mais pas tous prêts à déléguer des tâches à un robot. Une des attentes soulevées dans le rapport par les professionnels est le besoin de formations continues en phase avec la transformation numérique, mais aussi de former les futurs professionnels en intégrant les sciences des données. Warin (2021) parle « d'intelligence augmentée » et souligne l'importance d'intégrer la science des données dans les programmes des domaines de la finance, des affaires internationales, de la santé, de l'agroalimentaire, etc.

Selon le rapport sur l'Université du futur (Gouvernement du Québec – Fonds de recherche du Québec, 2021), tous les établissements d'enseignement sont poussés à remodeler leurs formations, leurs outils et leurs discours pédagogiques pour répondre à des enjeux induits par le numérique, d'autant plus en temps de pandémie, ce qui a accéléré le virage numérique de

nos universités. Il faut donc être vigilant, car le numérique ne doit pas nous imposer des changements, mais bien demeurer un outil de changement. .../... Le secteur privé s'investit de plus en plus dans l'enseignement, en particulier universitaire, soit pour répondre à ses propres besoins de main-d'œuvre et de personnel-cadre, soit pour développer de nouveaux marchés.

Le rapport publié par TECHNOCompétences (Cayrat et al. 2021) considère que développer le bassin de talents en IA est une priorité absolue. Ils ont consulté des experts évoluant dans des entreprises œuvrant dans le domaine de l'intelligence numérique afin d'identifier les besoins en main-d'œuvre à court et long terme et de caractériser les programmes de formation en intelligence numérique.

- Certains experts mentionnent le fait qu'une grande majorité des emplois vacants en intelligence numérique ont été pourvus en interne dans leurs entreprises.
- Les experts interrogés mettent en lumière l'importance primordiale des compétences techniques et humaines dans le processus d'embauche. L'autoformation s'avère également importante, notamment dans un contexte où le professionnel aura fort probablement à développer certaines compétences de manière individuelle au cours de son emploi.
- Les autres facteurs jugés importants dans le processus d'embauche sont la réalisation de stages et la connaissance du secteur d'activité de l'entreprise et des clients.
- Les experts s'accordent sur l'importance pour un candidat de posséder un ensemble de compétences humaines transversales comme la communication, l'adaptabilité, la rapidité d'apprentissage, la résilience, la collaboration.
- Les experts relèvent de manière récurrente le manque de liens entre les domaines théoriques et scientifiques et la pratique en milieu organisationnel. Les projets mineurs (prototypes) effectués dans le cadre des programmes de formation ne permettent vraisemblablement pas de mener des projets à plus long terme.
- Les aspects techniques et d'affaires de l'intelligence numérique apparaissent souvent séparés, voire distincts, et gagneraient à être mieux intégrés et pensés de façon complémentaire.
- Les experts évoquent, à l'unanimité, l'obligation d'offrir un stage ou une forme d'alternance études-emploi dans laquelle l'étudiant suivrait des cours à l'université et mettrait parallèlement en pratique ses apprentissages dans une entreprise.
- Il est aussi précisé dans le rapport qu'un programme de formation idéal en intelligence numérique devrait être beaucoup plus proche des entreprises, incluant les entreprises en démarrage et les PME, afin que les étudiants puissent être plongés dans la réalité organisationnelle en travaillant sur des projets à long terme (échelonnés sur la durée complète du cursus) et impliquant de vrais utilisateurs.

Khomh et al. (2021) ont fait une enquête sur les besoins de l'industrie en génie logiciel appliquée à l'IA et une revue des programmes de formation professionnelle en *ingénierie logicielle et intelligence numérique* au Canada et à l'extérieur du Canada. Bien que de nombreux programmes s'inscrivent dans les thématiques du génie logiciel et de l'apprentissage

automatique, le marché impose des connaissances pratiques actualisées permettant de confronter un environnement en perpétuelle mutation. Pour s'adapter à ces changements, certains programmes de formation recrutent comme enseignants des experts du domaine qui occupent des postes de directeurs exécutifs dans de grandes compagnies en plus de mettre des professionnels de renommée internationale dans le comité responsable du programme. Ils ont proposé les grandes lignes d'un programme de formation en ingénierie des systèmes logiciels appliqués à l'IA qui pourrait couvrir à la fois l'aspect technique (développement, déploiement client et maintenance des systèmes logiciels) et l'aspect social (normes, réglementations et enjeux éthiques des systèmes IA).

Nous avons échangé à plusieurs reprises avec les membres du comité de suivi du Forum IA – PIA et des acteurs de l'écosystème IA du Québec. Nous avons aussi participé aux rencontres de la « communauté de pratique sur l'IA en gestion »¹⁷. Plusieurs constats ont été faits et des éléments ont été mentionnés plusieurs fois lors de ces échanges qui sont pertinents pour notre étude. Il nous semblait intéressant d'en présenter certains, même si nous n'avons pas fait d'analyse plus approfondie à ce stade.

Pour la plupart des acteurs rencontrés, l'adoption de l'IA reste encore limitée dans les entreprises et les organisations au Québec. Plusieurs éléments ont été soulevés :

- Une des barrières qui est souvent identifiée est le manque de compréhension des décideurs et des gestionnaires sur les opportunités et les enjeux de l'IA.
- Il semble y avoir des difficultés d'intégration dans certains secteurs et des difficultés de collaboration avec les autres professionnels ou les autres services de l'entreprise avec des programmes en silos (souvent très spécialisés sur les techniques, mais pas sur les applications).
- Certaines entreprises rapportent avoir eu une première expérience négative d'implantation d'un système d'IA (SIA non utilisé sur le long terme) et sont réticentes à continuer.
- Il a souvent été mentionné le besoin d'avoir des « traducteurs » (certains parlent de professionnels d'interface qui ont une compréhension générale de l'IA et de ses applications) qui pourraient faire le lien et expliquer de façon moins technique et plus compréhensible ce que va apporter l'IA à leur organisation et surtout quels sont les facteurs de succès d'une adoption réussie.
- Plusieurs entreprises n'utilisent pas l'IA par faute de compréhension, d'identification de leurs besoins et des ressources (talents et/ou financières). Elles évoquent souvent un manque d'accompagnement et d'évaluation à priori du niveau de maturité de leur organisation.

¹⁷ Cette communauté de pratique a été initiée par Marie-Claude Sécher, directrice partenariat Technologie à la Caisse de dépôt et placement du Québec (CDPQ) et Ravy Por, directrice exécutive, Intelligence artificielle et technologies émergentes chez KPMG avec l'ambition d'explorer comment assurer concrètement une intégration pérenne de l'intelligence artificielle dans les organisations. Pour plus de détails, voir un article de la revue Gestion : <https://www.revuegestion.ca/lintelligence-artificielle-en-gestion-une-communaute-dexploration-creee-pour-aller-plus-loin>

De nombreuses collaborations de recherche appliquée permettent de développer des systèmes d'IA pour les entreprises. Mais il semble qu'une fois le projet terminé, cela reste souvent à l'échelle du prototype ou de la preuve de concept « qui n'est pas réellement intégré à un modèle d'apprentissage profond entraîné dans un système qui fournit un service ». Cette implantation dans le système semble être difficile notamment en raison du manque d'expertise à l'interne (souvent ils n'ont pas la connaissance du besoin de maintenance des systèmes et des algorithmes et donc des ressources qui seront nécessaires après la mise en place) et de la pénurie de talents avec une telle expertise.

Les professionnels techniques en TI dans les organisations sont en support aux systèmes informatiques de l'entreprise. La plupart des professionnels techniques en poste actuellement ne possèdent pas les compétences en lien direct avec la partie technique de l'IA et les données massives. Que ce soit dans les centres de recherche, les établissements d'enseignement ou dans les entreprises, il y a un besoin de mise à jour des compétences, et cela de façon récurrente (dans un tel domaine, elles deviennent obsolètes en moyenne au bout de 5 ans). Cette mise à jour des compétences du personnel technique et scientifique est nécessaire et d'une façon plus générale, la formation en IA des employés – utilisateurs potentiels de l'IA - est un besoin tout aussi important et cela peut aussi aider à combler le manque de main-d'œuvre dans ces domaines. Selon le rapport du Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité Sociale sur les activités sur la formation déclarées pour l'année 2018 conformément à l'article 3 du règlement sur les dépenses de formation admissibles (MTESS, 2021), les moyens de formation les plus déclarés par les employeurs assujettis pour répondre aux obligations de la Loi favorisant le développement et la reconnaissance des compétences de la main-d'œuvre ont été les formations offertes dans le cadre d'un plan de formation de l'entreprise (79,4 %), les activités de formation offertes lors de colloques, de congrès ou de séminaires (72,6 %) et, suivant de plus loin, celles données par un organisme formateur ou un formateur agréé (57,2 %). Si l'on regarde plus spécifiquement selon la taille des entreprises, les formations offertes lors de colloques, de congrès ou de séminaires sont les plus déclarées par les entreprises de plus petite taille (1 à 19 employés) et par les plus grandes (1 000 employés et plus). Les formations suivies auprès d'établissements d'enseignement reconnus sont les plus déclarées par les moyennes entreprises (20 à 99 employés et 100 à 999 employés).

Les données spécifiques selon le type de formation suivie, et notamment ce qui nous intéresserait pour les formations en IA, ne sont pas disponibles. Des initiatives ont été mises en place au Québec pour aider les entreprises à identifier les formations offertes pour rehausser les compétences des employés en IA que ce soient des employés qui ont déjà des connaissances en IA et qui veulent encore plus se spécialiser, mais aussi tous les utilisateurs potentiels de ces nouveaux outils. Scale AI finance¹⁸ « les formations publiques données dans les universités ou

¹⁸ Le gouvernement fédéral a mis en place un programme pour soutenir les personnes employées à temps plein qui souhaitent suivre des formations en intelligence numérique et IA. Scale AI octroie des ressources financières pour la formation en intelligence numérique.

les collèges, qui sont remboursées à 50 %, et des formations privées sur mesure offertes par un organisme au choix de l'entreprise. Les dossiers sont alors analysés au cas par cas et ces formations privées peuvent être remboursées, en théorie, jusqu'à 85 %, bien que la moyenne tourne plutôt autour de 50 % ». Toutefois, les difficultés qui ont été évoquées parmi des acteurs de l'écosystème concernent d'une part la méconnaissance des contenus des formations pour les aider à les choisir, la méconnaissance des contenus des formations associées à des diplômes obtenus en dehors du Québec et d'autre part, le manque de reconnaissance par les organisations des compétences acquises sur le terrain et en autoformation.

Le tableau en annexe 2 fait un survol des défis, forces et faiblesses de l'écosystème québécois que nous venons d'identifier à partir de la revue des études publiées en 2020 et 2021 et d'échanges avec plusieurs acteurs de l'écosystème.

3.2.2 Exemples de formations et initiatives de transferts de connaissances en IA offertes au Québec

Dans le schéma 3 (Types d'offres de formation et de transfert de connaissances en IA – référentiel Québec), nous avons identifié des exemples de formations et d'initiatives de transfert de connaissances qui sont offertes au Québec. Nous avons repris certains titres de formations qui ont été présentées par Quéré et McDuff (2021) et certaines qui sont recensées sur le site internet de Scale AI (plus de 90 programmes accrédités au Québec, dont un grand nombre sont dispensés par des collèges et universités membres du PIA)¹⁹. Même si cette représentation n'est pas exhaustive, cela permet d'illustrer la diversité des formations en IA et des initiatives de transfert de connaissances offertes au Québec, que ce soit par des établissements d'enseignement et d'autres types d'organisations/ institutions.

¹⁹ Liste des programmes de formation accrédités par Scale AI (<https://www.scaleai.ca/fr/formation/>). Le site internet de Scale AI a été consulté pour la dernière fois en février 2022. De nouveaux programmes ont pu être accrédités depuis.

SCHÉMA 3 : TYPES D'OFFRES DE FORMATION ET DE TRANSFERT DE CONNAISSANCES EN IA - RÉFÉRENTIEL QUÉBEC *



Éveil du besoin de compétences pour travailler en IA, l'utiliser ou comprendre sa valeur pour l'organisation

FORMATIONS OFFERTES PAR DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

Ces formations sont qualifiantes et transférables et possèdent un objectif d'apprentissage encadré par un établissement d'enseignement. Ces activités offrent un diplôme ou une attestation de l'établissement reconnu à travers le marché.

FORMATIONS OFFERTES PAR D'AUTRES TYPES D'ORGANISATIONS / INSTITUTIONS

Ces formations possèdent un objectif d'apprentissage pointu et permettent l'évolution des compétences. Elles sont offertes sous plusieurs formats et par plusieurs acteurs. Les compétences acquises peuvent être reconnues par le marché.

TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Le transfert de connaissances en IA peut prendre plusieurs formes et passer par des activités :

- d'accompagnement ;
- d'exécution ;
- de collaborations de recherche université/entreprise.

stages, projets d'entreprise, projets de recherche collaboratifs

EXEMPLES de programmes - Formations initiales

Programmes cégeps

- DEC en Techniques de recherche et de gestion des données
- DEC en Sciences informatiques et mathématiques

Programmes universitaires

- Bac en mathématiques et informatique - Orientation Science des données
- Bac en génie informatique - Intelligence d'affaires et science des données
- Bac en administration – mineur en veille informationnelle
- DESS en IA
- DESS en apprentissage automatique
- Maîtrise professionnelle en IA appliquée
- Maîtrise en informatique – option IA et science des données
- Doctorat en informatique
- Doctorat en informatique cognitive - Fondements en IA

EXEMPLES de programmes - Formation continue

Formations intensives collégiales

- AEC en IA
- AEC en Big Data en finance
- AEC en Internet des objets et IA
- AEC en Mégadonnées et intelligence d'affaires

Formations continues avec attestation

- IA – Introduction
- IA pour tous
- IA : Un enjeu pour les stratégies d'affaires
- IA appliquée au manufacturier
- IA pour les entreprises : trousse de départ
- Analyse et modélisation avancées de données complexes

Programmes de formation exécutive

- AI Essentials
- Big Data et IA : décoder les enjeux éthiques et légaux
- Formation IA sur mesure

Cours offerts par des instituts de recherche

- École d'été en apprentissage profond
- École d'hiver sur l'IA et les sciences cognitives
- École d'été en intelligence artificielle
- Atelier –IA et Finance et assurance
- Cours d'introduction à l'apprentissage profond
- Cours sur « Bias and Discrimination in AI »

EXEMPLES d'initiatives de Coaching / incubateurs / accélérateurs

- AI@CenTech
- NEXT-AI – Programme d'accélération en IA
- Creative Destruction Lab – Programme d'accélération en IA (HEC Montréal)
- Techstars Montreal AI Accelerator
- Axe IA – Espace CDPQ
- Datapreneurs / Polytechnique – Univ. de Montréal
- DigiHub Shawinigan
- District 3 (Univ. Concordia)
- Etc.

Autoformation (cours de tous niveaux)

Offre de cours en ligne en IA (par des EdTech ou organismes de formation):

- EdX,
- Coursera,
- Udemy,
- LinkedIn Learning,
- Udacity,
- Faculty,
- DeepLearning.ai,
- General Assembly,
- AI Deep Dive,
- Galvanize, etc.

EXEMPLES de formations pour des chercheurs industriels

- CRIM,
- JACOB,
- Collaborations avec des Centres collégiaux de transfert de technologie (CCTT) etc.

EXEMPLES de formations en entreprise

- Formations IBM (certification industrielle)
- Entreprises faisant appel à des prestataires extérieurs : HydroQuébec, Banque Nationale, etc.
- Badges (reconnaissant les crédits de programmes de formations d'établissements d'enseignement)

Universités d'entreprises

- EY, Deloitte, IBM, Microsoft, Amazon, Google, etc.

À trois niveaux :

Diagnostic

Évaluation de l'état de maturité en IA de l'organisation afin de comprendre les besoins et la situation actuelle.

Stratégie

Accompagnement dans l'approche, conseils sur l'expérience à créer et les méthodologies à utiliser.

Mise en pratique : applications et utilisation

Développement des projets en IA et support sur l'utilisation de la science des données et de l'IA.

EXEMPLES d'entreprises travaillant autour de l'IA

- Stradigi AI (plateforme Kepler)
- Element AI – Service Now
- IBM Watson Studio
- Envision.ai
- Coveo
- etc.

EXEMPLES de ressources, experts et consultants en IA

- Ivado Labs
- Inno-centre
- Deloitte (Pratique Omnia IA)
- Moov AI
- Dataperformers
- NecandoSolutions
- etc.

EXEMPLES de collaborations cégeps/universités/entreprises

- Chaires de recherche industrielle (ex. Chaire en apprentissage machine pour l'assurance – Univ. Laval)
- Projets de recherche en partenariat (ex. Partenar-IA de Prompt-Québec)
- Programme de scientifique en résidence (ex. Mila - stage d'un étudiant de recherche dans une startup)
- Projets d'IA appliquée (ex. Alliance Force.IA regroupant 7 CCTT)
- Projets fédérateurs dans un domaine ciblé (ex. « Mer numérique » du CDRIN & CEGEP de Matane)
- Valorisation des données et maillage pour la réalisation de projet de recherche ou de projet d'IA appliquée (ex. IVADO, CRIM, CRDM, CCTT)
- Processus accéléré pour les stages MITACS en IA
- etc.

Education aux STIM (primaire et secondaire)

Apprentissage interdisciplinaire et intégré des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques et leur capacité à les utiliser dans des situations réelles

+ Camps scientifiques, expo-sciences, concours de STIM, etc.

+ Formations à la programmation en activités parascolaires.

+ Ateliers en IA

- Atelier en IA pour les secondaires
- Parcours pédagogique en IA

Identification d'un besoin de rehaussement des compétences (experts en IA et experts d'autres métiers)

Littératie numérique, de l'IA et des données

Information et sensibilisation sur la valeur des compétences numériques de base, sur ce qu'est l'IA, le partage de données ainsi que les opportunités et enjeux pour la société

* Ce référentiel n'est pas exhaustif. Il propose quelques exemples afin d'illustrer la diversité des formations en IA et des initiatives de transfert de connaissances offertes au Québec, que ce soit dans les établissements d'enseignement et dans d'autres types d'organisations.

4. Principaux constats qui ressortent des analyses des écosystèmes en IA illustrés par une sélection d'études de cas

L'objectif de notre étude étant de repérer des pratiques innovantes en matière de formation et de transfert de connaissance en IA dans différents écosystèmes, nous avons procédé à des études de cas afin d'approfondir notre compréhension des pratiques ou des initiatives qui nous sont apparues innovantes.

Le schéma 4 identifie les études de cas choisies dans chacun des écosystèmes en IA étudiés. Celles-ci peuvent avoir été initiées par ou en collaboration avec les gouvernements, des établissements d'enseignement, des entreprises de formation en ligne, d'autres organisations ou institutions ayant des besoins de formation. Les données et les informations pertinentes à chacune des études de cas proviennent de documents publics, d'articles, de rapports, d'études et d'entrevues auprès d'informateurs clés. Soulignons que ces entrevues nous ont permis de mieux saisir les conditions de succès de certaines initiatives. Elles nous fournissent aussi des informations, autrement inaccessibles, à propos de perspectives de développement en cours ou en préparation. Les études de cas choisies sont issues de différents types de territoires qui ne sont pas équivalents (ville, province, pays). L'objectif de l'étude n'est pas de comparer les écosystèmes entre eux, mais d'identifier des initiatives innovantes dans chacun des écosystèmes. Si le type de territoire présente des caractéristiques spécifiques, il sera précisé comment l'initiative pourrait être comparée ou applicable avec le Québec. Ces exemples concrets permettent d'illustrer différents types d'offres de formations ou de pratiques de transfert de connaissances. Les études de cas font l'objet de fiches descriptives détaillées en annexe 4.

Cette section présente les 6 principaux constats qui résultent des analyses des écosystèmes en IA. Chaque constat s'appuie sur des informations tirées des dix études de cas et est fondé, soit sur une même initiative ou des pratiques équivalentes qui se retrouvent dans plusieurs écosystèmes dégageant ainsi une tendance, soit sur une initiative innovante par laquelle un écosystème se démarque ou se différencie des autres.

Parmi les pratiques présentées, certaines sont peut-être déjà mises en œuvre au Québec et représentent une force pour l'écosystème IA du Québec. Dans d'autres cas, nous soulignerons certains éléments pour les mettre en évidence ou en vue de les améliorer.

SCHÉMA 4 : IDENTIFICATION DES ÉTUDES DE CAS DANS CHACUN DES ÉCOSYSTÈMES EN IA ÉTUDIÉS DANS LE RESTE DU CANADA ET À L'INTERNATIONAL

FORMATIONS OFFERTES PAR DES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT

France



États-Unis



FORMATIONS OFFERTES PAR D'AUTRES TYPES D'ORGANISATIONS / INSTITUTIONS

États-Unis



Singapour



TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Canada



Belgique



Allemagne



Suède



Littératie numérique, de l'IA et des données

Finlande



4.1 Constat 1 : Une offre de formation en IA appliquée interdisciplinaire et interuniversitaire

Dans les écosystèmes étudiés, nous avons observé une offre importante de programmes en IA, et ce pour presque tous les types de formations présentés dans le référentiel global. Les entrevues avec les représentants des différents écosystèmes commençaient souvent par un survol rapide des programmes de formation offerts en IA (sans spécifiquement rentrer dans les détails, mais pour identifier les établissements et organisations). Ces programmes sont souvent comparables aux programmes de formation initiale et continue que nous offrons dans les établissements d'enseignement au Québec. Lorsque nous demandions à nos interlocuteurs d'identifier des pratiques innovantes dans les programmes de formations des établissements d'enseignement, ce qui est ressorti le plus souvent sont les programmes de formation en IA appliquée avec la spécificité d'être interdisciplinaires et interuniversitaires²⁰.

Certains écosystèmes en avaient en place et d'autres nous disaient que cela était un objectif à moyen terme d'offrir de tels programmes avec plusieurs disciplines intégrées en formation de premier cycle et aux études supérieures. Dans les programmes que nous avons parcourus, nous avons surtout vu plusieurs formats de cette « intégration ». La plupart du temps, ils intègrent dans leur offre de cours un ou des cours dans une discipline d'application (ex. IA et Finance) et/ou un ou des cours en éthique de l'IA et/ou un ou des cours pour développer des compétences connexes. C'est en 2018 que l'Université Carnegie Mellon a offert le premier programme de premier cycle en IA aux États-Unis : « B.S. in AI ». Dans la description, on peut voir que ce programme est offert par le département d'informatique, mais qu'il y a aussi un cours à choisir en éthique et impacts sociétaux de l'IA et 7 cours en « Humanités et Arts », dont des cours fortement recommandés en psychologie cognitive et sciences cognitives.

4.1.1 Vers des programmes intégrés

L'écosystème français a vraiment privilégié les approches intégrées interdisciplinaires dans l'adaptation de son offre de formation en IA. Nous avons identifié plusieurs exemples d'établissements d'enseignement qui ont mis en place de telles structures. La structure de la formation au premier cycle proposée par Aivancity (école française spécialisée dans l'intelligence artificielle et ses enjeux) pour son *Bachelor of Science en intelligence artificielle appliquée*. Le contenu des enseignements a été pensé interdisciplinaire. Il est composé à 50% de compétences techniques, à 25% de compétences d'affaires et 25% d'aspects éthiques (voir annexe 4 - Étude de cas 1). Aivancity se définit comme « une école à mission dédiée à des programmes de 1er cycle et cycles supérieurs en IA appliquée ». Ce n'est pas tant le statut de l'établissement d'enseignement qui est important, mais la structure du programme qui est proposé en formation

²⁰ Cela va dans le sens de Warin (2021) et cela nous avait aussi été spécifié comme un besoin lors des rencontres avec le comité de suivi.

initiale de niveau baccalauréat. Il est toutefois trop tôt pour dire si cela a un impact positif sur le recrutement, car le programme en place est trop récent. Un autre exemple tiré des offres de l'écosystème français est l'IA School²¹ qui "forme des profils hybrides, spécialistes de l'IA, tant sur le plan des connaissances techniques et informatiques (apprentissage machine, apprentissage profond, etc.) que sur la maîtrise des enjeux Business (Marketing IA, Chatbot, etc.)", L'IA School a pour vocation de former une nouvelle génération d'entrepreneurs, tournée vers les applications de l'IA. L'innovation et l'entrepreneuriat sont au cœur du projet, en encourageant une collaboration permanente entre l'ensemble des étudiants, capables de partager des contenus, des connaissances, et ainsi d'innover. Le programme Grande École de l'IA School délivre une formation en IA sur 5 ans (niveau Licence et niveau Mastère).

Un autre exemple que nous pouvons présenter est Hi! Paris, un centre interdisciplinaire et interinstitutionnel qui allie éducation, recherche, innovation et transfert technologique, mis en place conjointement par HEC Paris et l'Institut Polytechnique de Paris (qui réunit l'École polytechnique, l'ENSTA Paris, l'ENSAE Paris, Télécom Paris et Télécom Sud Paris) (voir encadré 4) et qui offre des formations aux cycles supérieurs. Cédric Villani expliquait, au moment de la création de Hi! Paris : « c'est exactement ce dont nous avons besoin pour nous assurer que les étudiants travaillent main dans la main, par-delà les disciplines, pour apprendre de différentes cultures selon une approche pragmatique. Pour attirer des talents (chercheurs et professeurs), il fallait proposer des solutions que personne d'autre n'offre ». Le Directeur général de HEC Paris a souligné l'importance de l'intégration du volet éthique et responsable dans l'approche française « qui permet de prendre en compte les conséquences et les effets plus larges que l'IA peut avoir sur la société et les travailleurs. C'est une démarche très différente de celle de nos compétiteurs américains et chinois, et cela nous aide à leur tenir tête. »

Encadré 5.

Hi! Paris : un centre de recherche et d'enseignement interdisciplinaire et interinstitutionnel

HEC Paris et [l'Institut Polytechnique de Paris \(IP Paris\)](https://www.ip-paris.fr/) qui réunit l'École Polytechnique, l'ENSTA Paris, l'ENSAE Paris, Télécom Paris et Télécom Sud Paris, ont lancé en septembre 2020 Hi! Paris. L'ambition affichée est de devenir un leader mondial du domaine d'ici 2025, en relevant les principaux défis liés à la transformation numérique et à son impact sur les entreprises et la société. La croissance exponentielle de la quantité de données et les progrès dans le domaine de l'IA ont créé un nouveau paradigme pour les méthodes scientifiques et transforment tous les secteurs de l'économie. En juin 2021, il était précisé sur leur site qu'ils avaient 300 chercheurs, 5 grandes entreprises mécènes, 30 nouveaux professeurs de niveau international qui seront embauchés sur les 5 prochaines années, 150 doctorants et un objectif de 500 étudiants dans le programme Master d'ici 2025 ²².

²¹ <https://www.intelligence-artificielle-school.com/>

²² Sources : <https://www.hec.edu/fr/faculte-et-recherche/centres/centre-hi-paris> et <https://www.hi-paris.fr/>

Cette approche d'école de l'IA a été aussi reprise par plusieurs écosystèmes qui souhaitent identifier spécifiquement une offre intégrée de formation à l'IA et se différencier. Par exemple, le MIT a annoncé mettre en place un Collège de l'IA (qui a été renommé par la suite du nom du donateur : The MIT Schwarzman College of Computing) pour ses programmes en ingénierie reliés à l'IA et en y ajoutant un programme multidisciplinaire sur la responsabilité sociale de l'IA²³. Il y a aussi un programme interdisciplinaire de doctorat en statistiques appliquées à d'autres disciplines (incluant aéronautique, sciences cognitives, économie, mathématiques, génie mécanique et sciences politiques)²⁴.

4.1.2 Une offre « mondiale » de formations en IA accessibles en ligne et ciblées pour les décideurs et les gestionnaires

La plupart des écosystèmes étudiés se positionnent aussi pour offrir des formations en IA appliquée adaptées pour les cadres et les dirigeants, sous le format de formations exécutives. Ce qui est ressorti des échanges que nous avons eus avec des cadres et des dirigeants et des membres de la communauté de pratique est qu'il est difficile de différencier les formations entre elles pour savoir ce qu'elles leur offrent et si cela répond à leurs besoins. Ils ont tendance du coup à choisir la formation selon la notoriété de l'établissement qui l'offre (et beaucoup se tournent vers de grandes universités américaines qui ont maintenant une offre entièrement en ligne et abordable et qui donnent une attestation de l'établissement). De plus, pour ceux qui ont suivi ces formations, même si on leur donne beaucoup d'exemples pour illustrer les applications ainsi que les enjeux, ils ont souvent encore du mal à le conceptualiser dans leur propre contexte d'affaires. Du coup, éprouvent des difficultés à estimer ce que cela va prendre comme investissement technologique et en capital humain et si leur organisation a la maturité nécessaire. On a vu dans nos exemples que certains programmes exécutifs n'hésitent pas à mettre en situation les dirigeants pour leur montrer le potentiel et la puissance de l'apprentissage machine et aussi les enjeux que cela peut poser. La plupart des apprenants trouvent cela très difficile sur le moment, mais après coup apprécient beaucoup mieux le potentiel de l'IA et les besoins. De plus, les dirigeants souhaitent se faire accompagner ou conseiller dans ce processus de réflexion de l'adoption de l'IA et ont soulevé des difficultés à évaluer l'offre d'accompagnement sur le marché.

L'écosystème américain offre des formations qui sont suivies par des leaders et dirigeants de partout dans le monde et qui sont pour la plupart axées sur le partage d'expériences par des dirigeants d'entreprises eux-mêmes. Le programme du MIT, « AI - Implications for Business

²³ "The college is creating cross-cutting platforms for the study and practice of social and ethical responsibilities of computing, for multi-departmental computing education, and for incubating new interdisciplinary computing activities." <https://news.mit.edu/2020/college-for-the-computing-age-0204>

²⁴ <https://computing.mit.edu/academics/graduate-programs/>

Strategy » est un exemple de programme court de formation continue en IA pour leaders et dirigeants (voir annexe 4 - Étude de cas 2). Ce cours est offert en collaboration par la MIT Sloan School of Management et le MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (MIT-CSAIL). Ce programme offert en ligne couvre une période de six semaines à raison de 6-8 heures hebdomadaires. Son but est de présenter la valeur ajoutée de l'intelligence artificielle, et de faire comprendre comment celle-ci pourrait s'intégrer dans l'organisation et la transformer. De tels programmes sont un maillon important dans l'accompagnement des dirigeants et gestionnaires pour les aider à comprendre la transformation des modèles d'affaires. Les apprenants ont accès à des professionnels des grandes entreprises américaines qui viennent leur présenter des cas d'application de l'IA sur leur entreprise. Ces partages d'expériences sont très riches et il a été mentionné qu'ils sont très appréciés des étudiants. Il y a aussi d'autres formations qui sont offertes pour aller plus loin dans les techniques d'IA comme le cours en « Machine learning in Business ». Dans tous les cas, les participants obtiennent un certificat de la MIT Sloan, deviennent membres de la communauté MIT en IA et peuvent bénéficier du réseau et des ressources offertes aux diplômés afin de les garder informés des grandes tendances et leur permettre d'échanger sur le sujet (ex. présence d'un groupe LinkedIn des diplômés, organisation de webinaires pour les anciens, opportunité de réseautage et de collaborations).

L'Université Harvard a aussi mis en place un programme de formation en ligne qui offre un certificat en analytique d'affaires (programme Harvard Business Analytics program- HBAP) qu'ils définissent « cross-disciplinary »²⁵. Ce programme qui dure au moins 9 mois est offert conjointement par plusieurs de ses écoles : Harvard Business School (HBS), the John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences (SEAS), et the Faculty of Arts and Sciences (FAS). Ce programme est plus long et plus coûteux, mais se veut une approche qui privilégie les mises en situation pour des applications des techniques de l'IA. En effet, il propose une approche innovante par la mise en situation pour l'utilisation des techniques de l'IA. Il a souvent été précisé lors de nos entrevues que pour s'assurer que les leaders ou experts dans des disciplines externes à l'IA comprennent la valeur de celle-ci et le processus de transformation de leur organisation, il ne faut pas leur donner des cours basés uniquement sur des discours ou exemples d'applications de l'IA. Il faut les mettre en situation sur des exemples adaptés à leurs capacités (« on ne veut pas les transformer en développeurs d'IA ») pour leur faire utiliser des techniques de l'IA (« apprentissage par l'action ») sur des problèmes qui ne pourraient pas être résolus en utilisant les techniques classiques sur un fichier Excel avec des centaines de milliers de lignes.

L'écosystème en IA du Royaume-Uni est très axé sur l'offre de formation en IA dans les établissements d'enseignement. L'université d'Oxford et la Saïd Business School ont mis en place un programme à temps partiel, « Oxford Executive Diploma in Artificial Intelligence for Business » destiné à des professionnels qui ont au moins 5 ans d'expérience professionnelle²⁶. Le programme se déroule sur un an et la prochaine cohorte commencera en février 2022. Une

²⁵ <https://analytics.hbs.edu/>

²⁶ <https://www.sbs.ox.ac.uk/programmes/executive-diplomas/oxford-executive-diploma-ai-business>

des spécificités de leur programme est de s'aligner avec l'initiative AIxSDGs. Il se différencie en ayant une offre de programme en IA qui s'arrime avec les indicateurs ESG des Nations Unies. D'autres programmes sont encore plus ciblés dans l'application, comme les programmes en IA et Santé ou IA et Finance. La plupart du temps, ce sont des programmes courts (de quelques semaines ou quelques mois). Pour le secteur des services financiers par exemple, l'université Northeastern et la D'Amore-McKim School of Business offrent à la fois des cours gratuits et des cours payants (avec une limite de 60 jours pour le compléter) sur les opportunités d'application de l'IA dans les services financiers avec des cours différents pour 1) comprendre, 2) appliquer, 3) évaluer le niveau de maturité de son organisation, et 4) devenir un champion de l'IA dans son secteur. Ils précisent aux professionnels experts en services financiers que la formation leur permettra d'obtenir 4 « badges professionnels » en IA qu'ils pourront mettre sur leurs comptes LinkedIn, Facebook, et Twitter ²⁷.

Au Canada, un autre exemple en IA et Santé que nous avons identifié est le programme « Artificial Intelligence in Health Care Certificate »²⁸ du Michener Institute of Education de l'UHN University Health Network (UHN) en Ontario qui est financé par le Ministère de la Santé de l'Ontario. Il s'agit d'un programme d'une durée de 15 mois destiné à tous les prestataires de soins de santé, ce qui inclut toutes les disciplines et les gestionnaires/leaders ainsi que les professionnels de l'informatique de la santé. Ils souhaitent l'ouvrir aussi aux professionnels de l'informatique voulant travailler dans le secteur de la santé. Le programme inclut 4 cours, dont un qui est sous la forme d'un projet final. Il permet de mettre en application l'IA pour des professionnels du secteur de la santé. Cela rejoint l'approche expérientielle que nous verrons un peu plus loin dans le rapport. Cette multidisciplinarité se trouve aussi dans les autres types de formation et de transfert de connaissances du référentiel que nous avons présenté. Il y a de nombreux cours sur les applications de l'IA qui sont offerts en autoformation, mais ce sont souvent des cours de quelques heures ou des conférences ou webinaires pour montrer les applications de l'IA dans différentes disciplines. Le programme *AI for Medicine Specialization* est un cours intermédiaire offert par DeepLearning sur Coursera (3 cours sur une période de 3 mois pour ceux qui ont des connaissances en ML et qui souhaiteraient travailler dans le secteur de la santé).

Lors des entrevues et des rencontres avec le comité du suivi du Forum IA - PIA, il a été dit que dans certains contextes, il pouvait y avoir d'un côté des limites dues à la non-connaissance approfondie de la discipline d'application pour ceux qui étaient formés à l'IA, et de l'autre côté la difficulté des experts d'autres métiers à comprendre les implications de l'utilisation des techniques d'IA. Le point qui a été discuté plusieurs fois avec nos intervenants est justement la

²⁷ « The future of financial services has arrived. These four 100% online courses are designed for your workforce, corporate team, or financial services professional to enhance their skills and keep pace within the financial services industry. 100 % on-line, Individuals, non-credit and self-paced »: <https://dmsb.skillstack.northeastern.edu/>

²⁸ https://michener.ca/ce_course/artificial-intelligence-health-care-certificate-program/

possibilité d'inclure dans de nombreuses formations initiales les techniques de l'IA avec plusieurs niveaux d'approfondissement par exemple. Même si ces programmes sont assez nouveaux, cela représente une véritable tendance dans l'offre de formation.

4.2 Constat 2 : Des parcours d'apprentissage expérientiel "bidirectionnel" avec un accompagnement et du mentorat

De plus en plus de programmes de formation souhaitent donner de l'expérience aux étudiants pendant leur formation. Plusieurs schémas de collaboration entre les établissements d'enseignement, les centres et instituts de recherche et les entreprises sont mis en place. Cela peut être sous la forme de formations intégrant des stages obligatoires ou des formations en alternance qui permettent aux étudiants de se former aux techniques de l'IA sur des données issues de l'entreprise dans lequel ils effectuent le stage, mais aussi des projets faits par les étudiants pour une entreprise (qui ressemblent plus à des « mandats ») ou des projets de recherche en collaboration université-entreprises. Plusieurs de ces modèles sont déjà en place au Québec et dans la plupart des écosystèmes étudiés.

Certains modèles innovants que nous avons identifiés vont encore plus loin, même si cela peut par exemple augmenter la durée des études. En Europe, plusieurs des personnes que nous avons interrogées ont cité l'exemple au Danemark de l'université DTU qui propose un "Industry Master of Science in Engineering" pour la plupart de ses programmes de génie. Il s'agit d'un programme de maîtrise à temps partiel où l'on obtient les 120 ECTS sur une période de 4 ans²⁹. Les prérequis pour le programme sont les mêmes que pour un programme de maîtrise de 2 ans, mais avec d'autres contraintes : l'étudiant doit avoir un emploi en rapport avec ses études où il travaille au moins 25 heures par semaine ou être travailleur indépendant dans une start-up. Si l'étudiant termine son emploi, il sera transféré dans le programme de maîtrise traditionnel. Le nombre d'étudiants dans le programme est en croissance. Les étudiants sont encadrés par des professeurs tout au long des 4 années. L'entreprise dans laquelle est l'étudiant profite donc directement de cet apprentissage intégré dans la formation.

Ce sont surtout les grandes entreprises qui ont souvent plus de flexibilité dans leur structure pour accueillir des stagiaires, que ce soit pour des périodes courtes ou longues. Certains écosystèmes de formation en IA ont donc mis en place des initiatives spécifiques pour les petites et moyennes entreprises. Ces initiatives dédiées permettent aux PME d'accéder à moindre coût à de l'expertise (avec les stagiaires ou les étudiants aux études supérieures par exemple qui font leur projet dans des équipes de recherche) et de se former par la même occasion en réalisant le projet avec leurs données. Il y a un transfert de connaissances dans les deux sens.

²⁹ <https://www.dtu.dk/english/Education/msc/About-DTUs-MSc-programmes/industry-master-of-science-in-engineering>

Toutefois, que ce soit pour les PME ou pour les grandes entreprises, pour en tirer pleinement profit cela implique une bonne connaissance des besoins de l'entreprise, de son niveau de maturité ainsi qu'une collaboration continue pour les aider à identifier leurs besoins et la faisabilité des projets. Mais en même temps, il ne faut pas que cela leur prenne trop de temps, que ces entreprises - surtout les PME - n'ont pas. On retrouve notamment cette initiative à travers les établissements d'enseignement tel qu'Aivancity (voir annexe 4 - Étude de cas 1) qui a mis en place une Clinique de l'IA. À l'instar des cliniques de droit au sein desquelles les étudiants, encadrés par des professeurs, réalisent « pro bono » des travaux juridiques au service de l'intérêt général, la Clinique de l'IA est conçue sur le même modèle en direction des organisations. L'intérêt est double :

- 1) Permettre aux étudiants d'apprendre les sciences des données tout en les pratiquant. La Clinique de l'IA représentera 6 à 9 heures de travail par semaine et les projets sur lesquels ils travaillent feront partie intégrante de la formation.
- 2) Favoriser un accès simple et gratuit aux petites et moyennes entreprises, et organisations à but non lucratif qui ont besoin d'IA. Encadrés par des professeurs d'Aivancity, les étudiants étudieront les projets, proposeront des solutions, des pistes d'amélioration impliquant à chaque étape les PME, les très petites entreprises (TPE), les associations ou les organisations à but non lucratif. En fonction du niveau de maturité, plusieurs équipes d'étudiants peuvent se relayer pour travailler sur le projet.

L'écosystème de Singapour est très actif dans les collaborations avec les entreprises pour l'apprentissage du terrain et de cas réels.

On peut prendre en exemples les programmes d'apprentissage et d'immersion technologique pour des étudiants (aux études supérieures en IA ou qui viennent juste de graduer) au sein spécifiquement de startups spécialisées (Deep Tech). Ces programmes sont proposés par SG Innovate (voir annexe 4 - Étude de cas 3), organisation mise en place par le gouvernement de Singapour, qui a pour fonction principale d'aider les entrepreneurs à lancer des produits « Deep Tech » en les aidant sur deux aspects essentiels : le capital humain et le capital d'investissement. Les « talents programs » permettent de mettre en relation les futurs talents IA avec des entreprises, surtout des PME et des start ups.

Le programme Summation va au-delà d'un format d'apprentissage technologique classique. Il dure de 3 à 6 mois et est ouvert aux étudiants qui cherchent un stage ou à ceux qui viennent tout juste de graduer. Il permet en plus de bénéficier d'un mentorat, et des ateliers de formation spécialisés sont également offerts aux apprentis, ainsi que des invitations exclusives à une multitude d'événements de l'industrie et de la communauté Deep Tech. Il s'agit d'un programme intégré de « stage et de formation centrés autour d'un projet spécifique » avec un cofinancement de SGInnovate à hauteur de 70%. De plus, c'est SGInnovate qui sélectionne les apprentis. Il y a actuellement plus de 50 projets proposés pour le programme, dont une vingtaine en IA. Le processus de sélection des candidats pour chaque projet est assez long. En juin 2021, les entreprises ont soumis leurs projets. Les entreprises doivent décrire les projets demandés, et

fournir une fiche détaillée notamment avec le niveau de formation demandé et les connaissances en programmation requises³⁰. Les candidats intéressés soumettent leur candidature en août et le résultat est donné en décembre 2021 pour des apprentissages qui débiteront à l'hiver 2022. Il y a une sélection des candidats par projet.

Encadré 6.

Exemples de projets en IA proposés par les entreprises dans le programme Summation de SGinnovate (Singapour)

Organisation	Nom du projet
Affable	AFF1: Deep Learning for social media
AI Palette	AIP2: Predicting Food Trends Across Geographies in Asia
Arcstone	ARC1: AI Driven Industry 4.0 Vision & Optimisation
Financier	FIN1: Innovative Credit Risk Modelling with AI
FireVisor	FIR1: AI-Based Analytics for Solar and Semicon Industries
Hypotenuse AI	Knowledge Navigator (Lauretta.io)
Konigle	Automated Data Extraction from e-Commerce Website & Time-series Analysis
Noviscent	NOV1: Building Intelligent Automation for Asset Management
Polymerize	PLM1: Enterprise Software Platform for Chemical Companies
Portcast	POR1: Data Science for Predictive Supply Chains [Demand Forecasting]
SixSense	SIX1: Deep Learning for Detection of Manufacturing Defects
Staple	STA1: Financial Documentation Data Extraction
TAIGER	TAI1: Statistical R&D in NLP for Knowledge Work Automation
WasteLabs	WAS1: AI for Good: Making Waste and Recycling Collection

(Source : <https://www.sginnovate.com/summation-full-projects-list>)

Il y a un autre programme d'apprentissage offert par AI Singapore : le « AI Apprenticeship program » (AIAP). C'est un programme plus long que le précédent, car il se déroule sur 9 mois à temps plein³¹. Il peut s'appliquer à tous les profils, que ce soient des ingénieurs en IA et autres spécialistes ou des apprentis qui viennent de domaines diversifiés (droit, administration, sociologie, etc.) avec des connaissances de base de langage de programmation. Ce programme d'apprentissage de l'IA fait partie du programme de formation en entreprise (CLT) qui vise à former les talents locaux de Singapour dans le domaine de l'IA et à améliorer leurs perspectives de carrière dans des fonctions liées à l'IA.

Les exigences minimales pour ce programme sont d'être singapourien et diplômé d'une université ou d'une école polytechnique reconnue (les diplômés devront avoir au moins 3 ans

³⁰ https://docs.google.com/document/d/1Jl1q7fKTbSz2Wh8_HkGcpsRBYz05xlaGQ-6NcPjB-8Q/edit

³¹ Liew, L. (2021). Building an AI Aware nation requires more than just Data Scientists and AI Engineers. *URBAN AI*. <https://urbanai.fr/building-an-ai-aware-nation-requires-more-than-just-data-scientists-and-ai-engineers/>

d'expérience professionnelle pour postuler pour le programme). Certaines connaissances et compétences sont requises (qui sont évaluées pendant le processus de sélection) :

- Expérience de programmation intermédiaire dans l'un de ces langages : Python, R, Scala, Java, C, C++, C#, Go
- Compréhension du prétraitement de bases des données (traitement des données manquantes, des valeurs aberrantes, etc.)
- Capacité à construire des modèles d'apprentissage automatique
- Capacité à construire des pipelines de données pour former et construire vos modèles
- Capacité à réaliser une documentation de base du code (Readme, docstrings et requirements.txt)
- Capacité à déployer vos modèles dans des conteneurs Docker
- Capacité à fournir et à utiliser une infrastructure de cloud computing telle que Microsoft Azure
- Capable d'exécuter des scripts shell Linux
- Capacité à utiliser au moins une des technologies de base de données et de traitement des données suivantes : SQL, NoSQL, Apache Hadoop et/ou Apache Spark
- Capacité à utiliser GitHub/GitLab et à effectuer un check-in/out correct du code et du dépôt

Les apprentis travaillent sur des projets industriels et approfondissent leurs compétences non seulement en IA et en apprentissage automatique, mais aussi en ingénierie logicielle pour le déploiement de modèles en production. Le programme de formation comprend: 2 mois de cours sur l'IA, qui portent sur l'apprentissage supervisé et non supervisé, ainsi que sur des domaines tels que l'apprentissage profond et les applications d'apprentissage automatique, etc., et une formation en cours d'emploi de 7 mois sur un problème réel d'IA.

Un des témoignages d'un gradué du programme : *« J'ai également acquis des compétences importantes dans d'autres domaines tels que la communication. Ce programme m'a permis d'affiner mes compétences en communication en étant exposé à des personnes issues de milieux différents. Parmi mes collègues apprentis, il y avait des titulaires de doctorats, des fondateurs de start-up, des hommes d'affaires, des financiers, de jeunes diplômés et des personnes qui, comme lui, cherchaient à changer de carrière. J'ai appris à expliquer les choses de différentes manières à différentes personnes, afin que tout le monde soit sur la même longueur d'onde.../.... Il est important que les gens comprennent ce que vous faites, afin que les chances de réussite de la mise en œuvre soient beaucoup plus élevées »*³².

Les projets de collaboration soutenus par DeepSense, basé à l'université Dalhousie à Halifax, permettent de mettre en relation des chercheurs universitaires, étudiants et entreprises autour de projets réels avec des problématiques liées à l'IA et à la gestion des données (voir annexe 4 - Étude de cas 6). Ils spécifient sur leur site qu'ils recherchent des étudiants ayant besoin d'un

³² <https://aisingapore.org/2021/02/trader-turns-ai-engineer-thanks-to-the-aiap-opportunity/>

projet de recherche, d'un programme coopératif ou d'un stage. DeepSense sélectionne les étudiants et les accompagne dans leur projet. Lors de l'entrevue, il a été précisé que l'accompagnement du stagiaire est la part importante du succès de ces programmes coopératifs.

Le programme Athena Pathways de AinBC (voir annexe 4 - Étude de cas 5) soutient des dizaines d'entreprises dans tous les secteurs d'activité en Colombie-Britannique en identifiant pour eux des étudiants, spécifiquement des femmes et des nouveaux immigrants hautement qualifiés qui ont des compétences en apprentissage automatique, en science des données et en gestion. Ils placent des étudiants de maîtrise et de doctorat en apprentissage automatique et en science des données (ils ont aussi une part des admis qui sont des autodidactes) dans des projets et des rôles à long terme avec des salaires subventionnés à 43 % jusqu'à 18 semaines. Il nous a été spécifié que plus de 250 femmes ont déjà été accompagnées et que l'objectif d'ici fin 2021 était d'atteindre 500.

4.3 Constat 3 : Des écosystèmes qui intègrent les enjeux éthiques de l'IA dans les formations et le transfert de connaissances en IA et en font une marque de différenciation

L'importance des enjeux éthiques et des biais dans l'utilisation de l'IA a amené plusieurs pays et régions à développer des cadres éthiques qui ressemblent pour certains à *la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA (2018)*. Cela a permis de sensibiliser de nombreux acteurs à l'importance de ces biais dans le développement et l'utilisation de l'IA et au besoin de formation en IA de l'éthique. Ce qui a été dit lors de nos entrevues est qu'il ne faut pas juste rajouter une saveur/couleur « éthique », mais vraiment intégrer la formation des principes éthiques et de responsabilité sociale dans les cours techniques³³. Cela doit amener les développeurs, par exemple, à systématiquement intégrer les enjeux reliés aux biais au début et pendant le développement et à ne pas se demander à la fin si son algorithme est responsable. Mais cela doit aussi sensibiliser et former toutes les personnes actuellement en emploi qui pourraient utiliser l'IA ou souhaiteraient l'utiliser dans leur secteur afin de bien prendre en compte les opportunités, mais aussi les défis éthiques que cela peut poser. Même si plusieurs écosystèmes nous ont parlé de cadres éthiques et d'initiatives en place pour un développement responsable de l'IA, certains reconnaissaient que cela n'était pas encore intégré dans les formations, mais plus comme un ajout qu'il « fallait » faire et améliorer.

Dans les écosystèmes de l'IA que nous avons explorés aux États-Unis et au Canada, des offres de formation sont disponibles en éthique de l'IA sous plusieurs formats, que ce soit par des cours qui ont été rajoutés dans des programmes offerts en formation initiale ou continue ou par des

³³ Cela ressemble un peu à la transformation qui a été demandée il y a une quinzaine d'années dans les formations en génie pour intégrer les principes de développement durable. Il a été établi qu'il ne suffisait pas d'en parler quelques heures dans les cours comme un nouvel enjeu de société ou de rajouter un cours sur le sujet, il fallait que les ingénieurs aient conscience que les développements technologiques les intègrent dès la conception des technologies. La plupart des cours devaient donc l'intégrer dans la matière.

écoles d'été, ou des conférences ou webinaires proposés par les établissements d'enseignement. Nous pouvons donner quelques exemples³⁴ comme le cours intensif de 2 jours du MIT « Ethics of AI : Safeguarding Humanity » ou la série d'ateliers « Ethics of AI in Context » du Centre for Ethics de l'Université de Toronto, ou encore les conférences sur « AI ethics, Policy and Governance » du Stanford Center for Human-Centered AI. Cela ressemble beaucoup à ce que nous avons au Québec.

Mais ce sont les écosystèmes européens qui affichent une véritable différence dans leur offre de formation concernant les enjeux éthiques. L'écosystème français en a fait une marque de différenciation comme la plupart des écosystèmes IA en Europe. Dans l'annonce de l'initiative Hi! Paris, le Directeur général d'HEC a souligné l'un des atouts du pays hôte : « *L'approche française permet de prendre en compte les conséquences et les effets plus larges que l'IA peut avoir sur la société et les travailleurs. C'est une démarche très différente de celle de nos compétiteurs américains et chinois, et cela nous aide à leur tenir tête.* »³⁵. L'étude de cas Aivancity (voir annexe 4 - Étude de cas 1) a annoncé que 25% de son contenu de formation est en lien avec l'éthique de l'IA. De plus, dans ce cas spécifique, l'éthique est aussi une valeur intégrée via leur statut de Société à mission : titre assurant l'engagement de plusieurs règles importantes, dont la principale raison d'être étant l'éducation pour la société - l'ouverture sociale. Du côté de l'écosystème allemand, les formations proposées par Applied AI (voir annexe 4 - Étude de cas 8) ont un volet qui présente comment identifier et régler les biais dans les algorithmes. Le Bureau de l'IA du Royaume-Uni met en avant l'éthique de l'IA. À cet effet, il a présenté le rapport à la chambre des Lords pour montrer l'importance d'avoir des principes éthiques en IA. Il a également mis en place des équipes chargées d'explorer les répercussions éthiques, sociales, juridiques et économiques de l'IA en partenariat avec le CIFAR et le CNRS. Lors de l'annonce de l'*AI Sector Deal* en mai 2019, qui inclut l'établissement d'un centre d'éthique et d'innovation en matière de données, le gouvernement du Royaume-Uni a signalé son engagement à veiller à ce que les progrès en IA soient encadrés par les normes éthiques les plus élevées³⁶.

Que ce soit dans les écosystèmes IA aux États-Unis ou à Singapour, l'éthique de l'IA n'est pas ce qui avait été mis de l'avant en tout premier dans les formations en IA.

Le programme MIT AI - Implications for Business Strategy (voir annexe 4 - Étude de cas 2) ne se concentre pas sur l'éthique, mais en aborde quelques éléments dans ses cours. Le Collège de

³⁴ Nous avons consulté le rapport préparé par Juniper pour le Mila qui faisait une revue des programmes courts en IA et aussi en éthique de l'IA. Le constat fait en 2019 était qu'il y avait peu de cours intensifs dans ce domaine.

³⁵ Source : <https://www.hec.edu/fr/faculte-et-recherche/centres/centre-hi-paris>

³⁶ "Using advanced algorithmic techniques such as 'deep learning', AI has the potential to solve complex problems fast, and in so doing, free up time and raise productivity. But we also need to make sure AI benefits everyone in the UK, which is why – in addition to this Sector Deal – the government is establishing a Centre for Data Ethics and Innovation to advise on the ethical use of data, including for AI".
<https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal/ai-sector-deal>

l'IA du MIT, « The MIT Schwarzman College of Computing », a mis en place récemment une initiative transversale, le « Social and Ethical Responsibilities of Computing - SERC Scholars Program » sur les responsabilités sociales et éthiques de l'informatique³⁷. Cette opportunité est ouverte aux étudiants de toute la communauté du MIT qui souhaitent faire progresser la mission visant à intégrer des perspectives humanistes, de sciences sociales, de responsabilité sociale et de politique/civique dans l'enseignement, la recherche et la mise en œuvre de l'informatique au MIT. Ils aident à développer et piloter de nouveaux supports de cours en collaboration avec des post-docs et des professeurs et mènent des recherches interdisciplinaires. Ils se rencontrent en petits groupes avec des leaders du monde universitaire, de l'industrie et du secteur public. Cela se fait aussi en collaboration avec les autres initiatives du MIT dont *l'Initiative pour une technologie éthique*, le *Groupe de lecture sur l'éthique de l'IA*, et *l'Initiative pour une politique scientifique*.

Fin 2020, la Singapore Computer Society a présenté un document de référence pour guider les entreprises dans le développement de l'éthique et de la gouvernance de l'intelligence artificielle, ainsi que dans la formation et la certification futures des professionnels.³⁸ Toutefois, selon les entrevues que nous avons eues avec les représentants de l'écosystème IA de Singapour, ceux-ci ne considéraient pas que l'éthique de l'IA était clairement définie à Singapour: « il s'agit d'une zone un peu plus grise – les gens se sentent à l'aise de partager leurs données et considèrent que cela fait partie des avancées technologiques. Lorsqu'un résultat et des bénéfices sont présentés, l'éthique est plus ou moins questionnée ». Il est intéressant de noter que très récemment début juillet 2021, AI Singapore a annoncé que les participants au programme d'apprentissage de l'intelligence artificielle de Singapour vont suivre une formation sur l'éthique et la gouvernance, afin d'être conscients des problèmes liés à la partialité des données. AI Singapore a conclu un partenariat avec Google Cloud « pour exploiter les outils et les meilleures pratiques du fournisseur en matière d'intelligence artificielle »³⁹.

Il y a aussi de plus en plus de cours ou ressources en autoformation en ligne sur l'éthique de l'IA et les biais, offerts par des entreprises d'éducation ou des entreprises technologiques (comme Microsoft avec son cours « Ethics and Law in Data and Analytics », offert sur EdX de 6 semaines ou Google qui met gratuitement le guide « AI For Social Good Service » à disposition comme ressource éducative, etc.). L'université du Michigan offre le cours « Data Science Ethics » sur les plateformes Coursera et EdX. LinkedIn Learning (voir annexe 4 - Étude de cas 3) propose des

³⁷ <https://computing.mit.edu/cross-cutting/social-and-ethical-responsibilities-of-computing/serc-scholars-program/>

³⁸ « The AI Ethics & Governance Body of Knowledge (BoK) is touted to provide a reference guide for business leaders and IT professionals on the ethical aspects related to the development as well as deployment of AI technologies” <https://www.zdnet.com/article/singapore-releases-ai-ethics-governance-reference-guide/>

³⁹ <https://www.zdnet.com/article/ethics-part-of-curriculum-as-singapore-inks-ai-training-partnership-with-google-cloud/>

cours axés sur l'éthique en IA. AI Sweden (voir annexe 4 - Étude de cas 9) intègre dans ses ateliers de 2 jours des notions sur l'éthique dans l'IA.

Dans le cadre des programmes d'accompagnement, l'éthique est un sujet intégré directement au cœur de chaque programme comme c'est le cas pour DigitalWallonia4.ai (voir annexe 4 - Étude de cas 7). Il y a aussi un cours en ligne gratuit sur l'impact sociétal de l'IA : « Sustainable AI in Business », une initiative d'Agoria, organisme porteur du programme DigitalWallonia4.ai. DeepSense (voir annexe 4 - Étude de cas 6) nous a indiqué mettre l'accent sur les risques de biais dans tous les projets de collaboration afin de partager ce qui est essentiel à prendre en considération au travers des analyses. Cela soulève souvent des questions, et comme au début des projets, permet de les sensibiliser en amont. C'est donc très formateur à la fois pour les étudiants et les entreprises, et permet le transfert de connaissances sur de tels enjeux.

Plusieurs centres de recherche se spécialisent en affichant des programmes sur l'IA centrée sur l'humain. Aux États-Unis, c'est l'université de Stanford qui a créé un centre pour l'IA centrée sur l'humain⁴⁰. De nombreuses initiatives se mettent en place en Europe. Le réseau *European Network of Human-Centered AI* regroupe 52 institutions de 20 pays autour de projets qui cherchent à créer des technologies d'IA qui permettent aux humains et à la société d'améliorer considérablement la qualité de vie de tous⁴¹. Nous avons identifié que la Technical University of Denmark (DTU) à Copenhague offre un programme de maîtrise MSc en Human-Centered AI. Ce programme permet un choix de spécialisation dans l'un des cinq domaines suivants : Médias sociaux et applications, UX Expérience utilisateur, Science des données, Jeux vidéo et Infographie.

4.4 Constat 4 : Une offre de formation qui s'ajuste rapidement et qui répond sur « mesure » aux besoins des entreprises

Afin d'être alignées sur les besoins de l'industrie et d'éviter le temps d'adaptation jugé trop long à la sortie des formations, les études de cas retenues montrent l'offre de formation en adéquation avec la réalité du marché. Les entreprises souhaitent que les formations proposées à leurs employés répondent aux besoins du marché et de leurs clients. Certaines ont entrepris d'identifier les besoins en compétences du futur et les offres de cours en ligne (MOOC) qu'elles reconnaissent pour les plans de formation des employés (liste mise à jour souvent, pour certaines tous les 3-4 mois). « Dans certains cas, on a même un trio grand employeur, LinkedIn Learning (LL) et une université qui se forme pour avoir la session type Ted talk avec LL qui envoie ensuite des liens vers les cursus des universités pour permettre aux gens d'avoir des formations diplômantes » nous a confié un grand employeur interrogé.

⁴⁰ Stanford Human-Centered AI: <https://hai.stanford.edu/>

⁴¹ <https://www.humane-ai.eu/>

Certaines offrent des possibilités à leurs employés d'aller suivre un cursus complet de MBA à temps partiel ou à temps complet. Dans certains cas, le besoin est de faire le programme en accéléré (par exemple un programme de 1 an ayant pour pré requis un diplôme universitaire dans un autre domaine). L'entreprise EY a fait une entente particulière pour l'obtention d'un programme diplômant avec la Hult International Business School (basée à Londres, mais avec des campus dans plusieurs endroits et proches des nombreux bureaux de EY)⁴² alignée avec les besoins identifiés par l'entreprise et aussi pris en compte dans leur programme de formation. Cela permet d'offrir aux employés de EY de suivre des cours d'un MBA accrédité et en même temps d'offrir une reconnaissance de chaque cours avec leur système de « badges EY ». L'employé qui suit tout le programme obtiendra un diplôme de MBA. Les employés peuvent construire leur propre programme à partir d'un large éventail de sujets liés à l'intelligence artificielle (IA), blockchain, automatisation robotique des processus, etc. Ils appliquent ensuite leur apprentissage dans leur pratique. Pour obtenir l'EY Tech MBA by Hult, les étudiants doivent compléter 16 badges et un projet final. La plupart des employés accumulent des badges, mais ce n'est qu'un petit nombre qui va obtenir le diplôme de MBA. En février 2021, plus de 100 000 badges ont été attribués aux employés d'EY. EY va lancer sur le même modèle un programme de *Master in Business Analytics* (MBAN) avec une spécialisation en intelligence artificielle pour former des spécialistes dans cette discipline. Ce programme offrira des bases pratiques en matière de données et d'IA, pour maîtriser le processus de leur utilisation dans la transformation des entreprises, ainsi que les connaissances et la confiance nécessaires pour prendre des décisions stratégiques de manière éclairée.

Les entreprises technologiques développent leurs propres solutions et proposent des formations internes à tous leurs nouveaux employés. Ces formations - non diplômantes - peuvent aussi être reconnues par d'autres entreprises (ex. les formations professionnelles des entreprises technologiques IBM, Microsoft, Google ou Amazon pour n'en citer que certaines).

Mais dans tous les écosystèmes étudiés, ce sont surtout les entreprises d'éducation qui proposent le plus rapidement de nouvelles formations et les actualisent le plus fréquemment. En plus, le format des cours est très attractif (vidéos professionnelles, experts reconnus internationalement, etc.). Les entreprises et les organisations se tournent donc vers LinkedIn Learning, D2L, et d'autres entreprises d'éducation afin d'offrir à leurs employés les formations requises pour maintenir leurs compétences à jour. Les gouvernements aussi mettent des accès à ces solutions en ligne pour arrimer leurs compétences aux besoins du marché du travail. Les entreprises et gouvernements font parfois des ententes/partenariats avec ces entreprises pour offrir des formations variées qu'ils reconnaissent dans les plans de formation.

Selon les personnes rencontrées, LinkedIn Learning offre aux gouvernements et organismes communautaires moins privilégiés une offre de qualité à faible coût pour l'utilisateur grâce aux économies d'échelle. La plateforme LinkedIn Learning (LL) permet d'acquérir des « badges »

⁴² https://www.ey.com/en_gl/tech-mba

pour certifier les compétences acquises (mis en valeur sur les profils LinkedIn) (voir annexe 4 - Étude de cas 3). LL est inclus dans le plan de formation en numérique et IA de plusieurs entreprises. L'avantage que LL met en avant est que leur plateforme de formation est arrimée au réseau d'offres d'emplois et sait ce que le marché recherche. L'entreprise a plus d'informations sur les compétences demandées par les employeurs que la plupart des agences statistiques des gouvernements grâce à leur offre de recrutement. Ces informations leur permettent d'offrir plus rapidement du contenu adapté aux besoins du marché (développer le contenu plus vite et le suggérer aux travailleurs et aux personnes en recherche d'emploi).

Au printemps 2017, le gouvernement de l'Ontario a demandé à eCampusOntario de diriger un projet pilote de trois ans sur la plateforme LinkedIn Learning. Le pilote était conçu pour atteindre chaque étudiant inscrit dans un collège ou une université de l'Ontario et lui donner accès à un contenu en ligne, axé sur les compétences, pour la préparation et la réussite professionnelles (ce ne sont pas les cours techniques qui étaient visés, mais plus des cours pour se former à des compétences connexes comme la communication, savoir préparer un CV, p. ex.). Le rôle d'eCampusOntario dans le pilote comportait trois volets. Premièrement, aider les établissements à déployer la plateforme. Deuxièmement, mener une recherche à l'échelle de la province sur l'efficacité et l'utilisation de l'outil, en partenariat avec le Conseil ontarien de la qualité de l'enseignement supérieur (COQES). Troisièmement, planter les graines d'une communauté de pratique dans laquelle les éducateurs, les bibliothécaires, les apprenants, les concepteurs pédagogiques et les technologues de l'éducation des 45 collèges et universités de l'Ontario se réunissent pour créer un ensemble de connaissances qui améliorent l'expérimentation collective et l'engagement avec la bibliothèque d'apprentissage offerte par LinkedIn Learning. Taylor et al. (2021) ont publié un recueil de cas comme démonstration de la communauté de pratique en action. Le projet pilote n'a pas été reconduit après les 3 ans, le gouvernement de l'Ontario considérant que trop peu d'étudiants et de professeurs se servaient de la plateforme. Certains établissements ont toutefois prolongé l'entente individuellement directement avec LL pour pouvoir continuer à offrir ce service et avoir une offre complémentaire de cours.

D'autres écosystèmes montrent que des entreprises joignent leurs forces aux associations sectorielles pour soutenir la formation des PME de leur chaîne d'approvisionnement. Dans certains cas, des entreprises s'organisent et collaborent pour rehausser les compétences de leurs employés. En Israël, cinq compagnies (Microsoft Israël, Western Digital, Rafael, MatrixBI, ProteanTecs) ont remporté en 2021 un appel d'offres et obtenu un montant de 1,4 million de dollars américains de l'Autorité israélienne de l'innovation⁴³ pour lancer un programme conjoint de formation pour leurs employés⁴⁴. Le principe est le suivant : les employés seniors des entreprises s'associent dans une structure indépendante à but non lucratif pour délivrer 600h de cours sur 4 mois à des ingénieurs/développeurs qualifiés et avec de l'expérience. Le but est de

⁴³ <https://innovationisrael.org.il/en/>

⁴⁴ <https://www.haaretz.com/israel-news/business/.premium-israeli-government-funded-ai-training-program-targets-top-employees-at-wealthy-firms-1.9548126>

former 250 employés (soit une augmentation de 10% des travailleurs en IA dans le pays)⁴⁵. Ce qui est innovant dans cet exemple, c'est la collaboration de plusieurs entreprises qui ont partagé des ressources seniors dans une structure collaborative pour former leurs travailleurs. Nous n'avons pas plus de précisions sur ce programme.

4.5 Constat 5 : Un accompagnement et un transfert de connaissances ciblé (par type d'entreprise, type de communauté, domaine d'application ou secteur)

Le transfert de connaissances sur l'IA peut passer par des activités d'accompagnement et de collaboration entre les établissements d'enseignement/centres et instituts de recherche et/ou les entreprises. Dans le contexte de l'IA, cela se fait autour du diagnostic, de la stratégie et de l'exécution, et implique plusieurs types d'acteurs. De nombreux exemples ont été identifiés dans les différents écosystèmes étudiés, notamment en Europe et à Singapour.

En Bavière, Applied AI (voir annexe 4 - Étude de cas 8) propose un outil diagnostique permettant d'évaluer l'état de maturité des entreprises avant de les soutenir dans leur processus de développement et/ou de formation. Ils proposent un service de formation sur-mesure adapté à la situation de l'entreprise. DigitalWallonia4.ai (voir annexe 4 - Étude de cas 7) a mis en place un programme d'accompagnement et de formation pour accélérer l'adoption de l'IA avec une emphase sur les PME. AI Sweden (voir annexe 4 - Étude de cas 9) a établi des programmes stratégiques qui servent de plateformes de collaboration et de formation entre l'industrie, le secteur public et le monde universitaire.

D'autre part, au Royaume-Uni *Faculty* a un programme de formation en IA et de mentorat personnalisé (1:1) pour des universitaires qui viennent d'obtenir un doctorat ou un postdoctorat⁴⁶ et qui souhaitent augmenter leurs compétences en science des données et en IA. Ce programme, réservé aux résidents du Royaume-Uni, est très sélectif (lors des dernières cohortes, environ 10% des postulants ont été acceptés). Il dure 8 semaines à temps plein. Les deux premières semaines sont consacrées à des présentations intensives et des ateliers. Pour les semaines 3 à 8, les participants sont affectés à un projet d'une entreprise hôte. Ils ont un réseau de plus de 300 anciens fellows et plus de 98% ont trouvé un emploi⁴⁷. Seulement 5-10% des participants viennent de programmes de doctorat en physique, mathématiques et génie. *Faculty* propose aussi des formations sur mesure pour renforcer les compétences en sciences des données et en IA d'une équipe qui travaille sur un même projet IA (voir encadré 6).

⁴⁵ Actuellement, Israël compte 320.000 travailleurs en high-tech, mais seulement 3000 sont en IA. (Données LinkedIn).

⁴⁶ Ils acceptent aussi dans le programme des ingénieurs informatiques sans doctorat, mais qui ont une maîtrise et une carrière exceptionnelle.

⁴⁷ Making the leap from academia to real-world data science? Through industry placements, intensive training and one-to-one mentoring, the Faculty Fellowship helps masters and PhD STEM graduates fast-track their job search" <https://faculty.ai/fellowship-fellows/>

Encadré 7.

Faculty propose des formations sur mesure pour renforcer les compétences en sciences des données et en IA d'une équipe qui travaille sur un même projet IA

Au Royaume-Uni, nous avons regardé plus en détail l'exemple d'une entreprise technologique appelée « Faculty » qui souhaite aider les entreprises dans leur adoption de l'IA à la fois sur la stratégie, les outils technologiques et les talents. Deux volets de leurs activités sont particulièrement intéressants pour notre étude. D'une part, ils ont un programme de formation technique personnalisé qui s'adresse à l'ensemble d'une équipe qui collabore sur un projet en IA (le programme s'appelle « Technical training - Joint working team »)⁴⁸. L'entreprise soumet un projet en IA et l'équipe de Faculty⁴⁹ met en place un programme de formation « sur mesure » pour l'équipe qui inclut du coaching et de la formation formelle adaptée au projet pour chacun des membres de l'équipe. L'objectif est de rehausser les compétences de chaque membre de l'équipe et de l'équipe dans son ensemble pour qu'ils s'approprient les modèles IA développés et puissent continuer à les utiliser. Ce modèle est axé sur le renforcement des compétences d'une équipe existante qui sera en mesure de prendre en charge les modèles développés.

SG Innovate (voir annexe 4 - Étude de cas 4) a mis en place en 2019 un atelier de 4 jours en collaboration avec la National University of Singapore pour accompagner le démarrage d'un projet en IA (« Kickstarting your ML project workshop »)⁵⁰, notamment pour des start-ups. Cet atelier ne donne pas de certification, mais permet d'aider à mettre en route un projet en IA. Dans le descriptif du workshop, il est précisé que ce cours de 4 jours est la version intensive d'une session de 25 jours⁵¹. Un des objectifs est aussi d'aider les participants à construire une carte d'apprentissage des domaines à améliorer après chaque cours. Des connaissances en programmation sont requises pour participer. Durant les jours 3 et 4, les participants travaillent sur leur projet en ayant des interactions avec des mentors du programme et en font une présentation à la fin de la journée 4. Les frais d'inscription pour les 4 jours en 2019 étaient d'environ 1800 dollars canadiens. Un autre programme de formation plus technique en apprentissage profond (« Deep Learning Developer Series ») implique des projets proposés par des start-ups pour chacun des 5 modules. Chaque participant doit créer son propre modèle d'apprentissage profond en utilisant les nouvelles connaissances acquises et en les appliquant dans son domaine d'expertise. Cela permet de mettre en relation de futurs « talents IA » avec des startups, afin de créer de « bons matchs ». SGInnovate insiste sur l'importance de la collaboration entre les différents acteurs de l'IA à Singapour pour la réussite de ces initiatives.

⁴⁸ "Increase the AI literacy of your team" <https://faculty.ai/technical-training/>

⁴⁹ Il est précisé sur leur site que leur équipe est supportée par plus de 50 docteurs de Harvard, Oxford et l'université Cambridge)

⁵⁰ <https://www.sginnovate.com/talent-development/kickstarting-your-machine-learning-journey-2>

⁵¹ <https://www.iss.nus.edu.sg/executive-education/course/detail/machine-learning-driven-data-science/stackup---startup-tech-talent-development>

Au Canada, plusieurs initiatives ont aussi été identifiées. AInBC (voir annexe 4 - Étude de cas 5), en collaboration avec l'Université de Northeastern et le PARI, propose des ateliers de deux jours sur l'IA (« AI for Growth »)⁵² conçus pour les startups qui ont peu de connaissances, d'expérience ou d'expertise en matière d'IA, d'apprentissage automatique et d'automatisation, mais qui envisagent de mettre en œuvre l'IA dans leur parcours de recherche et de commercialisation. L'atelier doit aider les participants à créer des stratégies pour un développement technologique efficace et un traitement éthique des données des clients. Les entreprises participantes seront en mesure de faire croître leur organisation plus rapidement en évitant les pièges de l'IA et en développant des plateformes robustes sur le long terme. Les entreprises qui souhaitent participer à cet atelier doivent être clientes du PARI. Avec l'aide du PARI-CNRC, le coût pour les entreprises est très faible (elles obtiennent une réduction de 90 % par rapport au prix normal).

Un autre exemple associé à l'université de Dalhousie en Nouvelle-Écosse permet d'illustrer la valeur du transfert de connaissances et l'accompagnement ciblé dans un domaine d'application précis. La mise en relation d'étudiants diplômés et des entreprises fait aussi partie de la mission de DeepSense (voir annexe 4 - Étude de cas 6). DeepSense⁵³ soutient des projets de collaboration entre des chercheurs universitaires et des entreprises du monde océanique, afin de stimuler l'innovation, la commercialisation, la création d'emplois et la croissance économique grâce à une meilleure utilisation des données. Basé au sein de l'université Dalhousie, l'environnement d'innovation DeepSense permet aux entreprises liées à l'océan de se connecter aux données et aux océanologues pour tirer parti de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique dans le développement de modèles prédictifs, de prototypes analytiques et d'applications commercialement utiles pour le secteur océanique. Aujourd'hui, ce secteur emploie près de 350 000 personnes. DeepSense peut créer une feuille de route pour toute entreprise du secteur océanique qui souhaite en faire plus avec ses données et développer des applications commerciales. L'équipe de DeepSense détermine avec l'entreprise la pertinence d'utiliser l'IA et l'apprentissage automatique et surtout la formation requise en interne et les objectifs. Cette phase est vraiment la valeur ajoutée de l'initiative en place. Ils disposent aussi d'une infrastructure dédiée (GPU et CPU IBM haute performance) adaptée à l'analyse de données complexes et aux modèles d'apprentissage automatique/deep à grande échelle.

Certaines études de cas montrent comment les écosystèmes ont su faire la différence en poursuivant le développement des connaissances et compétences en IA pour les PME. Comme cela a été précisé pour certains en voici quelques exemples :

- SG Innovate inclut les PME dans ses programmes de développement de compétences en IA. Les résultats de cette approche maximisent le taux de travailleurs en emploi, et ce malgré la transformation numérique et les situations hors du contrôle des PME ;

⁵² <https://www.ainbc.ai/ai-for-growth>

⁵³ <https://deepsense.ca/>

- Certaines PME investissent dans les cours de LinkedIn Learning afin de donner les moyens à leurs employés de gagner en compétences ;
- DeepSense propose un service de professionnels qui accompagnent les entreprises dans le bilan de leur situation actuelle (bilan de maturité), dans la mise en place d'une stratégie d'utilisation des données et dans l'exécution de projets transformationnels en IA ;
- AI Sweden a mis en place un programme de démarrage dédié aux start-up suédoises leur permettant de développer leur entreprise. Il met en lien toutes les start-up de ce programme, donne accès à des événements et leur permet de se connecter avec des clients, partenaires et investisseurs.

Certains écosystèmes se démarquent aussi par leur volonté d'inclure les communautés minoritaires dans l'apprentissage de l'IA et de rendre accessible les formations axées dans ce domaine aux personnes souhaitant changer de voie professionnelle. Pour ne prendre que cet exemple, les « modèles de communautés » d'AinBC qui, avec l'aide d'universités, d'entreprises et du gouvernement, mettent en place des programmes spéciaux comme AI for Growth pour les petites entreprises, *Athena Pathways*, qui aide les femmes à poursuivre une carrière en IA ou en science des données en leur proposant des cours, ateliers, stages, mentorats et opportunités de travail. Il y a aussi un programme *Athena Digital Leaders* pour les professionnels en milieu de carrière offert aux nouveaux immigrants pour les aider à s'intégrer dans l'écosystème.

4.6 Constat 6 : Des formations - visibles et soutenues par les gouvernements - pour sensibiliser et informer la population des opportunités et des enjeux de l'IA

Plusieurs écosystèmes ont mis en place des cours ou des programmes pour informer et sensibiliser la population sur les opportunités et les enjeux de l'IA pour la société. Certains cours ont des modules plus avancés qui peuvent aussi permettre aux étudiants, professionnels, et entreprises de mieux appréhender le potentiel de l'IA et des transformations nécessaires pour créer un nouveau modèle d'affaires ou améliorer leurs processus. Cela représente le socle de la formation en IA dans le référentiel présenté.

L'approche de l'écosystème finlandais est innovante à plusieurs égards. « Elements of AI » est une série de cours en ligne d'introduction à l'IA⁵⁴ (voir annexe 4 - Étude de cas 10). Une importante communication a été faite pour positionner la Finlande comme leader dans la sensibilisation de sa population aux opportunités et enjeux de l'IA. Ils ont ciblé la population générale, d'abord finlandaise puis mondiale. Le but initial - et affiché - était d'éduquer à l'IA 1% des Finlandais. Selon les personnes que nous avons rencontrées, l'objectif est atteint avec plus de 2% de la population formée en Finlande en 2021. Cette approche a été soutenue

⁵⁴ <https://www.elementsofai.fr/>

publiquement par le président Finlandais Sauli Niinistö : *"I encourage everyone to take this #elementsofAI course"*.⁵⁵ Le président Sauli Niinistö l'a lui-même suivi pour donner l'exemple.

L'approche éducative de « Elements of AI » est également novatrice dans sa variété, et qualifiée de plaisante et amusante. Elle se définit comme une approche « à la Netflix » par rapport aux formations plus traditionnelles. La série de cours a été conçue par l'Université d'Helsinki en collaboration avec Reaktor Education. Le programme, divisé en deux parties : 1) Introduction to AI et 2) Building AI, vise à éduquer aux grands enjeux de l'IA, puis à apprendre les bases des algorithmes associés à la technologie. Même si aucun prérequis n'est nécessaire pour la deuxième partie, il est recommandé d'avoir des bases en Python pour en tirer pleinement profit. Elements of AI est un programme gratuit d'environ 30 heures. Un certificat est automatiquement délivré pour la première partie (Introduction to AI), mais ce dernier coûte 50 euros pour la partie Building AI. Ils encouragent les participants à le suivre en groupe : « Vos chances de réussir ce cours seront multipliées lorsque vous travaillez avec des amis, des collègues ou la communauté en ligne ». Nous vous encourageons aussi vivement à participer à des discussions en ligne et à poser des questions s'il y a quelque chose que vous ne comprenez pas : toute la communauté peut en profiter ».

Elements of AI offre de transposer le modèle finlandais dans d'autres écosystèmes sur la base d'une collaboration avec des acteurs locaux : une université et une entreprise. Cette approche a d'ailleurs été soutenue par le président français Macron auprès de la Commission européenne : *"Finland for instance has shown the path... training... the population to get basic knowledge on how AI works and can be used. Appropriation by the greatest number is a key priority. I suggest the EU-commission set up the same goal for the whole European population"*. Durant la présidence finlandaise du Conseil de l'Union européenne en 2019, il a été décidé d'investir dans des compétences d'avenir et proposera gratuitement le cours en ligne « Elements of AI » dans toutes les langues officielles de l'UE.

Le cours est maintenant traduit dans plusieurs langues et adapté selon le pays et les collaborateurs locaux⁵⁶. Par exemple, AI Sweden a adapté le cours Elements of AI à leur écosystème avec l'université de Linköping. Il est disponible en suédois et en anglais.⁵⁷ Cet appui visible a montré l'importance de la démarche pour la société. En 2021, c'est environ 650 000 personnes de 170 pays qui ont suivi le cours : 40% des participants sont des femmes, 14% des participants sont des étudiants et 41% ont participé au cours afin d'effectuer un pas

⁵⁵ https://www2.helsinki.fi/sites/default/files/atoms/files/fagerlund_elements_of_ai.pdf

⁵⁶ "La Finlande a désormais publié le cours en ligne « Elements of AI »" dans 21 pays de l'UE et dans leur langue. La Lettonie a été le premier pays à lancer le cours en mai 2020, suivie par la Lituanie, la France, la Belgique, l'Irlande, la Pologne, la Roumanie, Malte, la Croatie et l'Italie de septembre à décembre. Au printemps 2021, nous avons collaboré avec des partenaires locaux pour lancer le cours pour la République tchèque, la Bulgarie, le Luxembourg, la Slovaquie, les Pays-Bas, le Portugal, l'Autriche, la Grèce, le Danemark, la Slovénie et l'Espagne (source : <https://www.elementsofai.com/eu2019fi>.)

⁵⁷ <https://liu.se/en/education/course/ete318>

d'avancement dans leur carrière. Plus de 1000 entreprises en Europe ont aussi choisi d'utiliser le programme « Elements of AI » pour sensibiliser leurs employés dans le contexte de leur transformation numérique.

En Finlande, une reconnaissance en termes de crédits est possible pour les étudiants de l'Université d'Helsinki (2 crédits ECTS par partie)⁵⁸, ce qui peut montrer le sérieux du contenu des cours et inciter certaines personnes à poursuivre une formation plus approfondie en IA. Les étudiants doivent inscrire leur cours sur le site Open University de l'université d'Helsinki pour que leurs ECTS soient enregistrés. L'université d'Helsinki a souligné une augmentation de 80% du taux d'application dans les programmes de Computer Sciences. Sur le site en français, il est indiqué qu'un processus de reconnaissance est en cours pour l'Université Sorbonne qui est le partenaire français. Sur le site de l'université Linköping, il est proposé pour 2 crédits.

Lorsque nous avons discuté avec des représentants d'autres écosystèmes européens pour savoir si le programme avait atteint son objectif et ce qu'ils en pensaient, ce qui ressortait était que le format de 30 heures semblait être une barrière pour les publics visés et que cela n'aidait pas à atteindre l'objectif de la formation pour toute la population. Cela semble avoir été surtout suivi par des personnes qui avaient déjà un certain niveau d'éducation. La EdTech Coursera propose le cours « l'IA pour tous » offert par DeepLearning.ai et qui veut se différencier justement en disant que « l'IA n'est pas réservée aux ingénieurs » (voir encadré 7).

Encadré 8.

« L'IA pour tous » cours gratuit offert par DeepLearning.ai sur Coursera ⁵⁹

Lorsque Coursera présente ce cours, la plateforme met en avant à la fois l'enseignant (Andrew Ng) et sa notoriété, et le contenu attractif non technique pour parler d'IA est identifié comme l'un des meilleurs enseignants de Coursera. C'est un pionnier de l'apprentissage automatique et de l'enseignement en ligne. La présentation du cours montre que l'IA n'est pas réservée aux ingénieurs : « *L'IA pour tous, un cours non technique, vous aidera à comprendre les technologies de l'IA et à repérer les possibilités d'appliquer l'IA à des problèmes dans votre propre organisation. Vous verrez des exemples de ce que l'IA d'aujourd'hui peut - et ne peut pas - faire. Enfin, vous comprendrez l'impact de l'IA sur la société et comment naviguer dans cette évolution technologique. Si vous êtes un professionnel non technique, « L'IA pour tous »" vous aidera à comprendre comment élaborer une stratégie d'IA durable. Si vous êtes un ingénieur en apprentissage automatique ou un scientifique des données, c'est le cours à suggérer à votre directeur, vice-président ou PDG pour qu'ils comprennent ce que vous pouvez (et ne pouvez pas !) faire avec l'IA.* »

⁵⁸ « Le terme ECTS signifie European Credits Transfer System en anglais, soit système européen de transfert et d'accumulation de crédits en français. Les crédits sont calculés en fonction de la charge de travail qui prend en compte les cours magistraux, les travaux pratiques, les séminaires, les stages, les recherches, le travail personnel, les examens, les objectifs de la formation et les compétences à acquérir. Les crédits ECTS constituent un outil complémentaire au diplôme qui facilite la mobilité des étudiants, que ce soit d'un pays à un autre ou même entre les établissements de l'enseignement supérieur. » Source : <https://diplomeo.com/actualite-credits-ects-european-credits-transfer-system>

⁵⁹ <https://www.deeplearning.ai/program/ai-for-everyone/>

D'autres écosystèmes proposent aussi des cours sur le même modèle en affichant souvent l'objectif de la formation. Certaines formations sont souvent beaucoup plus courtes et survolent les principaux éléments pour démystifier l'IA. Par exemple, AI SINGAPORE offre le cours « AI for everyone » (AI4E) de 3h en ligne pour éduquer la population aux bases de l'IA. Jusqu'en mai 2021, ils avaient formé 21000 personnes et affichaient un objectif de 100.000 en 2025. Ce cours est gratuit et réservé aux Singapouriens. Il est offert 2 fois par mois ⁶⁰. Après avoir suivi le cours, un badge numérique est remis.

4.7 Éléments de comparaison des études de cas présentées selon certaines caractéristiques et les constats établis

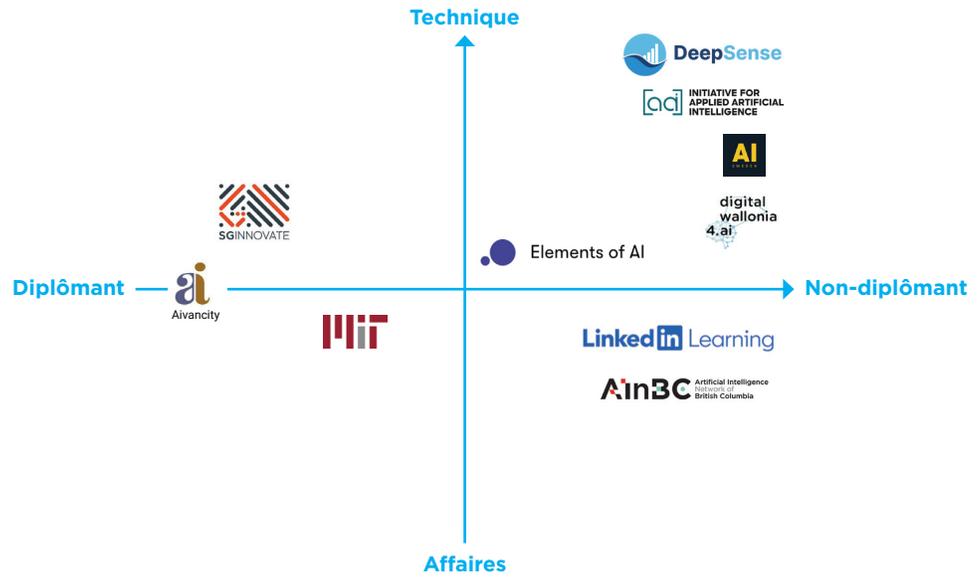
Les études de cas analysées précédemment nous ont tout d'abord permis de construire à titre indicatif trois matrices de comparaison des offres de formations axées sur le format de la formation ou du transfert (sujet et type), l'accessibilité (disponibilité et cible), ainsi que l'investissement requis (temps et coût).

Les données présentées dans les 3 matrices montrent la diversité des études de cas sélectionnées et la variation des approches (voir schéma 5).

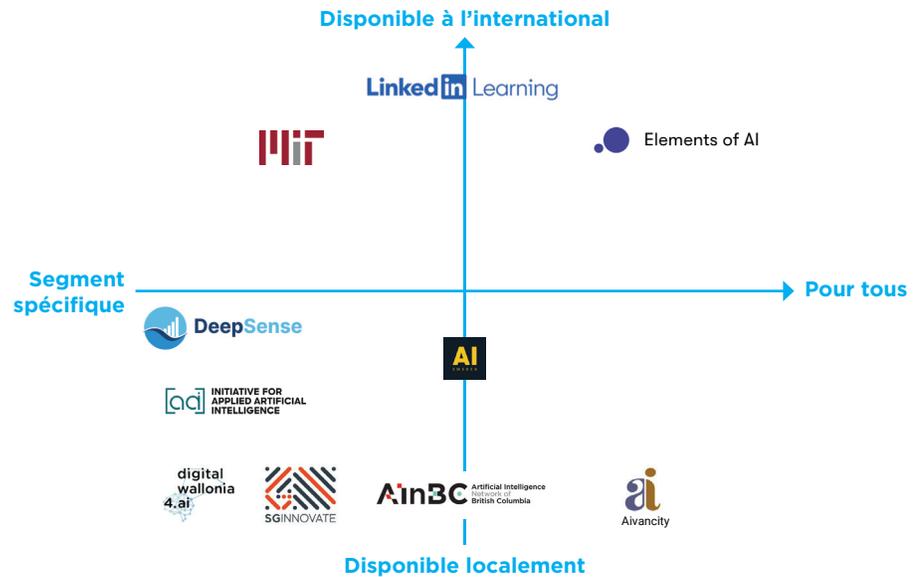
⁶⁰ <https://learn.aisingapore.org/everyone/>

SCHÉMA 5 : MATRICES DE COMPARAISON DES ÉTUDES DE CAS PRÉSENTÉES

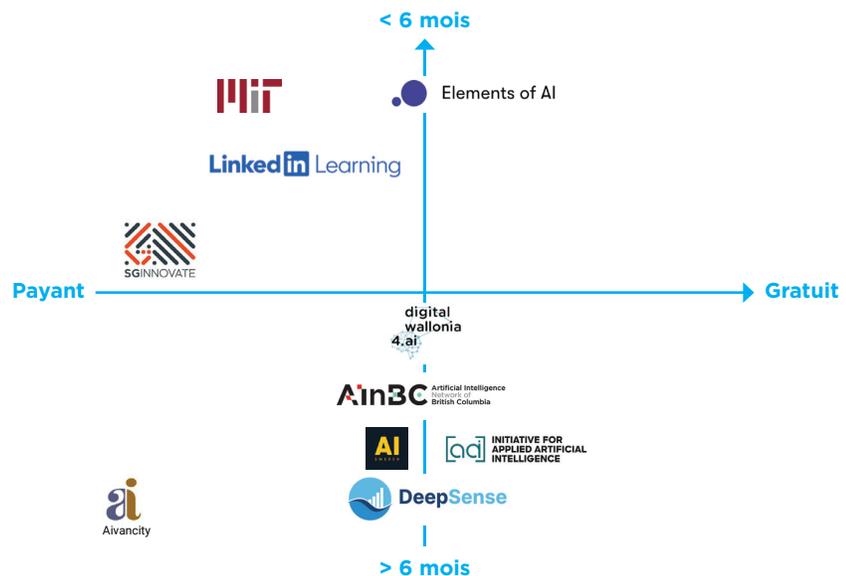
FORMAT (SUJET ET TYPE)



ACCESSIBILITÉ (DISPONIBILITÉ ET CIBLE)



INVESTISSEMENT REQUIS (DURÉE ET COÛTS)



On peut voir que la plupart des initiatives innovantes sont plutôt non diplômantes avec un contenu technique ou multidisciplinaire (par ex. technique & affaires) développé en collaboration avec des entreprises et pour un public étendu, mais le plus souvent avec une cible locale.

Quelques-unes des initiatives présentées sont disponibles à l'international (offertes en ligne donc disponibles de partout). En dehors de l'offre des établissements d'enseignement, même si certaines sont payantes, plusieurs programmes gouvernementaux sont en place pour offrir un support financier aux initiatives. Cela reflète bien les tendances que l'on a pu observer dans les différents écosystèmes.

5. Recommandations pour améliorer la formation et le partage de connaissances en IA au Québec

À la suite des constats sur les pratiques innovantes pour la formation et le transfert de connaissances dans les écosystèmes en IA étudiés, et à la suite des discussions que nous avons eues avec des représentants de l'écosystème québécois, nous avons identifié certaines pistes qui pourraient être recommandées pour le Québec. Ces recommandations ont été présentées et discutées avec plusieurs intervenants de l'écosystème IA, que ce soit des établissements d'enseignement ou d'autres types d'organisations.

Il y a plusieurs personnes ciblées par ces recommandations : les décideurs et dirigeants d'entreprises qui vont avoir à prendre les décisions en regard de l'utilisation de l'IA, ceux qui vont travailler dans un contexte d'adoption de l'IA et ceux qui vont avoir à l'utiliser ou à comprendre l'impact de son adoption sur leur métier et leur organisation que ce soient des étudiants ou des travailleurs en emploi et la population en général.

Nous allons présenter ci-dessous les recommandations et suggérer des pistes pour l'opérationnalisation [incluant les organisations qui pourraient en être responsables]. Il est important de se référer à la section 4 sur les constats pour avoir plus de détails sur les pratiques innovantes qui ont inspiré cette section. Certaines recommandations s'adressent plus directement aux établissements d'enseignement. Le PIA avec l'aide des CCTT en région et le Forum IA pourraient jouer un rôle pour coordonner les réflexions autour de certaines de ces questions en collaboration avec les acteurs pertinents dans les cégeps et les universités ainsi que le Bureau de coopération interuniversitaire, afin de renforcer encore plus la collaboration panquébécoise des établissements d'enseignement qui offrent des formations en IA et de s'assurer d'avoir une réflexion encore plus poussée sur le continuum de formation cégeps-universités autour de l'intelligence numérique et l'IA.

Nous avons tenu compte des constats faits lors du survol de l'écosystème québécois qui montrent que plusieurs initiatives sont déjà engagées dans la mise en œuvre de certaines des recommandations. Ce rapport permet ainsi de mettre en évidence l'importance de poursuivre, intensifier ou diversifier les actions dans ce sens. Ces recommandations se basent notamment sur le survol des défis, forces et faiblesses de l'écosystème québécois (voir annexe 2) et sur les grands constats qui sont ressortis des analyses des écosystèmes en IA (voir annexe 3).

Encadré 9.

Principales recommandations pour améliorer la formation et le partage de connaissances en IA au Québec

Recommandation 1 :

Élargir l'offre de programmes de formations initiales en IA appliquée combinées à des formations interdisciplinaires et interuniversitaires.

Recommandation 2 :

Créer des opportunités de développement professionnel qui font la promotion de parcours expérientiels et offrir plus de formations intégrant ce type de modalités d'apprentissage.

Recommandation 3 :

Valoriser les formations en IA responsable intégrées dans les programmes ou dans le transfert de connaissances pour qu'elles soient vues comme une différenciation de l'offre au Québec.

Recommandation 4 :

Augmenter la collaboration entre les établissements d'enseignement et les entreprises pour soutenir des programmes de formation sur mesure offrant des attestations ou des certifications pour les travailleurs souhaitant acquérir des compétences ou se perfectionner en IA.

Recommandation 5 :

Mettre en place des moyens pour mieux informer et former les décideurs au potentiel d'applications de l'IA dans leur contexte d'affaires de même qu'aux facteurs de succès qui favorisent une adoption efficace et responsable.

Recommandation 6 :

Élaborer une stratégie provinciale pour sensibiliser la population du Québec aux opportunités et aux enjeux de l'IA et augmenter la littératie numérique.

5.1 Recommandation 1 : Élargir l'offre de formations initiales en IA appliquée combinées à des formations interdisciplinaires et interuniversitaires

Éléments de contexte :

De nombreuses formations initiales en IA et des cours pour ses applications sont déjà disponibles au Québec. Cela permet de former des spécialistes en apprentissage machine et aux autres techniques de l'IA et de leur donner la possibilité de les appliquer dans différents domaines porteurs pour l'utilisation de l'IA. Certains établissements ont des spécificités en fonction des expertises de leurs chercheurs et centres de recherche. Les écoles d'été de certains instituts proposent de telles approches intégrées si l'on regarde l'offre de cours qui sont proposés.

L'objectif de cette recommandation est d'élargir l'offre diplômante à deux niveaux. D'une part, avoir une offre de programmes de formation initiale en IA intégrant à la fois la formation du domaine (finance ou santé ou agroalimentaire, etc.), la formation technique (mathématiques, statistiques, recherche opérationnelle, programmation, apprentissage machine, etc.) et la formation en éthique et innovation responsable. Ces programmes élargis ne font pas qu'associer trois disciplines, mais offrent une formation dans laquelle les différentes disciplines sont intégrées (*voir les programmes de Hi! Paris, Aivancity ou du Michener Institute of Education at UBS*). Dans le cadre de formations diplômantes, il en existe peu. Par exemple, il y a les "baccalauréats intégrés en mathématiques et économie" offerts par les départements d'économie de l'Université de Montréal⁶¹ et l'université Laval⁶². D'autre part, l'intégration de la formation en éthique dans de tels programmes pourrait être un élément de différenciation de ces programmes alignés avec le positionnement de notre écosystème en IA responsable (voir la recommandation 3). De tels programmes permettraient de former des personnes qui pourraient avoir aussi un rôle de « traducteur » avec des bases solides dans leurs organisations.

Piste d'opérationnalisation :

- ❖ Selon les spécificités des établissements et en complément des formations existantes, évaluer la possibilité d'offrir des diplômes de formation initiale qui intègrent les disciplines les plus en demande et avec un fort potentiel pour utiliser l'IA (par ex. : santé, finance, droit, génie agroalimentaire, etc.) en collaboration avec différentes facultés ou départements ou entre plusieurs établissements [Établissements d'enseignement en collaboration avec des instituts en droit et éthique appliquée (ex. OBVIA)].

⁶¹<https://sceco.umontreal.ca/programmes-et-cours/programmes-de-1er-cycle/baccalaureat-mathematiques-et-economie/>

⁶² <https://www.fss.ulaval.ca/etudes/baccalaureat-integre-en-economie-et-mathematiques/apercu>

Ces programmes offrent une solide formation en mathématiques et en statistiques qui permettent d'analyser de façon éclairée et systématique des questions économiques et de politique publique. Ces baccalauréats mènent à des études aux cycles supérieurs, notamment en économie, en mathématiques ou en ingénierie financière.

5.2 Recommandation 2 : Créer des opportunités de développement professionnel qui font la promotion de parcours expérientiels et offrir plus de formations intégrant ce type de modalités d'apprentissage

Éléments de contexte :

Au Québec, de plus en plus de programmes de formation introduisent des stages obligatoires qui peuvent s'étaler sur plusieurs mois (le plus souvent l'été). Des initiatives de collaboration ont déjà été mises en place, que ce soit dans le cadre de stages ou de projets crédités (pendant un baccalauréat en génie par exemple) commandités par des entreprises. Certains instituts de recherche en IA proposent également de co-encadrer des programmes de maîtrise ou doctorat; et des universités offrent des programmes de maîtrise en informatique entièrement réalisables en milieu d'entreprise. D'une façon générale, ce qui est important dans cette recommandation c'est d'offrir des formations initiales intégrant des initiatives pouvant permettre d'acquérir de l'expérience en application de l'IA tout au long de la formation. L'éducation expérientielle⁶³ est « une opportunité d'améliorer les compétences qui sont demandées dans les milieux professionnels et qui auront encore plus d'importance dans les prochaines années. Que ce soit la résolution de problèmes, l'innovation dans les démarches, l'autoapprentissage et l'évaluation, la collaboration ou la communication en équipe, les expériences globales travaillées en les éprouvant sont fortement en adéquation avec le monde de demain »⁶⁴.

La particularité que nous avons observée dans les programmes en IA que nous avons étudiés est la valorisation de l'apprentissage et du transfert de connaissances dans les deux sens (le stagiaire et le référent dans l'entreprise ou l'organisation considèrent qu'ils apprennent l'un de l'autre). Par exemple, l'étudiant sait qu'il a besoin de certaines données pour appliquer ses techniques d'analyse, mais c'est la personne dans l'entreprise qui connaît les données et qui sait ce qu'il est possible de faire. En collaborant, les deux vont transférer des connaissances. De plus, une autre bonne pratique mise en place dans les programmes d'immersion offerts par SGInnovate est l'accompagnement formalisé qui est donné tout du long du parcours d'immersion avec des rencontres régulières de suivi en groupes de stagiaires et aussi avec les professeurs/experts. Certains parcours expérientiels sont intégrés dans la formation tout au long de l'année au sein d'une « clinique de l'IA » (comme dans le cas de Aivaincity) dans laquelle des projets d'IA sont proposés par des OBNL ou des PME n'ayant pas les moyens de recruter des talents spécialisés en IA.

⁶³ Eager to expand your university education through experiential learning?
<https://www.concordia.ca/cunews/main/stories/2019/02/12/eager-to-expand-your-university-education-through-experiential-learning.html>

⁶⁴ <https://cursus.edu/21260/lapprentissage-experientiel-un-enseignement-concret>

Pistes d'opérationnalisation :

- ❖ Intégrer des parcours d'apprentissage et d'immersion dans les formations en IA à travers lesquels les étudiants pourront acquérir des compétences liées aux domaines d'application ainsi que des compétences en demande dans les milieux professionnels, que ce soit la résolution de problèmes, la collaboration, la communication en équipe, etc. [établissements d'enseignement]
 - Identifier les programmes et les secteurs porteurs pour lesquels il y aurait une plus grande valeur ajoutée à rajouter un tel parcours (et l'intégrer dès le départ dans la structure des nouveaux programmes interdisciplinaires proposés en recommandation 1 en ajoutant une ou deux sessions au programme).
 - Collaborer avec des entreprises de ces secteurs pour créer du contenu qui pourrait s'intégrer dans les formations (et commencer l'apprentissage dès le début de la formation) ainsi que pour avoir accès à des données ou des projets qui seraient soumis aux étudiants (sur le format des cliniques de droit en les adaptant à des projets d'IA ou selon le modèle de living labs).
 - Collaborer avec des intermédiaires de recherche qui sont en relation avec des organisations de différents secteurs pour identifier celles qui pourraient faire partie de ces programmes d'apprentissage et d'immersion (en fonction notamment de la maturité des entreprises dans l'adoption de l'IA).
- ❖ Offrir un accompagnement aux étudiants pendant leur stage ou leur programme d'immersion en entreprise - particulièrement pour les PME - pour assurer un support et permettre un transfert de connaissances à travers chaque étape du projet, qui pourrait aller dans les deux sens comme ce que nous avons observé dans les études de cas (le stagiaire et le référent dans l'entreprise ou l'organisation considèrent qu'ils apprennent l'un de l'autre) [collaboration université-entreprise et centres collégiaux de transfert technologique (CCTT)]
 - Structurer les programmes afin de prévoir les heures d'accompagnement (incluant des rencontres avec l'entreprise) dans le programme de formation et du coup dans la charge des professeurs, des assistants de recherche ou des étudiants de doctorat qui peuvent aussi aider à cet accompagnement.
 - Collaborer avec les CCTT qui sont en interface directe avec plusieurs entreprises et forment des chercheurs-industriels qui pourraient accompagner dans le suivi des projets.

5.3 Recommandation 3 : Valoriser les formations en IA responsable intégrées dans les programmes ou dans le transfert de connaissances pour qu’elles soient vues comme une différenciation de l’offre au Québec

Éléments de contexte :

Le Québec fait figure de leader dans le développement responsable de l’IA en commençant par la publication de la *Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l’IA (2018)* et la mise en place de l’OBVIA et de plusieurs autres initiatives sur des aspects précis en éthique de l’IA. Cela a permis de sensibiliser de nombreux acteurs à l’importance de ces biais dans le développement et l’utilisation de l’IA et au besoin de formation en IA de l’éthique. Quéré et McDuff (2021) ont identifié plus de 30 programmes dont 12 en apprentissage automatique, 5 en robotique et 5 en enjeux sociaux et éthiques. Plusieurs instituts proposent des écoles d’été incluant les aspects éthiques et notamment la prise en compte des biais. Ce qui a été dit lors de nos entrevues est qu’il ne faut pas juste rajouter une saveur/couleur « éthique », mais vraiment intégrer la formation des principes éthiques et de responsabilité sociale dans les cours techniques. En plus de programmes construits de façon multidisciplinaire (voir recommandation 1), il serait recommandé d’intégrer un volet éthique et innovation responsable dans des formations en génie logiciel par exemple, cela amènerait les développeurs à systématiquement tenir compte des enjeux liés aux biais dès le début et pendant le développement et à ne pas se demander à la fin si son algorithme est responsable. Certains écosystèmes semblent vouloir en faire un élément de différenciation, ce qui permet - selon les personnes rencontrées - d’attirer des étudiants et de nouveaux talents. C’est une force pour le Québec et il faut davantage le montrer pour se différencier.

Pistes d’opérationnalisation :

- ❖ Identifier le volet de la formation qui porte sur l’éthique et l’innovation responsable dans les programmes techniques proposés et communiquer sur cet aspect (cela incitera d’ailleurs certains programmes à rajouter un tel volet si ce n’est pas le cas) [établissements d’enseignement]

5.4 Recommandation 4 : Augmenter la collaboration entre les établissements d'enseignement et les entreprises pour soutenir des programmes de formation sur mesure offrant des attestations ou des certifications pour les travailleurs souhaitant acquérir des compétences ou se perfectionner en IA

Éléments de contexte :

Les entreprises, et notamment certains grands employeurs, se tournent principalement vers les entreprises éducatives (type LinkedIn Learning) pour proposer des plans de formation à leurs employés adaptés aux besoins du marché (l'offre des EdTech se positionne ainsi), car elles considèrent que la vitesse d'adaptation des établissements d'enseignement ne permet pas de le faire (et surtout qu'il n'y a pas de mécanisme pour faire part de leurs besoins), la structure de leurs programmes est peu flexible et ils offrent peu ou pas de cours en ligne. Ces cours offerts par les EdTech sont donc perçus comme très utiles pour combler ce manque et acquérir des connaissances, mais il semble parfois difficile d'évaluer les compétences acquises et surtout ils ne permettent pas d'interagir avec l'écosystème local de professeurs, chercheurs ou consultants. Certaines entreprises préfèrent donc développer leurs propres cours adaptés à leurs besoins en utilisant des ressources internes ou externes (qui peuvent inclure des établissements d'enseignement ou leurs professeurs-chercheurs) en essayant de mieux évaluer les compétences acquises. Cela augmente les compétences des travailleurs et est valorisé par l'entreprise. Toutefois, il semble difficile pour les travailleurs de valoriser cette formation en dehors de leur entreprise, car il n'y a pas de système de reconnaissance de compétences acquises dans les milieux.

De plus, certains travailleurs souhaiteraient se tourner vers des établissements d'enseignement pour acquérir des compétences en IA, mais n'ont pas le temps de se lancer à nouveau dans un programme d'études en plus de leur travail (qui ne permet pas toujours dans son format de concilier l'équilibre travail-études-famille). Mais ils auraient les capacités de le faire si le format était adapté notamment avec des formations très courtes, s'ils pouvaient utiliser leur milieu de travail comme un milieu d'application et s'il y avait une reconnaissance des compétences acquises dans leur environnement professionnel. De plus, la communauté de pratique nous a fait part de la difficulté à choisir un programme en particulier, car pas toujours facile d'évaluer le contenu entre les cours proposés.

Cela serait aussi une piste pour la mise à jour des compétences des travailleurs et notamment des techniciens et le personnel nécessaire au maintien, à l'entretien et la mise à niveau des infrastructures et des outils IA. Ces éléments rejoignent les réflexions plus larges sur l'adoption de profils de compétences des travailleurs et une reconnaissance des formations développées

par les milieux et la mise en place d'attestation ou de microcertification validant l'acquisition des compétences⁶⁵.

Pistes d'opérationnalisation :

- ❖ Aider les entreprises et les travailleurs dans le choix des programmes de formation pour la mise à jour de compétences (en fonction des profils de compétences recherchés) qui sont disponibles localement (permettant ainsi d'interagir avec les chercheurs de l'écosystème québécois) :
 - Pour ceux qui ont les compétences de base, mais souhaitent une mise à jour ;
 - Pour ceux qui ont un diplôme d'études de même niveau dans un autre domaine.
- Mandater un organisme pour produire un guide sur les formations avec la durée, le contenu, le format (avec possibilité de le suivre en ligne), les prérequis et la valeur ajoutée de suivre cette formation en particulier, dans l'écosystème local notamment l'opportunité de mieux connaître les acteurs locaux, les possibilités de collaboration ou de partage de bonnes pratiques⁶⁶.
- ❖ Proposer des programmes courts ou des microcertifications validant l'acquisition de compétences tout en profitant des milieux de travail pour appliquer les techniques / connaissances apprises dans les cours (sur le même modèle que le parcours expérientiel, mais dans une version « enrichie » par un système de reconnaissance de compétences acquises dans les milieux). [Établissements d'enseignement et instituts]
- ❖ Partager des informations concernant les formations et microcertifications de compétences acquises en IA qui auront été développées par (ou avec) les milieux d'enseignement en collaboration avec l'industrie
 - Mettre en place un lieu / forum d'échanges sur les initiatives innovantes et les projets qui ont fait consensus (notamment les collaborations fructueuses université-entreprise).

⁶⁵ L'Ontario a lancé une campagne de sensibilisation pour promouvoir les microcertifications chez les apprenants et les employeurs. Les établissements d'enseignement ont été sollicités pour collaborer avec les entreprises en demande de ces offres de formation. Dans le budget 2021, il était question de la création d'un passeport-compétence virtuel qui jette les bases de l'apprentissage continu.

⁶⁶ Cela demanderait aux établissements d'enseignement de présenter leur offre et surtout la valeur de chaque formation. Si l'information est centralisée, on pourra mieux comparer les offres disponibles et qui pourraient répondre aux besoins de chaque travailleur et de chaque entreprise.

5.5 Recommandation 5 : Mettre en place des moyens pour mieux informer et former les décideurs au potentiel d'applications de l'IA dans leur contexte d'affaires de même qu'aux facteurs de succès qui favorisent une adoption efficace et responsable

Éléments de contexte :

L'objectif de cette recommandation est d'augmenter le niveau de compréhension des gestionnaires, dirigeants d'entreprises et décideurs sur le potentiel de l'IA et les enjeux associés. Que ce soit par des formations, un accompagnement ou du conseil, cela leur permettra d'acquérir des connaissances afin de poser les bonnes questions, de prendre les bonnes décisions concernant l'utilisation responsable de l'IA ainsi que de les aider dans l'identification des ressources nécessaires pour l'adoption de l'IA, mais aussi la pérennité du projet. Les pratiques innovantes qui ont été identifiées dans plusieurs écosystèmes en plus des cours spécialisés pour eux sont l'importance d'avoir des échanges avec d'autres décideurs d'entreprises qui ont adopté l'IA (et notamment dans le même écosystème), et de continuer à partager les expériences après la formation à travers des rencontres organisées ou dans des réseaux de « diplômés ». Même s'il ne s'agit pas de créer des communautés de pratique en bonne et due forme, il est important pour les décideurs, notamment de PME, d'avoir des possibilités d'échanges. De plus, compte tenu de la multiplicité des acteurs dans l'écosystème IA, les entreprises ont du mal à identifier les bonnes ressources d'accompagnement qui pourraient répondre adéquatement à leurs besoins et aussi la qualité de ces ressources.

Pistes d'opérationnalisation :

- ❖ Mieux faire connaître l'information sur les formations et les ressources disponibles au Québec pour les gestionnaires, dirigeants d'entreprises et décideurs qui veulent avant tout comprendre ce qu'est l'IA, sa valeur pour leur organisation, les besoins de compétences que cela demanderait et les enjeux éthiques :
 - Incluant des détails sur les ressources d'accompagnement disponibles ainsi que sur les opportunités de collaboration avec les établissements d'enseignement (et notamment les instituts de recherche et les CCTT) pour les accompagner dans leur transformation numérique vers une adoption de l'IA.
 - Mandater un organisme pour produire ce référentiel et mettre en place un mécanisme de mise à jour *[en collaboration par exemple avec Scale AI qui accrédite les formations admissibles à son programme et autres partenaires pertinents et l'Académie de la transformation numérique qui offre des nanoprogrammes pour les gestionnaires]*;
 - Collaborer avec les intermédiaires de recherche et organisations sectorielles ou intersectorielles pour identifier des cas d'entreprises (et notamment des PME) ayant eu des succès dans l'implantation, l'adoption de l'IA et la prévention des

risques (mais aussi des échecs pour apprendre de telles expériences) afin de faire intervenir des décideurs dans de tels programmes et/ou faire des études de cas sur ces entreprises qui pourraient être étudiées pendant les cours [les mettre en relation avec les instituts et établissements d'enseignement].

→ Rendre disponible l'information sur une plateforme publique comme la Vitrine IA Québec ou autre.

- ❖ Mettre en place un encadrement (certification / audit) pour la reconnaissance des compétences des consultants indépendants en IA. Les gestionnaires, dirigeants d'entreprises et décideurs semblent ne pas toujours savoir évaluer l'offre de service et d'accompagnement qui leur est proposée, ce qui peut être une barrière au processus de transformation en intelligence numérique.

5.6 Recommandation 6 : Élaborer une stratégie provinciale pour sensibiliser la population du Québec aux opportunités et aux enjeux éthiques de l'IA et augmenter la littératie numérique

Éléments de contexte :

L'objectif de cette recommandation est de mettre en place des initiatives pour augmenter le niveau de connaissances de la population en général et des travailleurs de ce que sont l'intelligence numérique et l'IA⁶⁷. Certaines personnes ne semblent pas bien comprendre les opportunités de l'IA ni ses enjeux. Le Québec prône l'innovation responsable et doit le faire encore plus savoir. Il faudrait donc mettre en place une stratégie pour démystifier l'IA, présenter les opportunités, les risques ainsi que les initiatives pour un développement responsable de l'IA. Il existe déjà une offre de cours (la plupart en ligne) pour comprendre l'IA à tous les niveaux. Il est toutefois difficile de savoir quels cours sont suivis et qui les suit. De plus, ce qui a bien fonctionné dans les autres écosystèmes est la campagne de communication qui accompagne l'offre de cours. Par exemple, pour le cours « Element of AI » en Finlande et plus largement en Europe, on a vu une volonté des gouvernements d'expliquer l'importance de connaître les opportunités de l'IA et ses enjeux. Cela permettrait ainsi de diffuser à grande échelle les principes d'un développement responsable de l'IA et de montrer que le Québec a un écosystème important en IA, mais qu'il se veut aussi un leader en innovation responsable (en

⁶⁷ Cela rejoint les résultats présentés par l'OBVIA dans une autre recherche effectuée pour le PIA concernant les besoins en compétences dans les milieux de travail suscités par le développement et la mise en œuvre de l'IA (Gobeil-Proulx, 2021). Le rapport montre que dans la littérature traitant de l'IA et des compétences de manière générale, certaines compétences spécifiques se sont démarquées et notamment la littératie en IA. Cela l'amène à réfléchir sur la nécessité de mettre en place une formation à la littératie en IA. La littératie en IA est un domaine de compétence à la jonction des compétences numériques et des soft skills qui sert de fondation sur laquelle peuvent se développer les autres compétences pertinentes dans les milieux de travail où est utilisée l'IA. Long et Magerko (2020) proposent 17 apprentissages à réaliser pour développer sa littératie en IA.

mettant plus en avant les initiatives structurantes autour du développement et de l'utilisation responsable de l'IA). Cela s'applique évidemment à de nombreux autres enjeux sociétaux. Le niveau de connaissances des opportunités et des enjeux d'une innovation technologique a un impact sur son niveau d'acceptabilité sociale.

Pistes d'opérationnalisation :

- ❖ Développer un cours (en français et en anglais, offert gratuitement, disponible sur différentes plateformes, avec plusieurs modules) qui permettrait de sensibiliser la population du Québec aux opportunités et enjeux de l'intelligence numérique tout en démystifiant l'IA et en mettant en évidence la richesse de notre écosystème (notamment en recherche fondamentale en IA, en IA appliquée et en IA responsable).
 - Identifier un organisme pour piloter le projet.
 - Identifier des partenaires pour développer le(s) contenu(s) (*s'assurer de faire collaborer les différents établissements d'enseignement, les instituts de recherche et l'OBVIA*) et pour livrer le contenu (*explorer parmi les studios québécois autour de la ludification et la livraison de contenus en ligne*).
 - Partenaire financier : le Gouvernement du Québec.

Note : La possibilité d'adapter le cours grand public développé en Finlande et disponible en français et en anglais pourrait rencontrer cet objectif. Toutefois, comme nous l'avons noté dans la section 4.6 du Constat 6, le cours tel qu'il est proposé semble trop long et décourage le grand public. De plus, la valeur ajoutée d'un tel cours est aussi de s'appuyer sur les forces de l'écosystème local pour le faire connaître et surtout mettre en évidence sa valeur basée sur les spécificités sectorielles et le développement responsable de l'IA dont fait preuve de leadership le Québec (voir recommandation 3). Il semblerait donc plus adapté de le développer localement.

- ❖ Mettre en place une stratégie de communication qui explique l'importance d'augmenter le niveau de littératie en intelligence numérique et IA afin de faire connaître le cours et ses objectifs [*pourrait être orchestrée par Forum IA Québec*]
 - Identifier un organisme pour aider à développer une stratégie.
 - Envisager des collaborations pour le déploiement de la stratégie (ex. avec le support du gouvernement pour montrer l'engagement dans la transformation numérique de nos sociétés, ainsi qu'avec des associations sectorielles et la fédération des chambres de commerce du Québec pour que ce cours soit proposé aux travailleurs dans le cadre des programmes de formation des entreprises dans toutes les régions en ciblant aussi celles qui ne sont pas des utilisatrices d'IA.

Note : Dans une perspective de long terme, il faut prendre en compte tout le continuum de formation en STIM et en numérique qui débute dès la formation au primaire. Il faut s'assurer d'offrir une formation de base en mathématiques et en numérique dès le plus jeune âge afin

d'accroître le niveau de numératie et de littératie numérique de la population.⁶⁸ Il faut aussi renforcer l'information transmise aux jeunes lors du choix du domaine d'études universitaires. Cela va dans le sens du « programme de sensibilisation des jeunes aux STIM » que souhaite mettre en place Scale AI. De plus, des cours d'introduction à l'intelligence numérique et à l'IA pourraient être offerts dans les cégeps incluant les filières non scientifiques, comme un cours de citoyenneté numérique.

6. Conclusion

Les besoins en compétences et connaissances dans le domaine de l'intelligence numérique et de l'IA sont en croissance dans tous les secteurs d'activité au Québec. Comme nous l'avons mentionné à plusieurs reprises dans le rapport, avant même de parler de formations en intelligence numérique et en IA, il est primordial de réitérer la nécessité d'offrir une solide formation en mathématiques, et plus largement en STIM, aux jeunes du primaire et du secondaire, ainsi que de s'assurer d'un niveau de base en littératie numérique pour l'ensemble de la population. De plus, rappelons qu'il s'agit d'un continuum dans la formation et que la collaboration entre tous les acteurs du secteur de l'éducation est essentielle.

Dans la présente étude, nous avons fait une analyse de plusieurs écosystèmes reconnus comme étant des pôles d'excellence en IA. Le premier but étant d'identifier les pratiques innovantes en matière de formations et de transfert de connaissances, et, le deuxième, de décrire les arrimages établis entre les différents acteurs, particulièrement ceux avec les établissements d'enseignement. Nous avons repéré des expériences et des pratiques innovantes qui pourraient aider les institutions d'enseignement à améliorer et adapter la formation offerte en IA, notamment par des programmes intégrés en IA appliquée (qui intègrent la discipline et la science des données) ou ciblés pour des professionnels en emploi (en utilisant par exemple leur emploi comme milieu d'application de leur maîtrise).

Nous avons identifié des exemples de modèles de collaboration et de partenariat qui permettent aux acteurs universitaires et collégiaux, et à leurs partenaires de mieux répondre aux besoins croissants de l'écosystème. De nombreux organismes, en place à l'intérieur des écosystèmes, supportent le maillage université – entreprises, pour des stages d'étudiants, des programmes d'immersion ou du mentorat personnalisé pour des étudiants qui viennent d'obtenir un doctorat ou un postdoctorat et qui souhaitent augmenter leurs compétences en science des données et en IA.

Nous avons aussi identifié des pratiques de formation ou de collaboration novatrices qui stimulent la création et l'essor de nouvelles entreprises, avec plusieurs programmes ciblés pour

⁶⁸ en continuité avec le plan d'action numérique du Québec en éducation et en enseignement supérieur lancé en 2018 (http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Plan_action_VF.pdf)

les start-ups et les PME. L'intégration dans les différents programmes de la formation en éthique de l'IA et sur l'utilisation efficace et responsable de l'IA a aussi été abordée. Certains écosystèmes semblent vouloir en faire un élément de différenciation. Le fait que le Québec fasse figure de leader en IA responsable devrait être davantage mis de l'avant afin d'attirer des étudiants et de nouveaux talents.

Nous notons aussi l'offre qui existe afin de répondre aux besoins d'avoir des formations mieux adaptées aux travailleurs en emplois (formations courtes, etc.) et la nécessité de reconnaître les compétences développées en emploi par l'expérience et par l'autoformation (certification, attestation, etc.).

En terminant, même s'il n'est pas possible d'évaluer avec précision l'impact de telles pratiques de formation, car elles sont en place depuis peu dans certains écosystèmes, les données recueillies (nombre d'inscrits dans les programmes, stages et programmes d'immersion, collaborations avec des entreprises, nombre de projets, etc.) démontrent toutefois qu'elles augmentent la capacité pour répondre aux besoins en étudiants, travailleurs, décideurs et gestionnaires formés en IA.

Un dernier élément important qui est ressorti de l'analyse de l'écosystème québécois est la difficulté de reconnaître les compétences dans les diplômes obtenus à l'étranger. Même si cela ne fait pas partie des constats directement issus de nos écosystèmes, il serait recommandé d'adresser ce point rapidement pour aider à combler les besoins de talents.

Les recommandations décrites dans ce rapport se veulent des pistes de réflexion et devraient être évaluées plus en détail quant à leur faisabilité et à leurs impacts potentiels sur l'écosystème en IA du Québec. Au moment de finaliser ce rapport, nous sommes ravis d'observer que des initiatives de formation et de transfert de connaissances se sont mises ou se mettent en place et qu'elles vont dans le sens des recommandations que nous proposons. Il sera important de montrer que la formation et le transfert de connaissances sont un atout de l'écosystème IA au Québec.

Références

- Abrassart, C., Y. Bengio, G. Chicoisne, N. De Marcellis-Warin, M-A Dilhac, S. Gambs, V. Gautrais, et al. (2018), Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA, Université de Montréal, <https://www.declarationmontreal-iaresponsable.com/>.
- Ang, S., Hirt, M., Nguyen, C., Zhang, H. and Zhang, X. (2019). Training for the Future: A Sector-Based Approach to the Analysis of the Relationship Between Automation and Training. LSE GROUPS.
- Bauern Schuster, S., Falck, O. et Hebllich, S. (2009). Training and Innovation. *Journal of Human Capital*, 3 (4), 323–353.
- Boivin, P., Breton, G. (2018). Stratégie pour l'essor de l'écosystème québécois en intelligence artificielle. Comité d'orientation de la grappe en intelligence artificielle. <https://api.forum-ia.devbeet.com/app/uploads/2020/09/strategie-ia-vdef-19-juin-2018-v8.pdf>
- Bozeman, B., Fay, D., & Slade, C. P. (2013). Research collaboration in universities and academic entrepreneurship: The-state-of-the-art. *The Journal of Technology Transfer*, 38(1), 1-67. <https://doi.org/10.1007/s10961-012-9281-8>
- Cayrat, C., Sigouin-Lebel, P., Poirier Saint-Pierre, G. (2021). Profil de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, science des données et mégadonnées au Québec. Rapport de TECHNOCompétences. https://www.technocompetences.qc.ca/wp-content/uploads/2021/05/TC_Profil-Main-Doeuvre_Planche_18052021.pdf
- CEST (2021), Les effets de l'intelligence artificielle sur le monde du travail et la justice sociale, Avis de la CEST, Juillet.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Commission des partenaires du marché du travail. (2021). Plan stratégique 2020-2024.
- 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.
- De Marcellis-Warin N. et C. Mondin (2020). Les pratiques numériques des professionnels au Québec- État des lieux et pistes de réflexion pour accompagner le virage numérique, Rapport CIRANO - OBVIA pour le Conseil Interprofessionnel du Québec. 2021RP-14, CIRANO. <https://cirano.qc.ca/fr/sommaires/2021RP-14>

De Marcellis-Warin N. et Dostie B. (2020). Le Québec Économique 9 : Perspectives et défis de la transformation numérique. 2020LI-01, CIRANO. <https://cirano.qc.ca/fr/sommaires/2020LI-01>

De Marcellis-Warin, N. et Peignier, I. (2018). Perception des risques au Québec, Baromètre CIRANO 2018, DOI : <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7575584>

De Marcellis-Warin, N, I. Peignier, M. Hoang Bui, M. F. Anjos, S. A. Gabriel et C. Guerra, (2015). L'énergie et les changements climatiques - Perceptions québécoises, Rapport de projet CIRANO-Institut Trottier 2015RP-08 <https://cirano.qc.ca/fr/sommaires/2015RP-08>

De Wit-de Vries, E., Dolfsma, W.A., van der Windt, H.J. et al. (2019). Knowledge transfer in university–industry research partnerships: a review. *J Technol Transf* 44, 1236–1255 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9660-x>

Dostie, B. (2018). The Impact of Training on Innovation. *ILR Review*, 71 (1), 64–87.

Dostie, B. (2018). Complementarities between Firm-Sponsored Training and Technology Use. *Applied Economics Letters*, 25(19): 1364-1367.

Dostie, B. et Dufour, G. (2020). Transformation numérique et formation continue. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.). *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (8, p.221-246). CIRANO.

Dutton, T., Barron, B., Boskovic, G. (2020). L'ÈRE DE L'IA - Rapport sur les stratégies nationales et régionales en matière d'IA (N° 1). CIFAR.

Gobeil-Proulx, J. (2021), Recension des besoins en compétences suscités par le développement et la mise en œuvre de l'IA, Rapport OBVIA pour PIA Québec.

Goodman, J., Melkers, J., et Pallais, A. (2018). An elite grad-school degree goes online. *Education Next*, 18(3). <https://doi.org/10.1086/698895>.

Gouvernement du Québec. (2018). Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur. Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Bilan_2018-2019_VF.pdf

Gouvernement du Québec – Fonds de recherche du Québec (2021). L'université québécoise du futur - Tendances, enjeux, pistes d'action et recommandations, Document regroupant le Rapport des journées de délibération et le Document de réflexion et de consultation <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/education/publications-adm/rapport-reflexion-consultation/Rapport-universite-quebecoise-futur.pdf?1613746721>

Hadj, B. (2020). L'intelligence artificielle : un puissant levier de développement économique pour le Québec. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (3). CIRANO.

Institut de la Statistique du Québec (ISQ), (2016). Résultats de l'Enquête sur les pratiques de formation en emploi au Québec en 2014. Rapport de la Division Travail et Rémunération.

Jansen, A. J., White, L. A., Dhuey, E., Foster, D. and Perlman, M. (2019). Training and Skills Development Policy Options for the Changing World of Work. *Canadian Public Policy*, 45(4), 460–482. <https://doi.org/10.3138/cpp.2019-024>.

Khomh, F. (2021) *Projet de création du programme MEAIS (Master in Engineering of AI-based Software Systems)*, Rapport d'étude Polytechnique Montréal, Semla et IVADO.

Liyanage, S. (1995). Breeding innovation clusters through collaborative research networks. *Technovation*, 15(9), 553-567.

Long D., Magerko B., (2020). What is AI Literacy? Competencies and Design Kim, J. and Park, C. (2020). Education, skill training, and lifelong learning in the era of technological revolution: a review. *Asian-Pacific Economic Literature*, 34(2), 3–19. 10.1111/apel.12299

Laufer R. (2020). The social acceptability of AI systems. *Artif Intell Crit Concept, Considerations, CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 2020 Pages 1–16, <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>

Morgan, A., Colebourne, D., & Thomas, B. (2006). The development of ICT advisors for SME businesses: An innovative approach. *Technovation*, 26(8), 980-987. doi:<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.09.001>

Munro, D. (2019). Compétences, formation et apprentissage continu. *Forum des politiques publiques*. <https://ppforum.ca/fr/publications/competences-formation-et-apprentissage-continu/>

Myers, K., Pasolli, K. and Harding, S. (2019). Skills-Training Reform in Ontario: Creating a Demand-Driven Training Ecosystem. *Ontario* 360.

Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité Sociale – MTESS (2021). Rapport sur les activités de formation déclarées pour l'année 2018 conformément à l'article 3 du règlement sur les dépenses de formation admissibles in *Loi favorisant le développement et la reconnaissance des compétences de la main-d'œuvre*. <https://www.cpmt.gouv.qc.ca/publications/index.asp>

OECD. (2019). *Getting Skills Right: Future-Ready Adult Learning Systems*. Éditions OCDE.

OCDE (2020). L'innovation dans la main-d'œuvre pour favoriser des environnements d'apprentissage positifs au Canada. (Paris: Publications de l'OCDE)

Osterman, P. (2019). Employment and training for mature adults: The current system and moving forward. Brookings Institution.

Perrault, R., Shohav, Y., Brynjolfsson, E., Clark, J., Etchemendy, J., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Mishra, S., & Niebles, J. C. (2019). Artificial Intelligence Index Report 2019. AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University. https://hai.stanford.edu/sites/default/files/ai_index_2019_report.pdf

Quéré, S., McDuff, E. (2021.) Inventaire des composantes de formations en IA, Rapport du Bureau de recherche institutionnelle, UQAM pour PIA Québec.

Rainie, L. and Anderson, J. (2017). The Future of Jobs and Jobs Training. Pew Research Center.

Rajalo, S. & Vadi, M. (2017). University-industry innovation collaboration: Reconceptualization. *Technovation*. 62-63. 10.1016/j.technovation.2017.04.003.

ReflectionAI. (2019). Mapping Canada's unique pioneering AI ecosystem. Retrieved from <http://reflectionai.ca/mapping-canadas-unique-and-pioneering-ai-ecosystem/>

Roberge J, Jamet, Romuald; Nantel, Lyne; Senneville, Marius; Tchéhouali, Destiny (2019). Baromètre ville intelligente, intelligence artificielle et culture algorithmique : une comparaison Montréal, Toronto et Vancouver INRS - Centre Urbanisation Culture Société, Québec.

Taylor, Anne-Marie et al. (2021). Applications of LinkedIn Learning in Ontario's Post-Secondary Institutions.

Saussereau, L. Franck Stepler (ed.) (2002). Regards croisés sur le management du savoir. Vers les universités d'entreprise, Paris, éd. D'organisation.

Solar-Pelletier, L., Beaudry, C., et Zhegu, M. (2020). Collaboration et innovation : comment la transformation numérique change la donne. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (6). Ed. CIRANO.

Tamburri, R. (2021). Les microcertifications pour requalifier la main-d'œuvre du Canada sont-elles une aubaine ou tout simplement du battage publicitaire? *Forum des politiques publiques*. <https://ppforum.ca/fr/articles/bnw-microcertifications/>

Voyer, B. Ouellet, S, Zaidman, A.M. (2016). L'accompagnement de formation individualisé en milieu de travail : rôle, stratégies et compétences, de formateurs et de formatrices internes, Rapport de recherche 2658-13521, (UQAM).

Righi, R., Lopez Cobo, M., Alaveras, G., Samoili, S., Cardona, M., Vazquez-Prada Baillet, M., Ziemba, L.W. and De Prato, G. (2020). Academic offer of advanced digital skills in 2019-2020: International comparison: focus on Artificial Intelligence, high performance computing, cybersecurity, and data science. European Union Publications Office.

Warin, T. (2021). Data Science and Education: Potential Avenues for Social Sciences, Working papers series, CIRANO 2021s-25.

White T., Wolfe, D. (2021). Canada as a Learning Economy: Education & Training in an Age of Intelligent Machines Policy Challenges & Policy Response, INNOVATION POLICY LAB WORKING PAPER SERIES.

Wirsih, A., Kock, A., Strumann, C., & Schultz, C. (2016). Effects of University-Industry Collaboration on Technological Newness of Firms: EFFECTS OF UIC ON TECHNOLOGICAL NEWNESS. Journal of Product Innovation Management, 33(6), 708-725.

Zhang, D., Saurabh Mishra, Erik Brynjolfsson, John Etchemendy, Deep Ganguli, Barbara Grosz, Terah Lyons, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Michael Sellitto, Yoav Shoham, Jack Clark, and Raymond Perrault, (2021). The AI Index 2021 Annual Report, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University, https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/03/2021-AI-Index-Report_Master.pdf

Weingarten, H. (2021). Améliorer l'arrimage entre les universités et les lieux de travail. Forum des politiques publiques.

World Economic Forum (2018). Toward a Reskilling Revolution: A Future of Jobs for All.

Sites internet des organisations retenues pour les études de cas

Aivancity	https://www.aivancity.ai/en
MIT AI	https://mit-online.getsmarter.com/presentations/lp/mit-artificial-intelligence-online-short-course/
LinkedIn Learning	https://learning.linkedin.com/for-entire-companies
SGInnovate	https://www.sginnovate.com/talent-development
AlinBC	https://www.ainbc.ai/
DeepSense	https://deepsense.ca/
DigitalWallonia4.ai	https://www.digitalwallonia.be/fr
Applied AI	https://www.appliedai.de/
AI Sweden	https://www.ai.se/en
Elements of AI	https://www.elementsofai.com

ANNEXE 1

Le tableau ci-dessous reprend les initiatives retenues lors de l'appel à projets du PIA et met en évidence la multidisciplinarité des projets proposés (source : PIA 2020).

Titres des projets et liste des établissements participants	Objectifs
<p><i>Référentiel de compétences en gestion de l'intelligence artificielle appliqué à l'industrie 4.0</i></p> <p>Cégep de Bois-de-Boulogne et Polytechnique Montréal</p>	<p>Le projet vise à définir un référentiel de compétences essentielles à la gestion de l'intelligence artificielle dans l'industrie 4.0 et généralisable à d'autres types d'organisation. L'intégration des contenus de l'IA, la gestion de l'IA et l'organisation du travail dans un contexte d'implantation de l'IA sont les principaux sujets considérés.</p>
<p><i>Artificial Intelligence Competency Frameworks: A success pipeline from College to University and beyond</i></p> <p>Cégep Dawson et Université Concordia</p>	<p>L'objectif de ce projet est de proposer aux éducateurs de niveau collégial et universitaire et à d'autres acteurs de l'éducation, un outil flexible présentant les compétences de base, (connaissances, habiletés et capacités) requises par les praticiens de l'IA dans des domaines d'application technique, en affaires, ou en sciences humaines. L'éthique fait partie intégrante de l'IA et du travail des praticiens.</p>
<p><i>Enseignement supérieur de l'éthique de l'intelligence artificielle en contexte social d'ubiquité des technologies de l'information et de la communication</i></p> <p>Cégep André-Laurendeau et UQAM</p>	<p>En partenariat avec Accompagnement et Innovation en pédagogie numérique/Collecto (anciennement VTÉ), l'équipe des cégeps André-Laurendeau et l'UQAM développent un projet de référentiel de compétences combinant l'éthique et les études médiatiques des TIC.</p>
<p><i>Continuum, parcours qualifiant en bio-informatique. Phase 1 : Référentiel de compétences</i></p> <p>Cégep Ahuntsic et Université de Montréal</p>	<p>L'équipe a élaboré un projet pilote, <i>Parcours qualifiant continuum en science des données appliquées aux sciences de la vie</i> (pour les professions liées à la bio-informatique, la biostatistique et la biologie computationnelle). Elle s'est associée à plusieurs partenaires (le CRIM, Montréal In Vivo, Pharmabio Développement et Qualifications Québec) pour le mentorat, le recrutement d'entreprises et la formation.</p>
<p><i>Healthcare AI: A Quebec Framework for Nursing Education</i></p> <p>Cégep John-Abbott et Université McGill</p>	<p>Ce projet vise l'élaboration d'un référentiel de compétences afin d'adapter la formation en soins infirmiers et en sciences infirmières en fonction de l'utilisation complexe et évolutive de l'IA en santé.</p>
<p><i>Building an Adaptive Bilingual AI Competency Framework with Machine Learning</i></p> <p>Cégep Vanier et Université McGill</p>	<p>Développer et valider un référentiel de compétences en IA bilingue en utilisant les algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les offres d'emploi des entreprises en IA de Montréal.</p>

<p><i>How Can Virtual Assistants and AI-Based Smartphone Apps Help Post-Secondary Students with Disabilities Succeed in their Studies?</i></p> <p>Cégep Dawson et Université McGill</p>	<p>L'objectif de ce projet est d'examiner les fonctions des assistants virtuels et des applications pour téléphones intelligents fondés sur l'IA qui peuvent soutenir la réussite des étudiants ayant des handicaps comme des troubles de la vision, de l'ouïe ou de la parole, des troubles d'apprentissage, etc.</p>
<p><i>Expérimentation d'un parcours en sciences cognitives aux études supérieures afin de promouvoir auprès des filles l'attrait de la programmation et de l'intelligence artificielle.</i></p> <p>Cégep de Maisonneuve et UQAM</p>	<p>L'objectif de ce parcours en sciences cognitives, développé en partenariat avec Concertation Montréal, s'appuie sur une proposition de double DEC en mathématiques et en sciences humaines et vise, plus spécifiquement, à encourager les filles à poursuivre des études en programmation et en IA.</p>
<p><i>Développement de cours en arts et technologies à l'ère de l'IA.</i></p> <p>Cégep Marie-Victorin et Université de Montréal</p>	<p>L'équipe de ce projet a conçu deux cours afin d'initier les étudiants en arts à des domaines liés à l'IA, comme la projection intelligente, la réalité virtuelle, la visualisation de données et la génération d'œuvres par l'IA.</p>
<p><i>Parcours de formation interordre et intégré : Introduction à la gestion des données pour l'IA</i></p> <p>Cégep de Bois-de-Boulogne et Université de Montréal</p>	<p>Avec l'appui d'IVADO et de JACOB, ce projet vise la création d'un parcours de formation d'introduction à la gestion des données pour le développement de solutions en IA.</p>
<p><i>Éthique et intelligence artificielle en enseignement supérieur : pour un développement responsable de l'IA avec et par-delà la Déclaration de Montréal</i></p> <p>Cégep de Rosemont et Université de Montréal</p>	<p>Ce projet propose le développement d'une formation modulable interordre collège-université sur les enjeux éthiques et sociaux liés à l'IA. Plus spécifiquement, le projet s'inspire du processus délibératif et inclusif ayant mené à la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA afin d'outiller les étudiants et les enseignants des niveaux collégial et universitaire.</p>
<p><i>Miser sur la transdisciplinarité pour cerner les enjeux éthiques et sociaux de l'IA : développement d'un cours optionnel destiné à tous les étudiants</i></p> <p>Cégep St-Laurent et Université de Montréal</p>	<p>Ce projet consiste à créer un cours transdisciplinaire, complémentaire au cégep et à option à l'université, portant sur l'IA et ses enjeux éthiques ou sociaux. À cette fin, on a rassemblé une équipe multidisciplinaire formée d'experts en pédagogie et en technopédagogie, d'enseignants en informatique, en sociologie et en philosophie.</p>
<p><i>Intégration de l'IA dans l'enseignement du prototypage d'instruments de mesure</i></p> <p>Cégep André-Laurendeau et ÉTS</p>	<p>Le projet, appuyé par le CCTT OpTech, vise l'appropriation des compétences en IA par des étudiants de programmes techniques collégiaux et universitaires, notamment en génie physique et en électronique industrielle, en contexte authentique de recherche appliquée en développant un prototype d'instrument de mesure intégrant l'IA.</p>
<p><i>Mise sur pied d'une école d'été permanente sur l'intelligence artificielle et les sciences cognitives</i></p> <p>Cégep André-Laurendeau et UQAM</p>	<p>L'objectif poursuivi est de créer une école d'été en IA axée sur les sciences cognitives et destinée à la population étudiante collégiale.</p>

ANNEXE 2

Le tableau ci-dessous fait un survol des défis actuels des écosystèmes en IA ainsi que des forces et faiblesses de l'écosystème québécois en se basant sur la revue des études publiées en 2020 et 2021 et sur des échanges qui ont été faits avec plusieurs acteurs de l'écosystème.

Défis	Forces	Faiblesses
Offre et demande de talents en IA		
Augmentation de la demande de talents en IA	<p>Masse de chercheurs importante dans le domaine de l'IA, chaires CIFAR en IA et Lauréat Prix Turing (IVADO, 2020)</p> <p>Une grande majorité des emplois vacants ont été pourvus en interne dans les entreprises (TECHNOCompétences 2021)</p>	<p>La demande de talents en IA excède l'offre (Hadj, 2021)</p> <p>Craintes de l'écosystème face aux géants technologiques qui peuvent déstabiliser le marché de l'emploi local (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>
Développement du bassin de talents en IA	<p>Tous les établissements d'enseignement sont poussés à remodeler leurs formations pour répondre aux enjeux induits par le numérique (FRQ, 2021)</p> <p>Nombres d'étudiants en augmentation dans les domaines techniques de l'IA (Montréal international, 2020)</p> <p>Programme recrutement dans le domaine de l'IA et des TIC (incluant volet immigration). (MTESS et CPMT, 2021)</p>	<p>Besoin de rehaussement de compétences des techniciens pour entretenir les pipelines de données et les systèmes IA (DDM, 2020)</p> <p>Difficulté de reconnaissances du contenu des diplômes obtenus à l'étranger (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>
Émergence de nouveaux profils d'emploi	<p>Taxonomie des métiers de l'intelligence numérique incluant de nouveaux profils d'emplois (TECHNOCompétences 2021)</p> <p>Projets en cours sur le référentiel de compétences essentielles (PIA 2021)</p>	<p>Très peu de profils « traducteurs » actuellement disponibles (professionnels d'interface qui ont une compréhension générale de l'IA et de ses applications) (TECHNOCompétences 2021)</p>
Formations en IA		
Développement de formations en IA qui répondent aux besoins du marché actuel	<p>Initiatives concertées Cégep-Université pour développer formations (PIA, 2020)</p> <p>Plus de 30 programmes ont été recensés (12 en apprentissage automatique, 5 en robotique et 5 en enjeux sociaux et éthiques) + révision en cours de programmes connexes en IA (Quéré et McDuff, 2021)</p> <p>Bonification des formations au collégial (Quéré et McDuff, 2021)</p>	<p>Les formations collégiales ne permettent pas d'acquérir les compétences suffisantes pour contribuer au développement d'un produit ou service en IA (DDM, 2020)</p> <p>Programme de formation idéal en intelligence numérique devrait être beaucoup plus proche des entreprises, incluant les entreprises en démarrage et les PME (TECHNOCompétences 2021)</p>

<p>Demande de formations pour le rehaussement des compétences des travailleurs en emplois</p>	<p>Mise en place de formations et de transfert des connaissances par les Cégeps et universités (PIA 2021) Programmes mis en place pour soutenir la formation et le rehaussement des compétences ainsi que pour l'accompagnement des PME au Québec (MTEES et CPMT, 2021). Programme de financement de formation pour les travailleurs (ScaleAI 2021)</p>	<p>Les petites entreprises (5 à 99 employés) ne voient pas l'intérêt d'investir dans la formation pour les nouvelles technologies. (MTESS, 2021) Difficultés pour les PME d'évaluer leur niveau de maturité pour l'utilisation de l'IA (Communauté de pratique en IA, 2021) Méconnaissance des contenus des formations pour les aider à les choisir (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>
<h3>Compétences en IA</h3>		
<p>Compréhension des compétences nécessaires pour développement responsable et la mise en œuvre de l'IA</p>	<p>Initiatives concertées Cégep-Université pour connaître les compétences qu'exige l'IA (PIA, 2020) Référentiels de besoins de compétences (OBVIA, 2021) Initiatives pour un développement responsable de l'IA (Déclaration de Montréal 2018, OBVIA/FRQ, etc.)</p>	<p>Plusieurs entreprises n'utilisent pas l'IA par faute de compréhension, d'identification de leurs besoins et des ressources (talents et/ou financières) (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>
<p>Développement de compétences essentielles</p>	<p>Formations offertes dans le contexte scolaire ou extrascolaire (En Avant Math – CRM et CIRANO)</p>	<p>Difficultés de certains travailleurs de s'adapter aux changements du monde du travail (CEST, 2021)</p>
<p>Développement de la littératie numérique</p>	<p>Education au numérique de plus en plus par les canaux formels, à l'école primaire et secondaire, et dans les institutions postsecondaires, nouveaux programmes et implémentation de la technologie comme outil d'apprentissage (Abrassart et al. 2018).</p>	<p>Connaissances insuffisantes des étudiants en mathématiques et en programmation, des besoins en formation destinée aux enseignants, l'absence de ressources et d'outils pédagogiques. (Quéré et McDuff, 2021)</p>
<h3>Collaboration et transfert de connaissances en IA</h3>		
<p>Collaborations entre les différents acteurs de l'IA pour répondre aux besoins de l'industrie</p>	<p>Élaboration d'initiatives concertées Cégeps-universités pour développer la formation ou connaître les compétences qu'exige l'IA et les technologies en découlant (PIA 2021) Rôle important des intermédiaires de recherche (ex, IVADO, CRIM, etc.)</p>	<p>Multiplication des acteurs dans l'écosystème IA au Québec. Pas assez d'arrimage entre les établissements d'enseignement et les besoins de l'industrie (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>
<p>Adoption de l'IA par les entreprises et organisations</p>	<p>Collaborations de recherche appliquée pour développer des systèmes d'IA pour les entreprises (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>	<p>Utilisation de l'IA par les professionnels paraît encore floue et lointaine (De Marcellis-Warin et Mondin, 2021). Manque de compréhension des enjeux de l'IA et manque d'accompagnement (Communauté de pratique en IA, 2021)</p>

ANNEXE 3

Le tableau ci-dessous identifie pour chaque écosystème étudié les initiatives innovantes qui ont conduit à l'établissement des 6 constats.

	CONSTAT 1 Une offre de formations en IA appliquée interdisciplinaire et interuniversitaire	CONSTAT 2 Des parcours d'apprentissage expérimental "bidirectionnel" avec mentorat accompagnement	CONSTAT 3 Des écosystèmes qui intègrent les enjeux éthiques de l'IA dans les formations et en font une marque de différenciation	CONSTAT 4 Une offre de formations qui s'ajuste rapidement et qui répond « sur mesure » aux besoins des entreprises	CONSTAT 5 Un accompagnement et un transfert de connaissances ciblé (par type d'entreprise, secteur, domaine d'application)	CONSTAT 6 Des formations visibles et soutenues par les gouvernements pour sensibiliser et informer la population des opportunités et enjeux de l'IA
Colombie Britannique		AinBC Athena Pathways, destiné aux femmes et immigrants qualifiés			AinBC Programmes spéciaux pour les petites entreprises ou les minorités	
Ontario	UHN University Network « Artificial Intelligence in Health Care Certificate » Pour les prestataires de soins en santé			Partenariat LinkedIn Learning – Universités d'Ontario		
Nouvelle-Ecosse		DeepSense Mise en relation chercheurs – étudiants – entreprises	DeepSense Emphase sur les risques de biais dans les projets de collaboration		Université de Dalhousie DeepSense Détermination de la formation requise en interne lors de projets avec les entreprises	
Californie			Stanford Stanford Center for Human-Centered AI	LinkedIn Learning Cours en ligne		
Massachusetts	MIT AI Collège de l'IA Programme « AI – Implications for business strategy »					
France	Aivancity IA School HiIParis écoles et regroupements d'écoles en IA	Aivancity Clinique de l'IA dans l'école	Aivancity 25% de l'offre en lien avec l'éthique HiIParis Différenciation par l'emphase sur l'éthique			Elements of AI disponible
Royaume-Uni	Oxford University et Said Business School « Oxford Executive Diploma in Artificial Intelligence for Business »		Bureau de l'IA Emphase sur l'éthique de l'IA dans leurs rapports	Partenariat HIBS/EY : programme diplômant aligné avec les besoins de l'entreprise et permet d'obtenir des badges	Faculty Formations sur mesure pour améliorer les compétences en IA d'équipes entières	
Belgique			DigitalWallonia4.ai Cours sur l'impact sociétal de l'IA – éthique intégrés dans les programmes		DigitalWallonia4.ai Programme d'accompagnement et formation pour accélérer l'adoption de l'IA	Elements of AI disponible
Allemagne			Applied AI Propose des formations sur l'identification des biais		Applied AI	Elements of AI disponible
Suède			AI Sweden 2 jours de notions sur l'éthique par atelier		AI Sweden Programme de démarrage pour les startups suédoises	Elements of AI disponible
Finlande						Elements of AI Cours en ligne ouvert à tous qui enseigne les bases de l'IA
Israël				Programme de formation en IA entre grandes entreprises installées en Israël		
Singapour		SGInnovate cofinance le programme « Summation » d'apprentissage en IA AI Singapore : AIAP Apprenticeship Program			SGInnovate Atelier de 4 jours en collaboration avec la National University of Singapore pour accompagner le démarrage d'un projet en IA	AI for Everyone Cours de 3h pour éduquer la population aux bases de l'IA

ANNEXE 4

FICHES DE PRÉSENTATION DES ÉTUDES DE CAS

Formations offertes par des établissements d'enseignement

1	Aivancity	Paris, France	École dédiée à des programmes de 1er cycle et cycles supérieurs en IA appliquée
2	MIT AI	Massachussets, États-Unis	Programme court de formation continue pour leaders et dirigeants offert en collaboration par deux écoles du MIT

Formations offertes par d'autres types d'organisations / institutions

3	LinkedIn Learning	Californie, États-Unis	Plateforme d'autoformation avec des programmes personnalisés pour les entreprises et autres organisations
4	SGInnovate	Singapour	Programmes d'apprentissage et d'immersion pour des étudiants en IA au sein de start-ups disruptives (deep tech)

Transfert de connaissances

5	AinBC	Colombie-Britannique, Canada	Programmes ciblés notamment pour les start-ups avec un établissement d'enseignement et le programme PARI CNRC
6	DeepSense	Nouvelle-Écosse, Canada	Modèle de collaboration et d'accompagnement pour des projets en IA appliquée aux océans
7	DigitalWallonia4.ai	Wallonie, Belgique	Programme d'accompagnement et de formation pour accélérer l'adoption de l'IA avec une emphase sur les PME
8	Applied AI	Bavière, Allemagne	Programme d'accompagnement dans l'adoption de l'IA et l'offre de formation sur mesure
9	AI Sweden	Suède	Programmes stratégiques qui servent de plateformes de collaboration et de formation entre l'industrie, le secteur public et les universités

Littératie numérique, littératie de l'IA et littératie du partage des données

10	Element of AI	Finlande	Cours gratuit d'introduction à l'IA (adaptable selon les pays) avec un objectif de former 1% de la population mondiale
----	---------------	----------	--



AIVANCITY : ÉCOLE DÉDIÉE À DES PROGRAMMES DE 1^{er} CYCLE ET CYCLES SUPÉRIEURS EN IA APPLIQUÉE

École proposant un modèle d'enseignement multidisciplinaire pour l'IA à la gestion d'entreprise et à l'éthique. Cet établissement est ouvert à des profils variés et met en avant l'inclusion en offrant des bourses qui facilitent l'accès à cette formation au plus grand nombre.

France

« Nous formons aux compétences de l'intelligence artificielle, et non pas aux métiers de l'intelligence artificielle. Aivancity est une école pour la société : 50 % de compétences techniques, 25 % de compétences d'affaires et 25 % de compétences éthiques. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none">Offrir une école pour la société, sans limite, permettant de répondre aux besoins du marché (talents spécialisés au sein des entreprises) et la demande grandissante de formation en IA.
Approche	<ul style="list-style-type: none">Première école française à adopter le statut de Société à missionBourses pour offrir la formation en IA aux personnes n'ayant pas les moyens financiers (20 gratuités /année)Programme hybride: 50 % compétences techniques, 25 % compétences d'affaires et 25 % compétences éthiquesMet de l'avant l'impact social des étudiants grâce à leur production sociale et pédagogique, et non leur diplômeSortir des périmètres classiques afin de se donner les moyens de répondre aux attentes des employeursPrend le référentiel des compétences français et bâtit autour un programme adapté au marchéAigineers: terme unique déposé en France (AI Data for RH, Supply Chain, Hospitality, etc.)Clinique de l'IA: met à disposition aux étudiants des espaces physiques pour donner la technologie nécessaire aux étudiants afin qu'ils pratiquent sur de vrais outils technologiques (+ présence du robot Pepper sur le campus pour guider les élèves)
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none">Étudiants de premier cycle: programme baccalauréatÉtudiants de cycles supérieurs: plusieurs maîtrises offertesProfessionnels et exécutifs: à travers des formations en ligne et des certificats
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none">Possède un réseau de partenaires en France et à l'étranger afin d'enrichir du mieux possible les expériences professionnelles de leurs étudiants et de leurs réseauxOffre un programme en accord avec l'essor des métiers liés à l'intelligence artificielle et à la science des donnéesPromesse d'employabilité: Modèle de garantie breveté, les élèves conservent leurs accès aux ressources de l'école une fois leur programme terminé, ils peuvent revenir quand ils le souhaitent afin de remettre à jour leurs compétences, leur diplôme est conservé dans la Blockchain pour une mise à jour efficace, la garantie est de 5-10 ans selon le programme et peut se continuer à vie grâce à une certaine cotisation
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none">Présence du sujet de l'éthique à l'intérieur des cours offerts (25 % compétences éthiques)L'éthique est une valeur intégrée dans l'école via son statut de Société à mission: titre assurant l'engagement de plusieurs règles importantes dont la principale raison d'être étant l'éducation pour la société – l'ouverture sociale
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none">Partenariat avec de grandes entreprises pour la création de contenu (Google, Microsoft, LinkedIn Learning, etc.)Aivancity utilise les contenus de ses partenaires pour la base de l'apprentissage mais construit du contenu personnalisé afin de compléter son offre de service.Contribution régionale, ville qui les accueille, Centech, regroupement des collèges, etc.Transfert de connaissances au sein des PME grâce aux partenariats mis en place30 entreprises du territoire n'ayant pas les moyens de recruter un ingénieur expérimenté, peuvent s'inscrire afin de participer à un programme autour duquel les jeunes travaillent toute l'annéeCritères pour les PME: degré de maturité de l'entreprise, lien pédagogique, investissement de l'entreprise, innovation, etc.
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none">15 programmes offerts150 étudiants en formation diplômante250 apprenants en formation continue100 apprenants en formation en ligne90 % des étudiants ont trouvé un emploi 6 mois après leur sortie

Informations générales





MIT AI - IMPLICATIONS FOR BUSINESS STRATEGY : PROGRAMME COURT DE FORMATION CONTINUE POUR LEADERS ET DIRIGEANTS OFFERT EN COLLABORATION PAR 2 ÉCOLES DU MIT

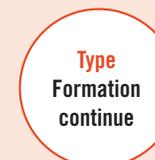
Massachusetts,
États-Unis

Le MIT offre un programme de formation continue exécutive multidisciplinaire de 6 semaines (6-8 heures par semaine) spécialisé en intelligence artificielle permettant aux professionnels de démarrer et/ou enrichir leurs compétences en intelligence artificielle. Ce programme est recommandé pour les leaders et dirigeants souhaitant apprendre comment l'IA peut transformer ou s'intégrer dans leurs organisations actuelles (compétences technologiques et affaires).

Ce programme offre une formation sur ce que les leaders ont besoin de savoir de l'IA et comment cela va impacter leur organisation. Ce programme court capitalise sur les ressources multidisciplinaires de 2 écoles du MIT afin d'accompagner les leaders dans le développement de leurs compétences en IA et les implications dans le monde réel.

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Offrir une formation accessible (en ligne) et multidisciplinaire (compétences techniques et affaires) aux gestionnaires, afin de leur fournir les connaissances nécessaires en IA pour transformer leur organisation en une entreprise futur: innovante, efficace et durable.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Programme rapide et flexible offrant un certificat du MIT Un programme complet basé sur la vision de 2 écoles différentes du MIT: le MIT Sloan School of Management et le MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory Programme axé sur 3 points clés de l'IA: l'apprentissage machine, le traitement du langage naturel et la robotique avec des applications et une utilisation des techniques Apprentissage en ligne personnalisé selon le profil de la personne et flexible tout en suivant une structure
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Les gestionnaires (leaders et dirigeants) d'entreprise et/ou d'organisation cherchant à comprendre comment l'IA peut impacter et/ou transformer leur entreprise
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Les participants de ce cours deviennent membres de la communauté MIT et peuvent bénéficier du réseau et des ressources offertes aux diplômés afin de les garder informés des grandes tendances et leur permettre d'échanger sur le sujet (ex. présence d'un groupe LinkedIn des diplômés)
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Le programme ne se concentre pas de manière officielle sur l'éthique mais l'aborde à l'intérieur même des cours Le MIT Schwarzman College of computing (nouveau collège de l'IA au MIT) pousse les étudiants et les chercheurs à réfléchir sur les impacts de l'intelligence artificielle et l'informatique. Le MIT publie des études de cas liées à la responsabilité sociale et à l'éthique de l'informatique.
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Investissements de la part de grandes entreprises telles que Blackstone ou IBM pour monter des écoles d'IA Utilisation des grandes entreprises comme étude de cas lors des cours Aides du gouvernement américain pour financer les recherches Il n'y a pas de spécificités pour les PME (les gestionnaires des PME sont invités tout comme les grandes entreprises, à suivre la formation)
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> Un programme en croissance qui attire de nombreux étudiants de partout dans le monde Des cohortes très variées pour ce programme ouvert à tous et offert en ligne Les diplômés sont très satisfaits de la pédagogie en IA appliquée (nombreux commentaires sur le site)

Informations générales



LINKEDIN LEARNING : PLATEFORME D'AUTO-FORMATION AVEC DES PROGRAMMES PERSONNALISÉS

LinkedIn Learning est une solution web ayant pour objectif de rendre accessible l'apprentissage à tous de manière virtuelle. Les vidéos sont donnés par des experts dans le domaine des affaires, de la création et de la technologie et sont centralisés sur la plateforme LinkedIn Learning afin de les rendre disponibles en tout temps. Lancement de la nouvelle version pour entreprises, soit un LXP, *LinkedIn Learning Experience Platform* qui va permettre encore plus de capitaliser sur le contenu personnalisé, l'approche communautaire, et les données pour le développement de compétences.

« La plateforme permet à tous et chacun d'acquérir des compétences en IA pour différents niveaux et peu importe la localisation. Que ce soit pour les entreprises ayant déjà du contenu de formation mais qui souhaitent enrichir leur offre, que pour les entreprises voulant former leurs talents ou bien pour les individus cherchant à se former, LinkedIn Learning offre un contenu adapté aux besoins du marché. Nous savons en temps réel les compétences en demande. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Aider les gens à découvrir et à développer les compétences dont ils ont besoin grâce à une expérience d'apprentissage personnalisée et basée sur les données.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Site en ligne accessible sur ordinateur, tablette et mobile Proposition d'un mois d'essai pour découvrir la diversité des cours Propose une grande sélection de cours en intelligence artificielle pour différents niveaux S'adresse aux individus, aux entreprises et gouvernements, écoles et universités Des cours personnalisés selon la personne (même schéma que Netflix) Un renouvellement de cours en continu Des cours accessibles n'importe où et n'importe quand Avoir accès à des cours de qualité par des experts du domaine à l'international Production de cours en temps de pandémie : LinkedIn envoie un kit d'enregistrement afin que le formateur puisse enregistrer son cours et ensuite l'envoyer à l'équipe de post-production pour le montage final et la mise en ligne du cours Production en temps normal: Les formateurs se rendent sur le campus de LinkedIn pour enregistrer leur cours en studio
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> LinkedIn Learning touche l'ensemble des 740 millions d'utilisateurs de la plateforme LinkedIn. Les recommandations de cours sont basées sur les compétences captées dans les profils des utilisateurs, leur communauté, leur entreprise, ce qui permet d'être très pertinent dans les propositions de contenu d'apprentissage. Les professionnels premium, les entreprises et les étudiants très actifs sur LinkedIn sont les premiers utilisateurs des cours sur la plateforme. Ils ont des accès à l'ensemble des cours via leurs forfaits. Tout le contenu est disponible mais limité après un certain nombre de cours.
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Des cursus d'apprentissage en fonction des compétences et des emplois pour faire participer les apprenants grâce à du contenu pertinent Les employeurs peuvent suggérer des cours à leurs employés en fonction de leurs compétences Des cours menés par des experts qui connaissent le monde du travail et ses exigences Un forum Q&A est présent sur les cours pour permettre aux participants d'interagir avec les autres personnes ayant suivi le cours ainsi que le professeur Des groupes LinkedIn sont ensuite créés par sujet pour permettre l'échange et l'information continue quant à l'évolution des bonnes pratiques
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Propose un grand nombre de cours axés sur l'IA et l'éthique
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Certaines entreprises investissent dans ce programme afin de permettre à leurs employés de gagner en compétences Le gouvernement de l'Ontario a donné accès au contenu d'apprentissage de LinkedIn Learning aux universités et collèges de la province de 2017 à 2020 - pour un projet pilote (collaboration entre LinkedIn, eCampusOntario et le MEASD de l'Ontario) Les entreprises poussent leurs employés à suivre des cours en ligne dans le but de leur faire développer plus de compétences et de leur attribuer des rôles plus stratégiques au sein de leurs entreprises (prise de conscience avec la pandémie)
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> +835 cours liés à l'IA, +66 cours spécifiques au sujet de l'IA et +5 parcours de formation incluant l'IA 94 % des employés resteraient plus longtemps dans une compagnie qui investit dans leur développement professionnel 50 % des utilisateurs apprécient l'aspect collaboratif et communautaire de la plateforme Excellent engagement (90 % +) de licences activées et 2x fois plus de contenu accédé que la moyenne

Informations générales

Offre Organisations/ institutions	Public Tous	Coûts Payant	Type Auto-formation et formation en entreprise	Durée Selon le cours	Secteur Privé	Crédit Attestation de formation (badges)
--	-----------------------	------------------------	--	--------------------------------	-------------------------	--



SG INNOVATE : PROGRAMMES D'APPRENTISSAGE ET D'IMMERSION POUR DES ÉTUDIANTS EN IA AU SEIN DE START-UPS DISRUPTIVES (DEEP TECH)

Entreprise ayant pour objectif de former des entrepreneurs dans l'objectif d'approfondir leur connaissance en Deep Learning et en Intelligence Artificielle. De plus, SG Innovate est reconnu comme un écosystème connectant les talents avec les entreprises.

Singapour

« Nous croyons au transfert de connaissances par l'apprentissage et l'immersion. Nous mettons en relation les étudiants en IA à la recherche d'opportunités dans des startups disruptives. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none">• Aider les entrepreneurs à créer des startups en technologies avancées• Développer les capacités des talents en technologies avancées en offrant des opportunités d'apprentissage de classe mondiale• Les programmes offerts par SG Innovate visent à faire de bons matchs entre les talents et les start-up à fort potentiel avec des projets dans le domaine des technologies dont l'intelligence artificielle
Approche	<ul style="list-style-type: none">• Programmes de courte durée avec diplôme à la fin de la formation• Programme ouvert aux étudiants étrangers et qui peut être financé pour les étudiants de Singapour• Présence de mentorat pour faire évoluer les étudiants• Mise en relation des étudiants et des start-ups basée sur les intérêts de chacun
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none">• Étudiants et entreprises (pour les programmes)• Tous pour les formations générales grand public, forums, conférences, etc.
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none">• Création de programmes spéciaux « programmes de talent » permettant aux personnes de participer à des projets de grandes envergures de startups en partenariat avec SG Innovate• Les personnes ont la possibilité d'agrandir leurs réseaux en participant aux événements exclusifs et en s'intégrant à la communauté Deep Tech
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none">• L'éthique dans le domaine de l'IA n'est pas clairement définie à Singapour, il s'agit d'une zone un peu plus grise – les gens se sentent confortables de partager leurs données et considèrent que cela fait parti des avancées technologiques• Lorsqu'un résultat et des bénéfices sont présentés, l'éthique est plus ou moins questionnée
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none">• Forte collaboration des grandes entreprises afin d'investir dans des programmes de formations et également d'inclure des cohortes de talents en IA au sein de leurs entreprises• Remise de bon d'achat aux citoyens par le Gouvernement afin de suivre une formation dans le domaine de leur choix• Les PME sont aussi incluses dans les programmes de développement de compétences IA afin de maximiser le plus haut taux de travailleur en emploi, malgré la transformation numérique et les situations hors de leur contrôle (ex. impact sur les emplois dû à la Covid-19)
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none">• Forme plus de 3000 participants aux formations grand public, dont la majorité (60 %) des participants sont des professionnels• Plus de 200 participants au programme, dont environ 80 % sont des étudiants• Plus de 100 start-ups comme partenaire• La majorité de diplômés se dirige vers des rôles technologiques ou des entreprises technologiques, et les salaires moyens sont au moins 20 % plus élevés

Informations générales



ARTIFICIAL INTELLIGENCE NETWORK IN BRITISH COLUMBIA : PROGRAMMES CIBLÉS NOTAMMENT POUR LES START-UPS AVEC UN ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT ET LE PROGRAMME PARI CNRC

Colombie-
Britannique,
Canada

L'AinBC est un réseau d'experts en intelligence artificielle. Il regroupe, organise et catalyse les communautés d'IA et d'apprentissage machine de Colombie-Britannique.

« AinBC propose des ateliers de 2 jours sur l'IA pour les startups qui ont peu de connaissances, d'expériences et d'expertises dans ce domaine mais qui ont envie de l'intégrer dans leurs projets. De plus nous avons 3 programmes ciblés avec un objectif social: pour les petites entreprises, pour les femmes, pour les étudiants et les professionnels en milieu de carrière (éligibilité pour les nouveaux immigrants) »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> En regroupant les acteurs clés de l'écosystème en IA, AinBC veut établir la Colombie Britannique comme le leader national dès 2022
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Offre 3 programmes connectés à un objectif social: AI for Growth pour les petites entreprises, Athena Pathways pour les femmes, Athena Digital Leaders pour étudiants et professionnels en milieu de carrière (éligibilité pour nouveaux immigrants et hommes). Structure un grand réseau composé d'experts en IA et apprentissage machine en Colombie-Britannique et possède des partenaires qui ouvrent le réseau au reste du Canada Propose en partenariat avec la Northeastern University et le CNRC-PARI, des ateliers de 2 jours sur l'IA pour les startups qui ont peu de connaissances, d'expériences et d'expertises dans ce domaine mais qui ont envie de l'intégrer dans leurs projets (l'entreprise doit être cliente du PARI pour avoir accès aux ateliers) Gère avec l'aide d'universités, entreprises et le gouvernement, le programme Athena Pathways qui a pour but d'aider les femmes à aboutir à une carrière en intelligence artificielle ou en science des données en leur proposant des cours, ateliers, stages, mentorat et opportunités de travail
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Des employés d'entreprises de Colombie-Britannique Des professionnels et étudiants de Colombie-Britannique Programme spécial pour les femmes en IA: Athena Pathways L'objectif est de faciliter la participation de tous à faire grandir cet écosystème et le dynamiser
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Possède un programme de recrutement de talents en IA et machine learning : Mettant en avant des startups et entreprises aux membres du réseau qui sont à la recherche de nouveaux projets en IA ou machine learning mais également à la recherche de postes à long terme
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Intègre dans les ateliers de 2 jours des notions sur l'éthique dans l'IA
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Partenaire avec Northeastern University – Vancouver Peu de contribution de la part des grandes entreprises. En revanche, les grandes entreprises sont intéressées par les talents et leur intégration au sein de leur environnement Possède un partenariat avec le gouvernement pour créer et financer un centre physique ayant pour but le développement d'idées et d'entreprises dans le domaine de l'intelligence artificielle Un programme sur 2 jours est disponible pour les PME pour leur permettre de se développer dans les domaines de l'IA et du machine learning et ainsi d'étendre leur expertise
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> 500 femmes placées dans des rôles en lien avec l'IA, les sciences des données et l'apprentissage machine 100 bourses de 500\$ attribuées à des femmes

Informations générales

Offre
Organisations/
institutions

Public
Tous

Coûts
Payant (avec
aides)

Type
Formation
continue

Durée
Selon le
programme

Secteur
Collaboration

Crédit
Attestation de
formation

DEEP SENSE : MODÈLE DE COLLABORATION ET D'ACCOMPAGNEMENT POUR DES PROJETS EN IA APPLIQUÉE AUX OCÉANS

Nouvelle-Écosse, Canada

DeepSense soutient des projets de collaboration entre des chercheurs universitaires et des entreprises du monde océanique, afin de stimuler l'innovation, la commercialisation, la création d'emplois et la croissance économique grâce à une meilleure utilisation des données et de l'IA.

« Les entreprises ayant suffisamment de talents et/ou de données pour débiter leur parcours en IA représentent 10 %. Il y a beaucoup d'éducation à faire autour de l'IA et de ce qui est requis pour en bénéficier. Tous les projets sont des projets de recherche appliquée avec des étudiants et des entreprises partenaires. Les PME sont les principales cibles puisqu'elles ont besoin de comprendre davantage comment elles peuvent capitaliser sur l'AI au profit de la mission de leur entreprise. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Permettre aux entreprises liées aux océans d'accéder à des données et à des scientifiques océanographiques d'utiliser l'IA, le ML et les algorithmes prédictifs pour créer des applications commerciales pertinentes pour l'économie des océans.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Objectif est de créer une nouvelle génération de scientifiques des données qui voient la valeur et le potentiel des données océaniques, fournissant un soutien à un large éventail de facultés et de domaines d'études Formation à travers le service de professionnels qui accompagnent les entreprises dans le bilan de leur situation actuelle (bilan de maturité), dans l'accompagnement d'une stratégie d'utilisation des données et dans l'exécution des projets transformationnels en intelligence artificielle Rôle d'intermédiaire entre les étudiants et les entreprises Éducation par projet – apprendre en passant par leur objectif et leur réalité Tous les projets sont des projets de recherche appliquée avec des étudiants et des entreprises partenaires Chaine de valeur océanique au sens large (inclure une portée plus grande et les zones d'interdépendance) Accès à leur infrastructure, et leur logiciel open-source pour tester des projets en IA
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Chercheurs académiques Entreprises liées au secteur des océans Scientifiques de données
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Assurer un accompagnement en continu et un transfert de connaissances à travers chaque étape du projet Permettre aux étudiants : d'explorer un nouveau secteur, de créer des réseaux, de développer de nouvelles compétences et d'obtenir une orientation vers des domaines d'opportunités
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Inclure les biais afin de comprendre ce qui est essentiel de prendre en considération au travers des analyses (prendre une vue complète) – cependant peu d'impact humain dans les projets en cours
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Les grandes entreprises avec lesquelles DeepSense travaillent ont souvent plus de moyens financiers et plus d'opportunités d'emplois pour les étudiants après les projets Partenariat avec IBM Offert par des partenaires de réputation mondiale, DeepSense est soutenu par l'Université Dalhousie, la province de la Nouvelle-Écosse, l'Agence de promotion économique du Canada atlantique, l'Océan Frontier Institute et le Centre for Ocean Ventures and Entrepreneurship. Les PME sont les principales cibles de DeepSense puisqu'elles ont besoin de comprendre davantage comment elles peuvent capitaliser sur l'AI au profit de la mission de leur entreprise
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> 6 projets à fort impact sélectionnés et réalisés via l'approche Deep Sense +110 compagnies rencontrées à travers le processus établi Évalue que seulement 10 % des entreprises possèdent suffisamment de talents et/ou de données pour débiter leur parcours en IA

Informations générales



DIGITALWALLONIA4.AI : PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT ET DE FORMATION POUR ACCÉLÉRER L'ADOPTION DE L'IA AVEC UNE EMPHASE SUR LES PME

Le programme a pour objectif d'accélérer l'adoption de l'intelligence artificielle en Wallonie et le développement de son écosystème. Il comprend des initiatives de sensibilisation, de formation, des actions concrètes d'accompagnement des entreprises désirant incorporer l'IA au sein de leur modèle.

« La barrière à une transformation numérique réussie est bien souvent la gestion de changement. Il est important de sensibiliser les gestionnaires aux enjeux. Nous avons différents programmes mais nous avons un focus sur les PME qui ont le plus besoin d'accompagnement et de formation. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Transformer la Wallonie en passant par un programme numérique qui fixe les priorités et objectifs des politiques publiques et cadre les soutiens aux initiatives privées en faveur du numérique.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Support aux entreprises via des programmes d'accompagnement et de formation sur-mesure 3 programmes actuellement offerts: <ol style="list-style-type: none"> StartIA: phase d'idéation et d'exploration d'opportunité en IA, accompagnement avec des experts dans le domaine TremplinIA: exécution du projet, développement du projet identifié en phase 1 ou préalablement défini, la collecte de données et la manipulation des données se fait lors de cette étape CapiA: commercialisation du projet qui a été développé
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Entreprises à différents niveaux de maturité mais à la recherche de support 41 candidatures: 14 seulement peuvent être financés 62 % des applicants sont des PME Critères de sélection: représentativité du marché, avoir un équilibre entre sélectionner des grandes entreprises et des PME, capacité de l'entreprise à se lancer dans un projet d'IA, avoir un siège d'exploitation à Wallonie, projet innovant dans le domaine de l'IA, qualité du rapport et potentiel à entrer sur le marché 62 % de PME qui postule au programme d'accompagnement (en général)
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Programme de formation de sensibilisation sur ce qu'est l'IA: 5 compétences, en ligne, public cible: tous (de gestionnaires, étudiants à professionnels) Partenaire de formation: Numeria (https://numeria-academy.be/) avec 5 centres de compétences wallons
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> L'éthique est un sujet intégré directement au cœur de chaque programme Cours en ligne gratuit sur l'impact sociétal de l'IA: «Sustainable AI in Business» est une initiative d'Agoria, organisme porteur du programme DigitalWallonia4.ai.
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Partenariat avec des grandes entreprises pour le matériel de formation Financé par le cabinet ministériel
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> 23 projets de transformation numérique 2667 acteurs du secteur wallon du numérique 1038 entreprises wallones actives dans l'e-commerce 75 évènements numériques en Wallonie et en Belgique 1 entreprise sur 3 passe du programme startiA à tremplinIA, questionnaire de satisfaction démontre que 100 % de ses entreprises disent qu'il y a une suite à leur projet

Informations générales





AI SWEDEN : PROGRAMMES STRATÉGIQUES QUI SERVENT DE PLATEFORMES DE COLLABORATION ET DE FORMATION ENTRE L'INDUSTRIE, LE SECTEUR PUBLIC ET LE MONDE UNIVERSITAIRE

Centre national suédois pour l'intelligence artificielle. Il a pour but d'accélérer l'IA dans l'industrie et la société suédoise en menant différents projets de grande envergure et en proposant des formations ciblées à leurs partenaires et au grand public.

Suède

« Notre mission est d'accélérer l'utilisation de l'IA au profit de notre société, de notre compétitivité et de toute personne vivant en Suède. Nous menons des projets d'intérêt national en soins de santé et lutte contre le changement climatique. Nous voulons contribuer à une culture de partage, de coopération et d'action dans l'écosystème suédois de l'IA. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> • Accélérer l'utilisation de l'intelligence artificielle appliquée au profit de notre société, de notre compétitivité et de tous ceux qui vivent en Suède.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> • Propose des cours en ligne gratuits accessibles à tout le monde (dont un basé sur le cours Elements of AI) • Propose un programme de démarrage dédié au Start-up suédoise leur permettant de développer leur entreprise. Ce programme met en lien toutes les start-up de ce programme, donne accès à des événements, leur permet de se connecter avec des clients, partenaires et investisseurs • Session de formation offertes aux spécialistes/scientifiques de la donnée en collaboration avec leurs partenaires d'affaires (entreprises) • Sessions personnalisées sur-demande conçues précisément pour les besoins et la situation actuelle d'un client • Conception d'un outil mesurant le niveau de maturité d'une entreprise selon la situation actuelle d'un client – et de cette façon proposé une formation adaptée à aux besoins • Plusieurs offres de support de développement pour les start-ups dans le domaine de l'IA • Programmes stratégiques qui servent de plateformes de collaboration entre les partenaires de l'industrie, du secteur public et du monde universitaire.
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> • Les citoyens suédois (puisque'il s'agit d'une initiative financée par le gouvernement et les entreprises suédoises) • Professionnels, entreprises, start-ups • Cours de 45 minutes pour introduire l'IA pour les leaders (sur téléphone cellulaire) • Pour tous lors des session grand public (conférence, forum à propos des bases de l'IA)
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> • Permet à ses partenaires d'explorer et utiliser l'intelligence artificielle en leur fournissant une infrastructure (personnel, savoir-faire et matériel) • Accueille le AI Sweden Edge Lab. Il s'agit d'un espace où les étudiants et les experts du domaine se rencontrent, et où les étudiants peuvent explorer leurs sujets en utilisant du matériel et des outils de pointe, de qualité industrielle, avec le soutien étroit du personnel de la Data Factory de AI Sweden permet au partenaire de d'AI Sweden de monter des projet d'AI, de les développer et les tester dans le but d'accélérer l'innovation de l'IA (https://www.ai.se/en/data-factory)
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'un réseau sur l'éthique (supporté par un groupe d'experts en éthique dans le domaine de l'IA) afin de favoriser le partage des expériences/apprentissages (format: rencontres, forum, discussion)
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> • AI Sweden possède des partenaires privés (entreprises) qui aident son financement en complément du gouvernement • Les partenaires (entreprises) n'apportent pas seulement un support financier mais aussi aident à la création de contenu pour les formations (par exemple, à titre d'études de cas) • Mise en place d'un groupe d'échanges pour la formation et l'apprentissage est un réseau visant à renforcer la formation et l'apprentissage en relation avec l'IA appliquée.
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Collabore avec plus de 100 partenaires représentant entreprises privées, secteur public, universités et instituts de recherche. • Appel à projets de thèse de maitrise dans le cadre du AI Swedens' Edge Lab • Plus de 166 Start-ups en IA impliquées

Informations générales



APPLIED AI : PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DANS L'ADOPTION DE L'IA ET OFFRE DE FORMATIONS SUR MESURE

Applied AI est une initiative de l'état bavarois qui se démarque par son approche d'évaluation de la maturité d'entreprises afin d'adapter la formation et l'accompagnement selon les besoins spécifiques de celles-ci. Applied AI offre donc ces services d'accompagnement, de conception mais aussi de formation sur-mesure, via leur plateforme Foundations of AI.

« Notre principale métrique est la progression des entreprises, étudiants, entrepreneurs dans le domaine de l'IA. Nous proposons un outil diagnostique permettant d'évaluer l'état de maturité des entreprises avant de les supporter dans leur processus de développement et/ou de formation. Nous avons un service de formation sur-mesure adapté à la situation de l'entreprise. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Approche de conception complète, de la stratégie à la technologie pour faciliter l'adoption et la démocratisation de l'IA. Applied AI est l'initiative la plus importante de l'Allemagne.
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Création d'une plateforme de formation en ligne accessible à tous et gratuite (Foundations of AI) Outil diagnostique permettant d'évaluer l'état de maturité des entreprises avant de les supporter dans leur processus de développement et/ou de formation (niveau de maturité: expérimentation, pratique, professionnel ou avancé) Service de formation sur-mesure et/ou adapté à la situation actuelle de l'entreprise Service de création de prototype et/ou de produit numérique complet en IA Applied AI fait partie de UnternehmerTUM: l'un des plus grands centres d'innovation d'Europe et est une organisation à but non lucratif (plus de 200 employés servent plus de 2500 personnes, plus de 100 startups et plus de 100 entreprises par an)
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Entreprises établies Entreprises en création Entrepreneurs Leaders en IA allemands en contribution Partenaires fondateurs : BMW, Google, Infineon, Linde, Nvidia, Siemens
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Création d'un cours en ligne: Foundations of AI gratuit et accessible à tous présentant les bases de l'IA Accompagnement des entreprises dans le processus de développement et/ou de formation (plateforme de formation) Propose de mettre en place une académie de l'IA adaptée pour chaque entreprise
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Sujet inclus dans le cadre des formations (par exemple: comment identifier et régler les biais) Concept inclus dans la formation Foundations of AI accessible sur la plateforme en ligne foundationsofai.com
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Supporté par de grandes entreprises avec notamment comme membres fondateurs BMW, Google, Infineon, Linde, NVIDIA et Siemens. Initiative financée à 40 % par le gouvernement Implication du gouvernement dans les enjeux de société, l'impact de l'IA, et les initiatives touchant le secteur public Applied AI forme des plus petites entreprises via leurs services de formation (AI-Academy) et via la plateforme Foundations of AI pour les entreprises (gratuite et accessible à tous)
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> Plus de 2000 personnes impliquées autour des projets de Applied AI Plus 100 compagnies créées 35 systèmes d'IA construits 20 stratégies d'IA définies 50 compagnies transformées avec l'IA

Informations générales





Cours en ligne ayant pour objectif d'encourager chacun, quelque soit l'âge ou sa formation, à apprendre les bases de l'IA.

« L'objectif d'Elements of AI est de sensibiliser et d'informer la population comment l'IA fonctionne et comment l'IA peut être utilisée. Notre objectif initial était de former 3 % de la population de la Finlande. Le président de la Finlande a soutenu notre initiative. Maintenant notre objectif est d'enseigner les bases de l'intelligence artificielle à plus de 1 % de la population mondiale, d'ici fin 2022. »

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Enseigner les bases de l'IA à plus de 1 % de la population mondiale à travers une plateforme numérique, d'ici fin 2022
Approche	<ul style="list-style-type: none"> Cours conçu par l'Université d'Helsinki et disponible sur la plateforme de la société technologique Reaktor (depuis 2018) Durée de la formation: 30h (2 crédits, 6 sections, 25 exercices) Plateforme technologique créée sur-mesure pour la livraison de la solution Présence de 2 programmes (introduction à l'IA et construire l'IA) et 6 modules (définition de l'IA, la résolution de problèmes en AI, les cas appliqués de l'IA, le Machine-Learning, les réseaux de neurones et les implications de l'IA sur la société). Collaboration entre les acteurs gouvernementaux, entreprises et universités: un partenaire universitaire et un partenaire financier pour chaque région souhaitant rendre accessible le programme adapté aux réalités Les étudiants évaluent les réponses (1 à 5) de 4 autres étudiants (approche évolutive d'évaluation des pairs)
Public ciblé	<ul style="list-style-type: none"> Accessible à tous; s'adresse aux personnes curieuses peu importe l'âge, la profession et/ou le pays Formations gratuites ouvertes à tous, non créditées 50 % des clients cibles de cette formation sont des petites entreprises Les prisonniers de la Finlande sont formés en IA à travers le programme d'Elements of AI
Développement des talents	<ul style="list-style-type: none"> Les forces de la Finlande comprennent à la fois l'expertise en intelligence artificielle et l'égalité d'accès à l'éducation. Ils partagent désormais leur expertise avec tous les pays de l'UE et souhaitent soutenir l'apprentissage tout au long de la carrière des Européens. (Tuula Haatainen, 2020)
Cadre éthique	<ul style="list-style-type: none"> Un cours gratuit sur l'éthique en AI est aussi offert par l'université d'Helsinki: https://ethics-of-ai.mooc.fi/ Les thèmes explorés sont les suivants: Qu'est-ce que l'éthique de l'IA? Que devrions-nous faire? Qui devrait être blâmé? Devrions-nous savoir comment fonctionne l'IA? L'IA devrait-elle respecter et promouvoir les droits? L'IA doit-elle être égalitaire et non discriminatoire? Comment l'éthique de l'IA pourrait-elle évoluer?
Rôles et responsabilités de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Société construite suite à un partenariat entre une université (Université d'Helsinki) et une entreprise technologique (Reaktor) Présence d'un partenaire académique (souvent universitaire) afin d'aider les étudiants à travers le cours Le cours peut être adapté dans tous les écosystèmes : représentants du secteur public, organisations et/ou entreprises commercialisant le cours en tant que partenaires Les partenaires locaux ont soutenu le lancement du cours dans chaque État membre de l'UE Les missions finlandaises dans les États membres de l'UE seront étroitement associées aux travaux visant à faire connaître le cours dans chaque pays. Contribution du Ministère des Affaires étrangères
Résultats (2021)	<ul style="list-style-type: none"> Classé #1 au monde comme cours relatif à l'intelligence artificielle par le Class Central et Forbes En 2019, le cours a remporté le grand prix mondial dans le cadre du défi de l'innovation inclusive du MIT Plus de 650 000 étudiants Temps de complétion approximatif est de 30 heures 40 % des participants sont des femmes 14 % des participants sont des étudiants 41 % des participants ont participé au cours afin d'effectuer un pas d'avancement dans leur carrière +1000 compagnies en Europe ont décidé de sensibiliser et former leurs employés en utilisant Elements of AI Augmentation de 80 % du taux d'application dans les programmes de Computer Sciences dans l'université partenaire (U. Helsinki)

Informations générales

