

Vers une meilleure compréhension de la transformation numérique optimisée par l'IA et de ses implications pour les PME manufacturières au Canada - Une recherche qualitative exploratoire -

Amir Taherizadeh (M.B.A., Ph.D.)

Professeur, Faculté de gestion Desautels,
Université McGill
amir.taherizadeh@mcgill.ca

Chercheur au CIRANO

Catherine Beaudry (MSc., Ph.D.)

Professeure titulaire
Titulaire de la Chaire de recherche du
Canada sur la création, le développement
et la commercialisation de l'innovation
Département de mathématiques et de
génie industriel,
Polytechnique Montréal



Adoption de l'IA au Canada

Contexte

Concepts clés

IA

Intelligence artificielle

“la théorie et le développement de systèmes d’information capables d’effectuer des tâches qui nécessitent normalement l’intelligence humaine” (Rainer et al. 2020, p. 462)

AA

Apprentissage automatique (*machine learning*)

“la capacité d’effectuer avec précision de nouvelles tâches invisibles, basées sur des propriétés connues tirées de la formation ou des données historiques qui sont étiquetées” (Rainer et al. 2020, p. 465)

AA

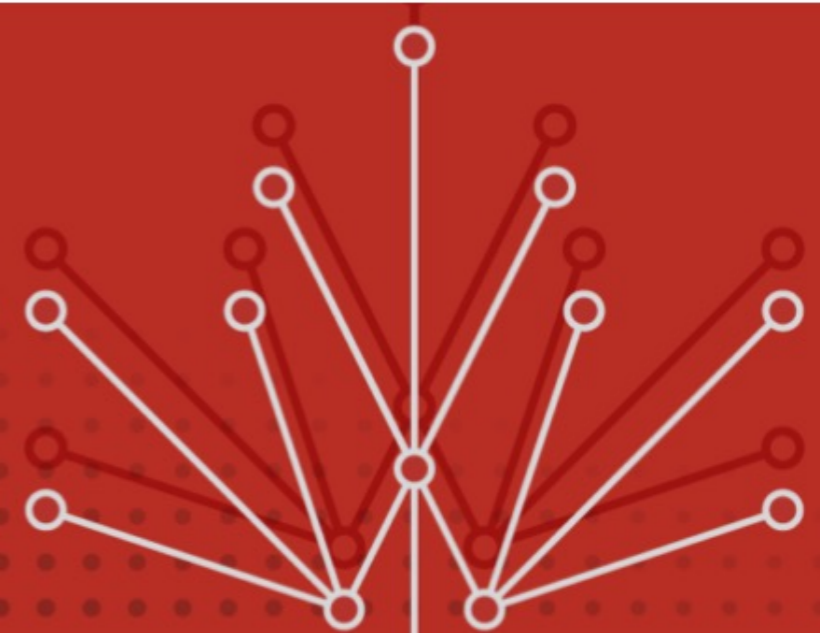
Dans cette étude, les entreprises échantillonnées ont principalement intégré l’apprentissage automatique dans leurs processus de travail et leurs mécanismes

Objectif

Décortiquer la nature de la transformation numérique optimisée par l'IA, principalement dans le contexte des PME du secteur manufacturier canadien.

Pan-Canadian AI Strategy

Quelques éléments pertinents de la stratégie



- Parmi les leaders mondiaux de la R-D en IA
- La 3^e plus grande concentration d'experts en IA au monde se trouve chez nous
- Investissement considérable du gouvernement - Stratégie pancanadienne en matière d'IA en 2017 - qui se poursuivra jusqu'en 2030
 - L'une des premières stratégies nationales d'IA au monde (même rapportée 1^{ère} par [AI Index Report 2021](#))
 - 125 millions de dollars injectés dans les instituts de recherche en IA (recherche fondamentale)
 - Le secteur privé de l'IA a attiré 3 milliards de dollars de nouveaux investissements
 - Engagement récent de 2020-2021 à 2030 : 443,8 milliards de dollars
 - Création de 50 000 emplois dans des entreprises axées sur l'IA partout au Canada
 - Produire le plus de brevets d'IA par million d'habitants parmi le G7 et la Chine
 - Toronto est l'écosystème entrepreneurial le plus dense en matière de startups en IA au monde suivi de Montréal en 2^e position

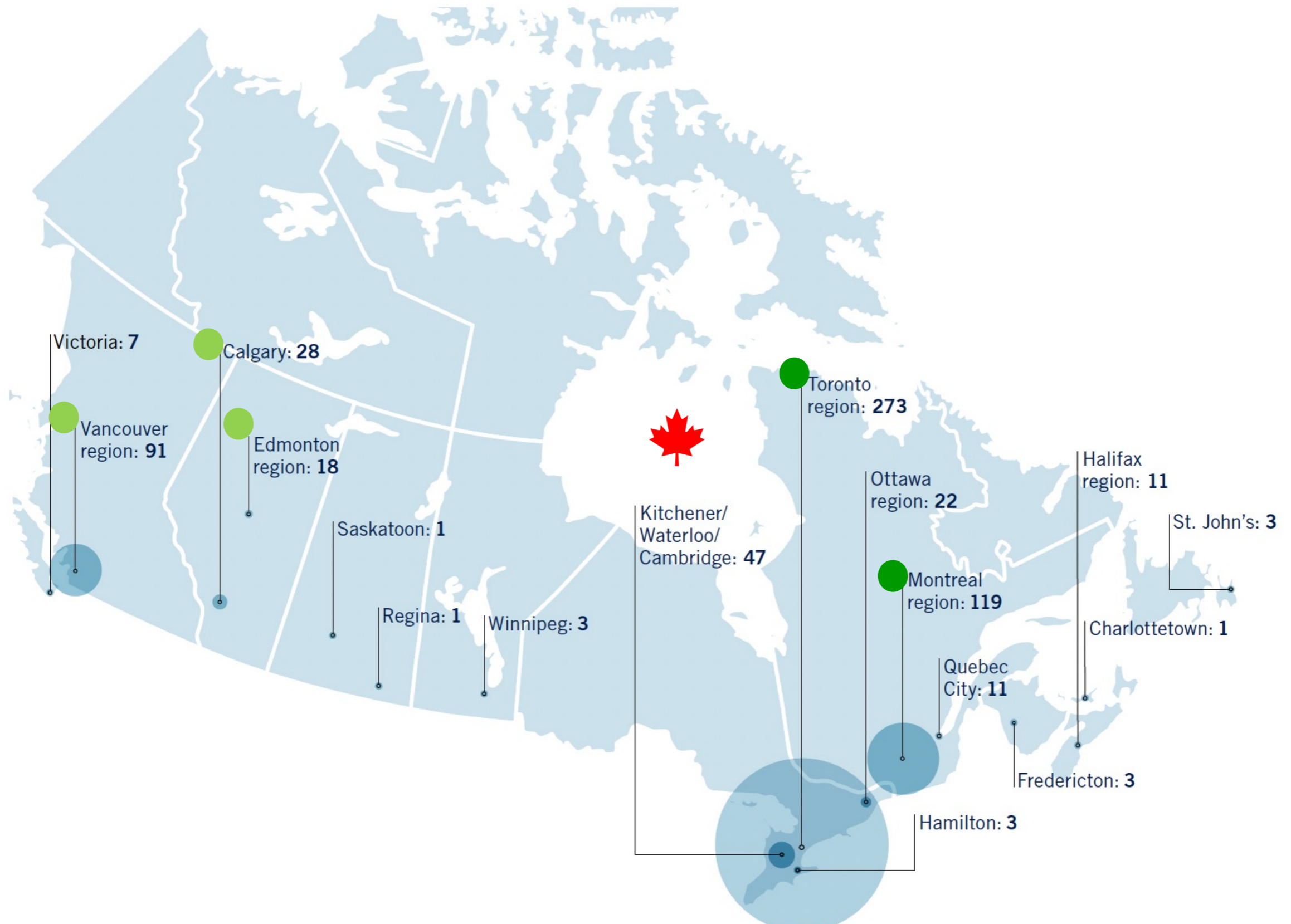
Sources:

Canada's AI Ecosystem

- <https://cifar.ca/ai/>
- <https://vectorinstitute.ai/2021/05/03/federal-government-renews-pan-canadian-ai-strategy/>
- https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/uot/pages/301/attachments/original/1594219597/GRO_AI_Report_FINAL_2.pdf?1594219597
- https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/11/2021-AI-Index-Report_Master.pdf



Nombre d'entreprises d'IA par province



Importance de l'IA comme TUG

- TUG – technologie à usage général
- L'IA est « sur le point d'émerger en tant que nouvelle TUG » (Trajtenberg, 2019, p. 185)
- TUG : « une technologie qui a initialement beaucoup de possibilités d'amélioration et finit par être largement utilisée, avoir de nombreuses utilisations et avoir de nombreuses complémentarités hicksiennes et technologiques » (Lipsey et al., 1998, p. 43).
- Une TUG est essentiellement une technologie de transformation qui peut conduire à une croissance économique à long terme

Caractéristiques

- **Omniprésente** : la TUG devrait s'étendre à la plupart des secteurs
- **Amélioration** : la TUG devrait s'améliorer au fil du temps et, par conséquent, devrait continuer à réduire les coûts de ses utilisateurs
- **Génération d'innovation** : La TUG devrait faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés (Bresnahan & Trajtenberg, 1995)

Taux d'adoption de l'IA par les entreprises canadiennes (en 2019)



16%

des entreprises canadiennes utilisent l'IA.

71%

des entreprises canadiennes n'utilisent pas l'IA.

9%

sont en train d'adopter une application d'IA.

4%

ne savaient pas si leur entreprise adoptait l'IA ou non.

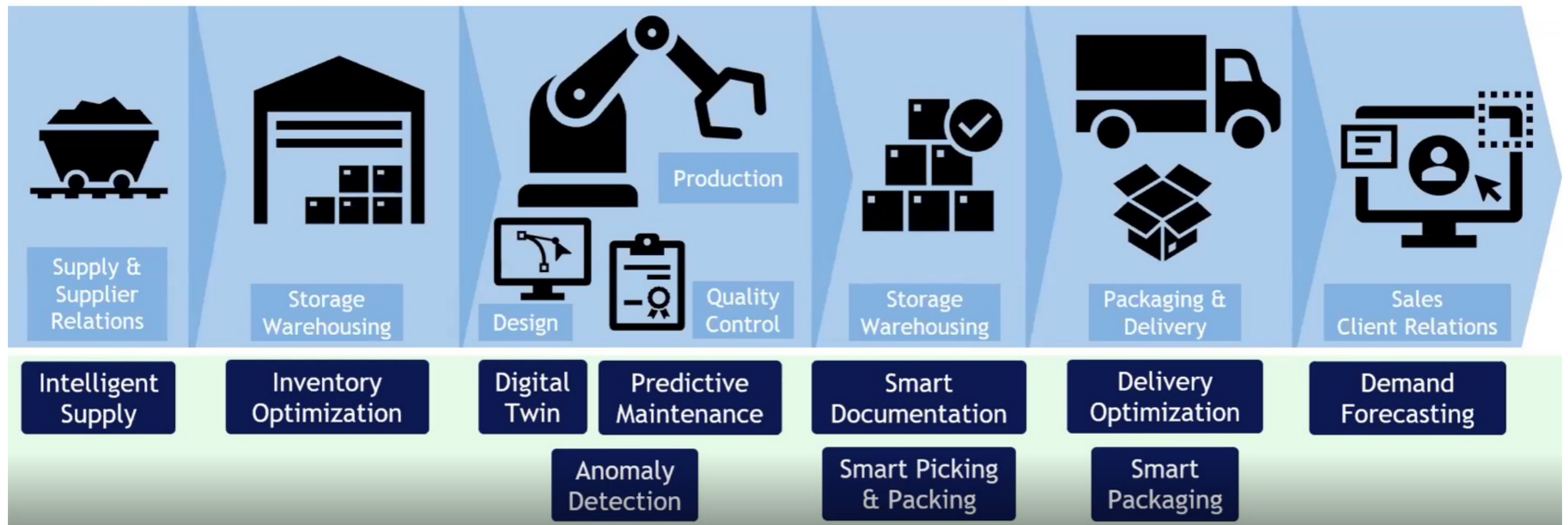
Industries et fonctions bénéficiant de l'IA en 2020

Artificial intelligence (AI) adoption worldwide 2020, by industry and function

	Human resources	Manufacturing	Marketing & sales	Product/service development	Risk	Service operations	Strategy & corporate finance	Supply chain management
All industries	8.00%	12.00%	15.00%	21.00%	10.00%	21.00%	7.00%	9.00%
Automotive & Assembly	13.00%	29.00%	10.00%	21.00%	2.00%	16.00%	8.00%	18.00%
Business, legal, and professional services	13.00%	9.00%	16.00%	21.00%	13.00%	20.00%	10.00%	9.00%
Consumer goods/retail	1.00%	19.00%	20.00%	14.00%	3.00%	10.00%	2.00%	10.00%
Financial services	5.00%	5.00%	21.00%	15.00%	32.00%	34.00%	7.00%	2.00%
Healthcare/pharma	3.00%	12.00%	16.00%	15.00%	4.00%	11.00%	2.00%	6.00%
High tech/telecom	14.00%	11.00%	26.00%	37.00%	14.00%	39.00%	9.00%	12.00%

Le secteur financier a été l'un des premiers adopteurs (Enquête sur l'innovation et les stratégies d'entreprises – 2017 – Statistique Canada)

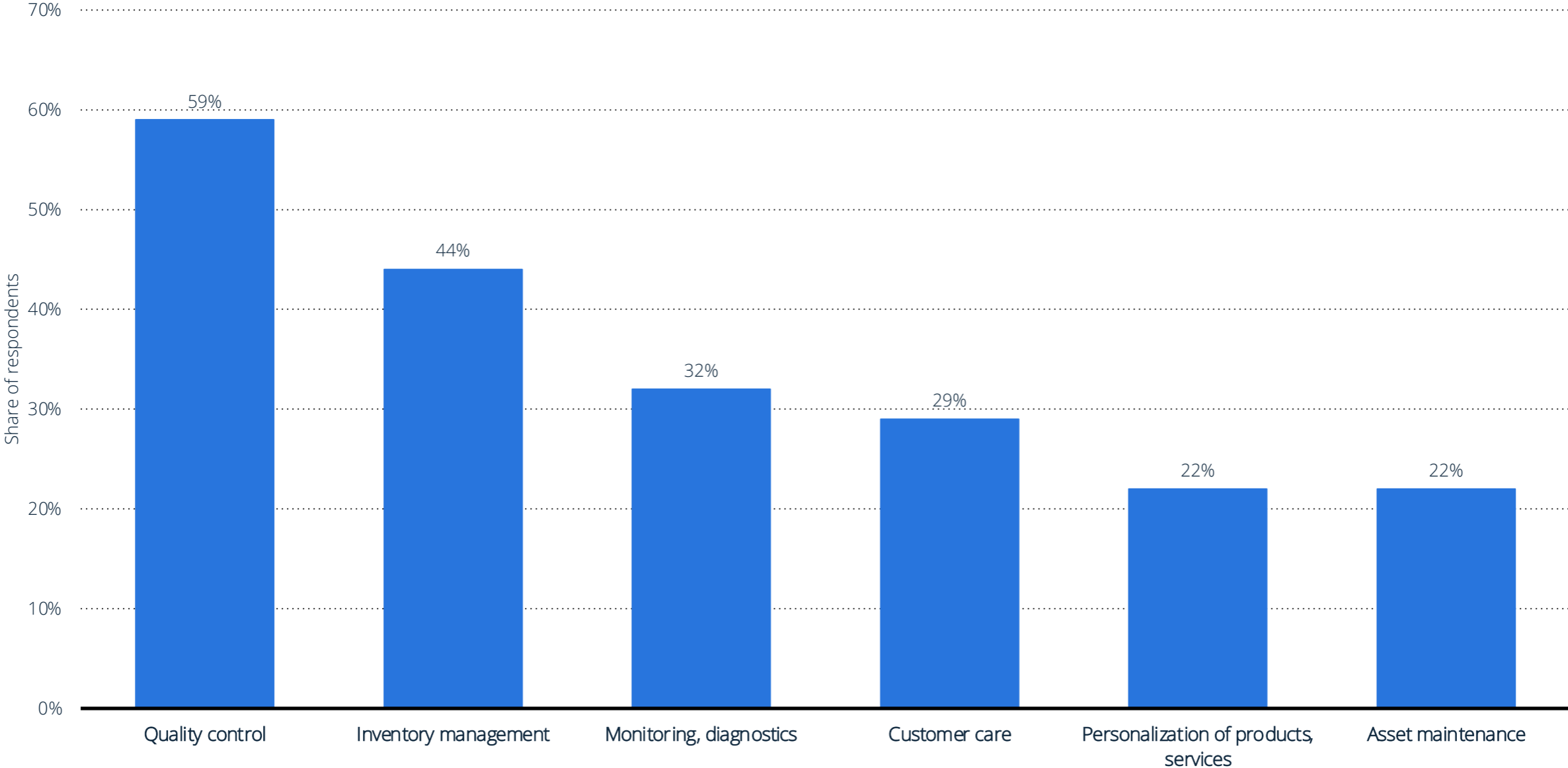
Le secteur de la fabrication détient le meilleur potentiel de création de valeur par l'IA



Source: <https://www.capgemini.com/ca-en/research/scaling-ai-in-manufacturing-operations/>

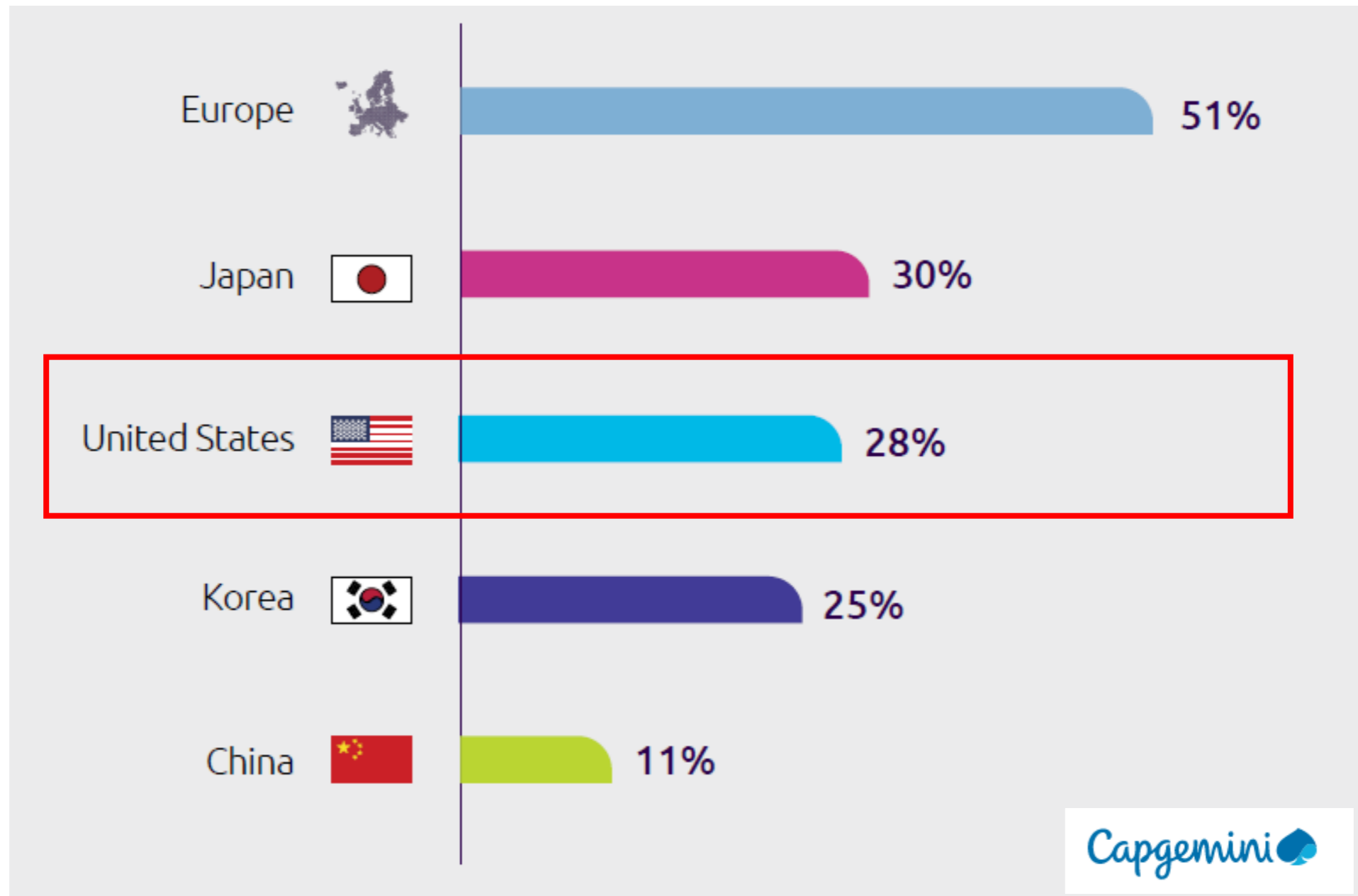
Cas d'utilisation de l'IA dans l'industrie manufacturière dans le monde à partir de 2020

Global AI use cases for manufacturing industry 2020



Note(s): Worldwide; January to February 2020; 1000*; C-suite executives, directors, heads of AI, heads of data or analytics
Further information regarding this statistic can be found on [page 88](#).
Source(s): MIT Technology Review Insights; Genesys; Philips; Amazon; [ID 1197949](#)

Principaux fabricants mondiaux mettant en œuvre l'IA - par pays/région



10% ou moins

au moins un cas
d'utilisation de l'IA



28%

au moins un cas
d'utilisation de l'IA



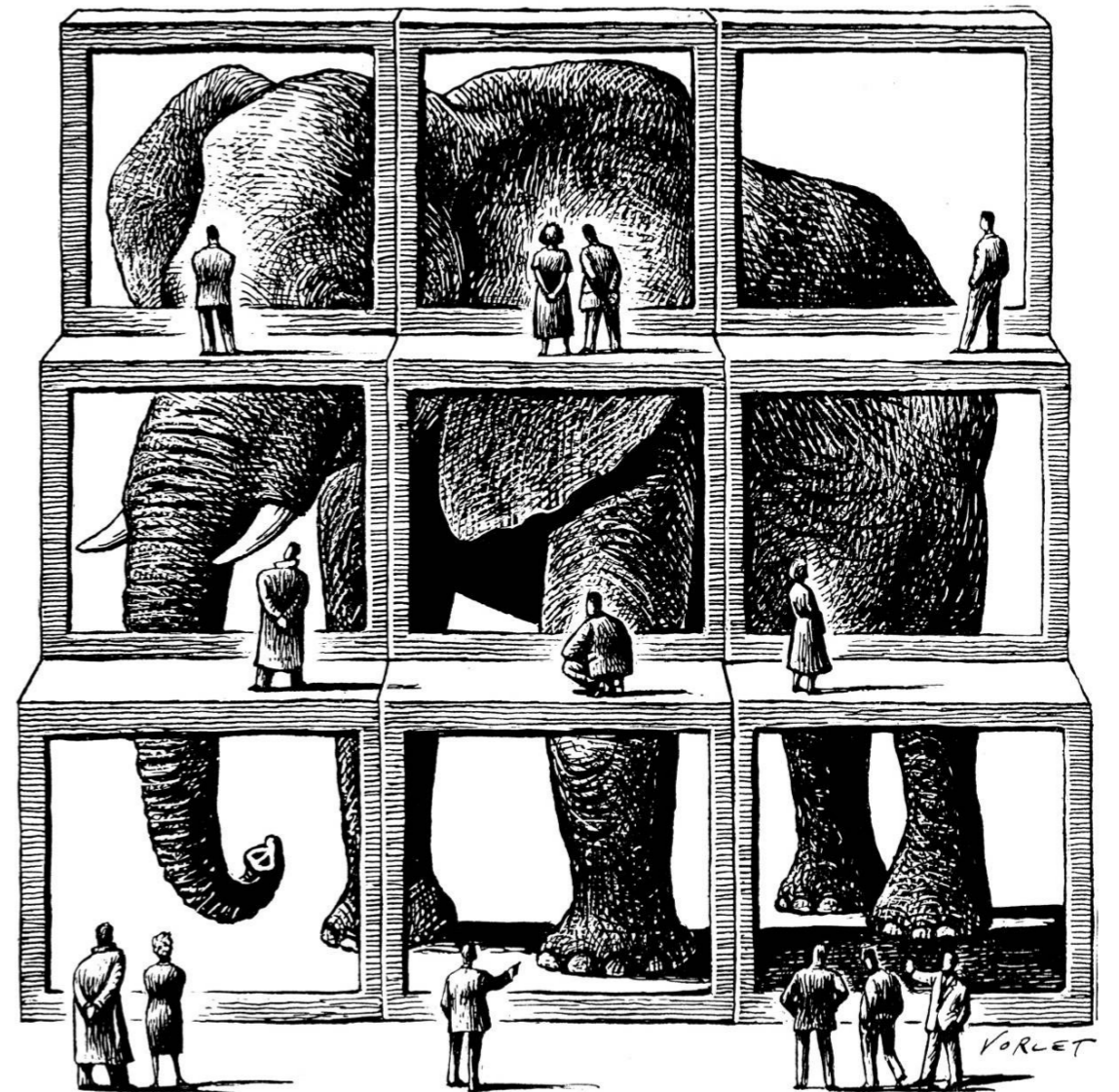
Le constat : une lente adoption de l'IA au Canada

“si le leadership canadien en matière de recherche sur l'IA est reconnu, les critiques font valoir que l'adoption lente de l'IA par les entreprises canadiennes les empêche d'en tirer les bénéfices ” (McLeod, November 28, 2018)

Malgré les avancées spectaculaires du Canada dans le domaine de la recherche en IA et la création d'entreprise, l'adoption de l'IA dans tous les secteurs à l'échelle du pays n'a pas encore atteint un effet percutant. Plusieurs rapports récents braquent les projecteurs sur cette question. Deloitte (2019, p. 5) souligne que « les entreprises canadiennes accusent un retard en matière d'adoption de l'IA».

Au Canada, l'IA ne passe pas le test de l'omniprésence qui en ferait une technologie à usage général

- Où est le problème ?
- Pourquoi le taux d'adoption est-il si bas ?





Collecte et analyse des
données

Méthodologie

Méthodologie

- **Conception de l'étude** : conception de la recherche qualitative (induction)
- **Méthode de collection des données** : Entretiens et tables rondes
- **Méthode d'échantillonnage** : échantillonnage ciblé couplé à une technique boule de neige
- **Entrevues** : 27 entrevues formelles approfondies et ciblées, totalisant 1 337 minutes de données.
- **Tables rondes** : Le contenu de 5 tables rondes sur l'IA a été analysé (390 minutes).
- **Profil des personnes interrogées** : Managers directement impliqués dans les projets de transformation numérique
- **Localisation des entreprises** : Provinces du Québec et de l'Ontario
- **Analyse des données** : techniques d'analyse des données fondées sur la théorie techniques de codage ouvert, axial et sélectif



Structure de données

Thèmes

Concepts de 1er ordre	Thèmes de 2e ordre
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données comme point de départ • La qualité des données compte • Systèmes d'information sous-jacents à la collocation et au traitement des données • L'intégrité des données compte • Continuité de la fourniture des données • Les effets dominos de l'investissement 	Disponibilité des données
<ul style="list-style-type: none"> • Personnel informatique interne • compétences informatiques • Compétences en ML • Une infrastructure informatique bien intégrée • Intégration complète du cloud computing 	Capacité technique
<ul style="list-style-type: none"> • Identifier et mesurer les coûts de TD • Identifier et mesurer les risques • Identifier et mesurer les bénéfices 	rendement du capital investi (RCI)
<ul style="list-style-type: none"> • Investissement continu • Ressources de financement du gouvernement • Intégration au réseau • Pénurie de ressources humaines dans les postes d'écoute • Ne pas être compétent pour créer des dossiers solides pour les demandes de financement 	Ressources financières
<ul style="list-style-type: none"> • Culture d'expérimentation et d'exploration • Considérant la différence d'attitude, de motivation et de volonté envers le DT entre les échelons supérieurs et inférieurs d'une organisation • Rôle critique du leader dans la transformation culturelle faisant partie de DT • Question de légitimité du manager 	Culture organisationnelle réceptive
<ul style="list-style-type: none"> • Phase pilote • Un seul projet engageant un seul client • Plusieurs ou tous les projets engageant plusieurs ou tous les clients 	Portée du changement

“It is a cultural transformation as well as technological transformation!”

(Interviewee Quote)



« La résistance et le sabotage » ne sont pas une réalité du passé, ils jouent toujours un rôle dans la réussite ou l'échec des projets d'IA.

Qu'est-ce qui motive un employé qui a quitté les bancs d'école il y a déjà quelques décennies à changer, à se perfectionner et à commencer à faire les choses différemment ?

C'est un problème que les gestionnaires doivent régler à l'interne.

Des frictions, de la résistance et du sabotage peuvent provenir des employés des échelons intermédiaire et inférieur : c'est la dimension culturelle de la transformation numérique.



Études de cas

Partie 1 - Un échantillon

Cas de la technologie de “Generative Design” (GD)

- GD: Le processus d'alimentation du programme logiciel avec des objectifs de conception d'entrée ainsi que des paramètres clés pour les matériaux, les méthodes de fabrication et les contraintes de coût.
- Les entrées sont exploitées par le programme pour créer et explorer de nombreuses permutations possibles d'une solution et arriver à des alternatives de conception plausibles.
- **Les fabricants utilisent GD comme outil d'amélioration de la productivité pour explorer plusieurs solutions à un problème donné.**
- **Un exemple d'innovation de procédé.**



« Generative Design » un bel horizon!

“If you’re trying to optimize a wing design for an aircraft, or a spoiler or battery design for the new electric car—or even just the plastic molds for your cell phone case—that has traditionally been a lot of work.”

“With generative design, you can effectively rent 50,000 computers [in the cloud] for an hour,” says Mathews, who estimates the cost at about \$20,000. “That means you can do things you never could have done before: You can do 50,000 days of engineering in one day.”

Brian Mathews (VP of platform engineering, Autodesk, San Rafael, California) – Forbes 2018

Forbes

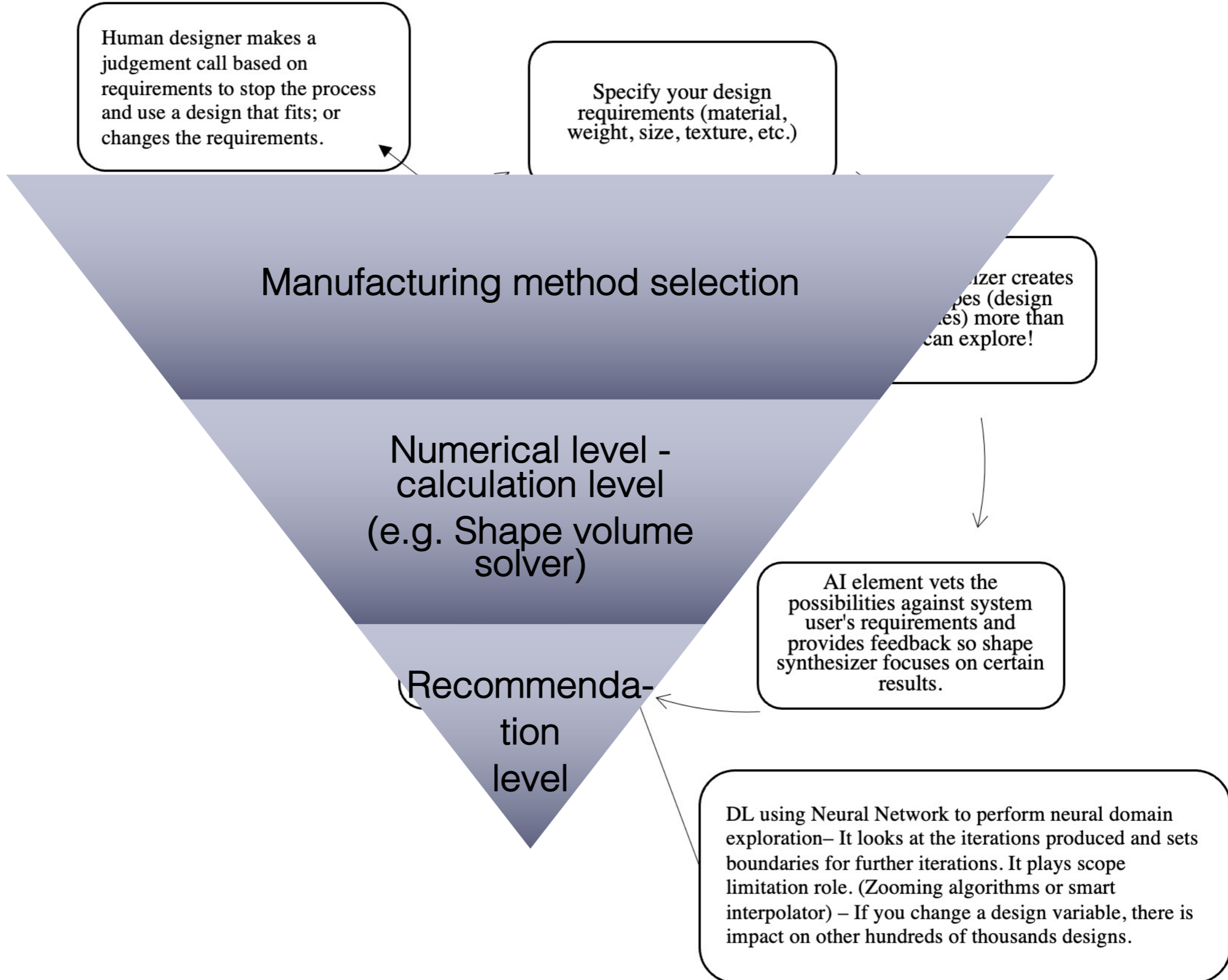
Cas de la technologie de “Generative Design” (GD)

GD = Algorithmes d'IA (AA et l'apprentissage en profondeur (deep learning) en tant que recommandataires) + Schémas d'optimisation (Shape synthesizer) + Expérience du concepteur humain

Industry-Based Pervasive Uses of Generative Design

	Industry	Scale of technology application at the time of study										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Manufacturing	Aerospace											
	Aviation											
	Automotive											
	Industrial machines											

Interaction entre la conception générative, le synthétiseur de forme et l'IA : projet de R&D



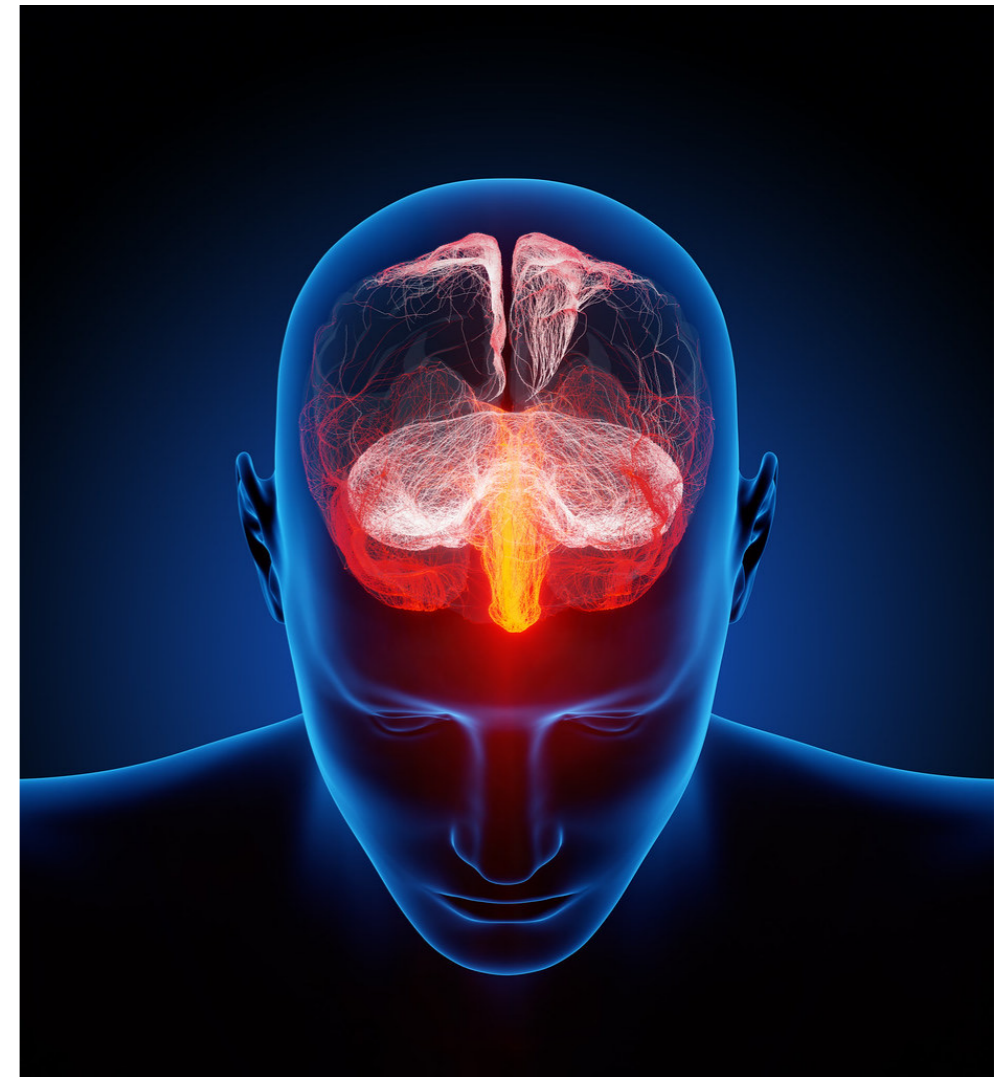
« Generative Design » trop beau pour être vrai!

- ✓ GD coche la case d'amélioration.
- x Cependant, comme il sert des **industries de niche** avec une portée limitée, ce n'est pas encore une technologie largement utilisée. **Ainsi, ne réussit pas le test d'omniprésence.**
 - x les techniques de fabrication dictent les exigences et ce qui doit être capturé par le synthétiseur de forme.
 - x Il existe encore de nombreuses formes pour lesquelles le synthétiseur de formes ne peut pas capturer leurs exigences et **générer des formes** - par exemple des pièces hydroformées.

En bref :

c'est encore un outil qui s'appuie profondément sur l'expertise et l'expérience des concepteurs humains pour être considéré comme un outil efficace.

Ainsi, en l'état actuel, GD ne peut pas être considéré comme un substitut humain, mais plutôt comme un outil d'amélioration de l'humain.





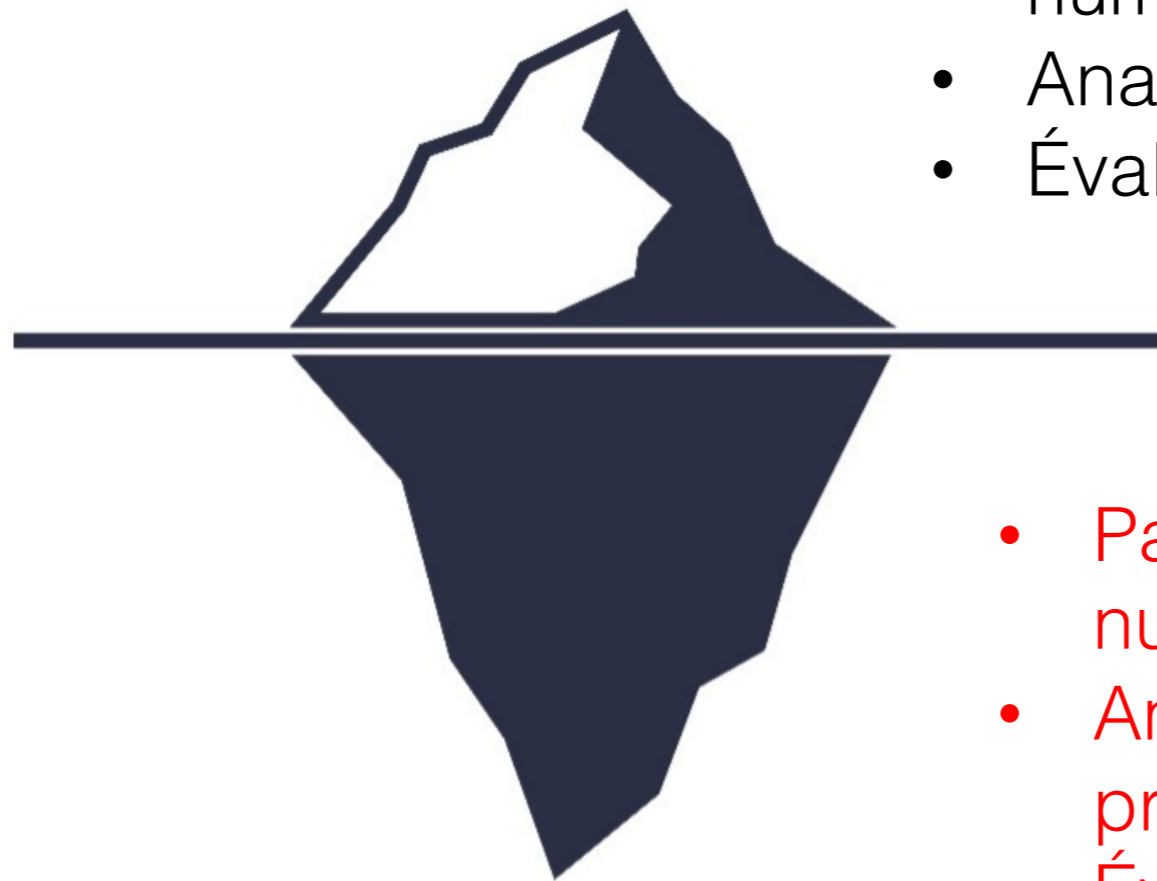
Résultats de l'étude

Partie 2 - barrières

7 Obstacles à l'intégration généralisée de l'IA dans l'industrie manufacturière

1. L'enrichissement en données d'abord, l'optimisation par l'IA ensuite
2. Transition d'une culture de la prise de décision fondée exclusivement sur l'expérience vers l'élargissement du processus décisionnel pour inclure les données
3. Absence d'un sentiment d'urgence
4. La partie immergée de l'iceberg de l'IA
5. De l'organisation en silo à l'organisation intégrée
6. Le financement et les facteurs qui y sont associés
7. Marché du travail et ressources financières pour s'adjoindre des experts en ML

Figure 7. La transformation numérique axée sur l'IA illustrée sous la forme d'un iceberg dont une partie est visible et l'autre invisible



- Partie visible de la transformation numérique axée sur l'IA
- Analyse coûts-avantages précise
- Évaluation du RCI facile

- Partie invisible de la transformation numérique axée sur l'IA
- Analyse coûts-avantages peu précise
- Évaluation du RCI difficile



Résultats de l'étude

Partie 2 - L'échelle de maturité de l'adoption de l'IA

Figure 6. Modèle de maturité de l'innovation basée sur l'IA (AIIMM)

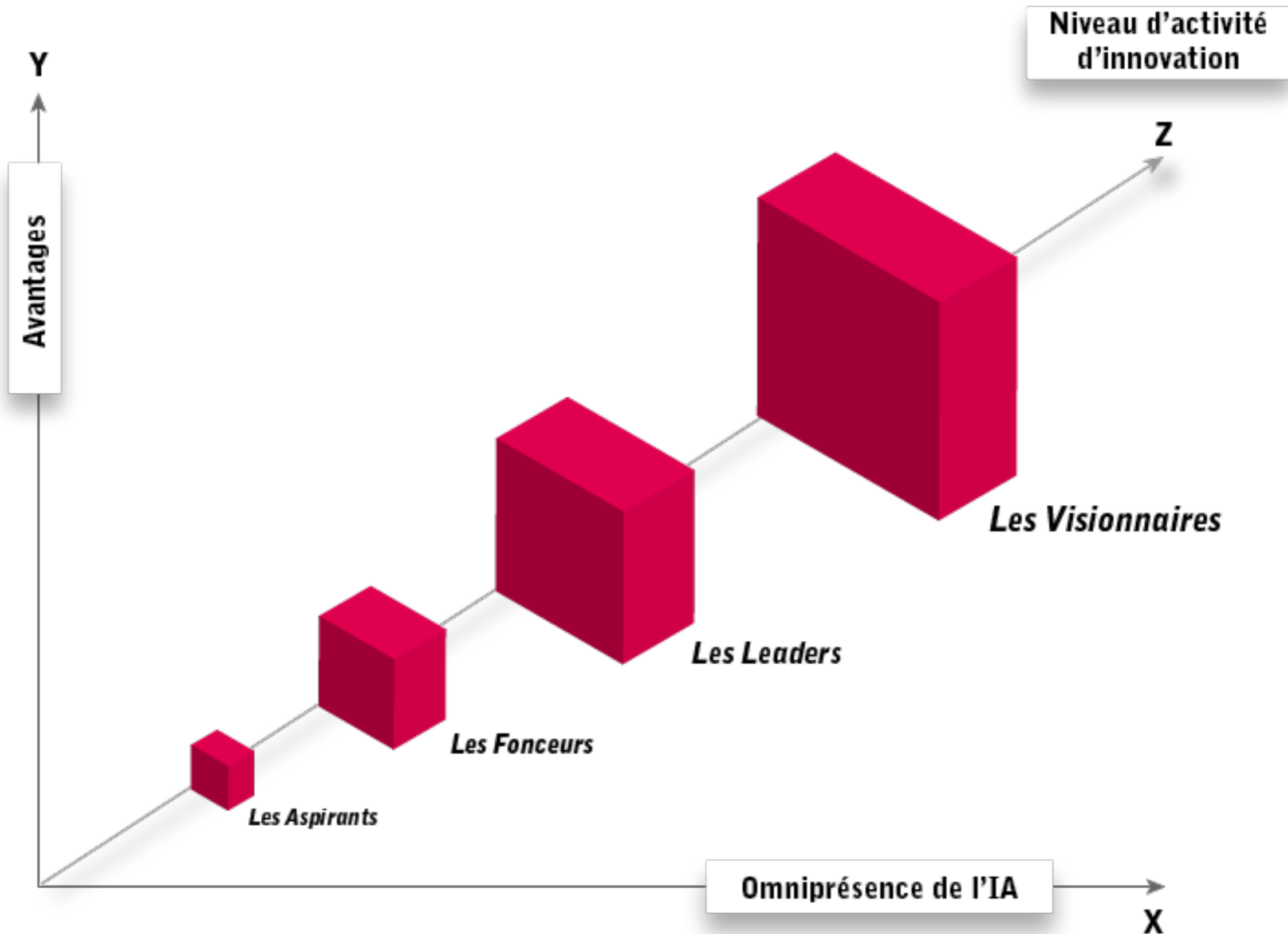
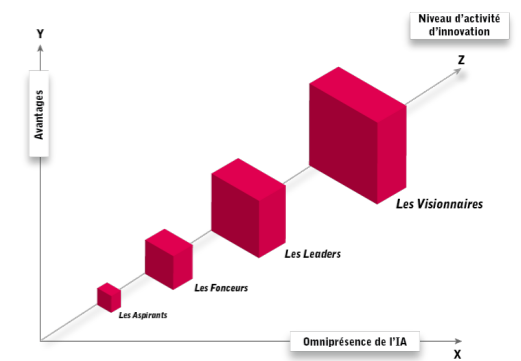


Tableau 1. Caractérisation des quatre archétypes du modèle de maturité de l'innovation basée sur l'IA (AIIMM)

Archétypes	Dimensions					
	Disponibilité des données	Capacité technique	Infrastructure	Ressources financières	Culture organisationnelle réceptive	Portée du changement
L'Aspirant	<ul style="list-style-type: none"> Manque de données organisées et de processus délibéré de collecte de données Manque de données de qualité Absence d'une politique de gouvernance des données 	<ul style="list-style-type: none"> Tâches exécutées manuellement, peu ou pas de compétences en TI à l'interne 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes patrimoniaux Gérés et entretenus principalement par des prestataires de services informatiques externes. 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de stratégie de R-D Absence de financement pour les projets d'innovation 	<ul style="list-style-type: none"> Culture organisationnelle non réceptive au changement Existence de frictions 	<ul style="list-style-type: none"> Jusqu'à un projet pilote d'IA Vision à court terme Portée limitée à l'activité
Le Fonceur	<ul style="list-style-type: none"> Processus organisé de collecte de données Interconnexion des données déficiente et problème de stockage en silo 	<ul style="list-style-type: none"> Automatisation émergente Quelques compétences en TI à l'interne 	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes patrimoniaux Intégration émergente de l'infonuagique 	<ul style="list-style-type: none"> Allocation de fonds pour des projets d'intégration d'innovations isolés 	<ul style="list-style-type: none"> Haute direction activement engagée dans le développement d'une culture du changement 	<ul style="list-style-type: none"> Développement de l'IA centré sur des projets isolés Vision à court terme Portée limitée à l'entreprise
Le Leader	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilité de données épurées et consolidées Faible recours à des données externes complémentaires (exploitation des données) 	<ul style="list-style-type: none"> Production automatisée Équipes de techniciens des TI travaillant en silo ou par projet 	<ul style="list-style-type: none"> Intégration complète de l'infonuagique Systèmes internes fermés — aucune intégration de tierces parties de la chaîne de valeur 	<ul style="list-style-type: none"> Allocation régulière de fonds limités pour l'intégration d'innovations 	<ul style="list-style-type: none"> Forte réceptivité à l'enchaînement de changements 	<ul style="list-style-type: none"> Développement de l'IA centré sur l'organisation Vision à long terme Intégration verticale de l'IA
Le Visionnaire	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilité de données épurées et consolidées Recours fréquent à des données externes complémentaires (exploration de données) 	<ul style="list-style-type: none"> Automatisation à grande échelle Équipe de techniciens des TI interne 	<ul style="list-style-type: none"> Intégration complète de l'infonuagique Ouverture à l'intégration des parties prenantes 	<ul style="list-style-type: none"> Allocation régulière de fonds importants pour l'intégration d'innovations 	<ul style="list-style-type: none"> Le changement et l'évolution font partie intégrante de la culture organisationnelle. 	<ul style="list-style-type: none"> Architectes de changement sociétal (IA au profit de la société) Vision à très long terme

Où sont la majorité des entreprises québécoises dans ce modèle de maturité de l'adoption de l'IA?



D'après les événements auxquels nous assistons (NextGen Manufacturing), et les discussions que nous avons eues avec des consultants en IA et des entreprises adoptant l'IA ainsi que ce que nous avons observé dans notre échantillon d'entreprises, **la majorité des entreprises sont chez "Les Aspirants" et "Les Fonceurs"** .

Cependant, il existe des exceptions comme **1009-I** qui relèvent de **"Les leaders"** et la personne interrogée a mis en place une stratégie pour **devenir un visionnaire de l'industrie.**



Remarques finales et
recommandations

Remarques finales

1. La transformation numérique basée sur l'IA est évolutive plutôt que révolutionnaire. Par conséquent, l'omniprésence de l'IA ne peut être mesurée uniquement à travers son étape finale d'application et ses résultats concrets. De nombreuses PME ont formulé leurs stratégies de DT et sont reparties de zéro en réorganisant d'abord leur infrastructure informatique existante, ou recherchent les ingrédients nécessaires.
2. Exemples de signaux de PME se dirigeant vers l'adoption de l'IA :
 - Traverser une transformation culturelle organisationnelle, faire face à des bouleversements culturels
 - Participer à la réingénierie des processus d'affaires
 - Déploiement de l'infonuagique, des capteurs et de lourds investissements dans l'infrastructure informatique
 - Recruter des statisticiens et des scientifiques des données
 - Exécution de projets pilotes d'apprentissage automatique
 - Élaboration de politiques de confidentialité des données
 - Former une intégration plus étroite avec les fournisseurs en amont et en aval
 - Adopter une approche plus inclusive de toutes les parties prenantes
3. Accompagner les PME dans leur DT ne peut pas se faire par une approche mécanique passe-partout mais plutôt par une approche qualitative et réflexive.

Recommandations

1. Des **programmes de soutien** tels que Audit Industrie 4.0 sont appréciés par les PME et ont créé une force positive dans leur parcours de DT. Le gouvernement devrait poursuivre son investissement dans ces programmes et les promouvoir de manière plus poussée.
2. Il est impératif de fournir des **subventions pour l'embauche d'une main-d'œuvre qualifiée** non seulement directement liée aux projets d'IA, comme les experts en apprentissage automatique, mais aussi ceux qui contribuent indirectement à la mise en œuvre réussie des projets d'IA (en particulier pour les petites entreprises). Il s'agit notamment de travailleurs qualifiés ayant une expertise en matière de programmation de logiciels, d'analyse de données, d'architecture de systèmes et de systèmes d'infonuagique, pour n'en citer que quelques-uns.
3. Créer des **communautés de pratique** où les cadres et employés confrontés au changement organisationnel qu'amène l'IA peuvent apprendre de l'expérience de leurs pairs. Il s'agit d'un moyen puissant et transformateur pour soutenir le changement organisationnel et stimuler la performance.

Audit industrie 4.0 : réussir la transformation numérique de votre entreprise

Depuis le 9 janvier 2020, il est obligatoire de réaliser l'Autodiagnostic numérique ADN 4.0 avant de déposer une demande d'aide financière dans le cadre du programme Audit industrie 4.0.

Rendez-vous sans plus tarder sur [clicSÉCUR - Entreprises : demande d'aide financière en ligne](#)!

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec votre [bureau régional d'Investissement Québec](#).



TÉLÉCHARGER

<https://cirano.qc.ca/fr/sommaires/2022RP-04>

Vers une meilleure compréhension de la transformation numérique optimisée par l'IA et de ses implications pour les PME manufacturières au Canada
- Une recherche qualitative exploratoire -

AMIR TAHERIZADEH
CATHERINE BEAUDRY

2022RP-04
RAPPORT DE PROJET





Questions and Comments