



**Influence transformative de l'intelligence artificielle
sur l'approche de gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec**

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de projet

en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences

PAR

© ABDEL CHAKIF BAGRI

[Février 2026]

Composition du jury :

Olivier Choinière, président du jury, [Université de Québec à Rimouski]

Yan Castonguay, directeur de recherche, [Université de Québec à Rimouski]

Alex Cayrol, examinateur externe [Sabanci Business School]

Dépôt initial le [12 décembre 2025]

Dépôt final le [26 février 2026]

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

À ma mère, **KORA Laure**. Pour ton amour infini, ton courage exemplaire et ton soutien sans faille, dans les moments de doute comme dans les moments de joie. Ce mémoire est l'aboutissement de tes sacrifices et de ta bonté. Je suis heureux de te l'offrir en signe de ma reconnaissance et de mon affection.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je voudrais remercier M. Yan Castonguay, professeur à l'Université du Québec à Rimouski, qui a accepté de m'accompagner dans la réalisation de ce mémoire. Ses conseils éclairés et avisés, sa rigueur scientifique et son soutien constant sur les plans académique et personnel m'ont grandement aidé dans l'avancement de mes recherches. Son accompagnement attentif et bienveillant est un véritable pilier tout au long de ce parcours.

Je remercie également M. Olivier Choinière, Ph.D., Prince2, professeur agrégé en gestion de projet, Président du jury, ainsi que M. Alex Cayrol, Ph.D., Professeur à la Sabanci Business School (Istanbul, Turquie), Membre externe. Leurs commentaires judicieux, leurs remarques constructives et leur esprit critique ont enrichi significativement cette recherche. Je tiens aussi à mettre en évidence l'apport de M. Simon Paré-Poupart, auteur de l'ouvrage intitulé « *Ordures !* », qui a contribué au processus de vérification du guide d'entrevue. Par ailleurs, son expertise a permis d'améliorer la pertinence et la qualité du guide d'entretien utilisé dans cette étude.

Je n'oublie pas de remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique et administrative de l'Université du Québec à Rimouski pour la qualité de l'encadrement, l'accompagnement tout au long de mon cursus et le cadre stimulant offert à tous les étudiants.

Enfin, à toutes celles et ceux qui, par un mot d'encouragement, une écoute attentive, ou une aide ponctuelle, m'ont soutenu dans ce projet : je vous en suis profondément reconnaissant.

RÉSUMÉ

Ce mémoire examine l'influence transformative de l'intelligence artificielle (IA) sur la gestion des risques liés aux déchets au Québec. Il s'appuie sur une démarche qualitative reposant sur neuf entretiens semi-structurés menés auprès de professionnels actifs dans les principaux secteurs de la gestion des déchets entre février et avril 2025. Les participants comprenaient notamment des gestionnaires, ingénieurs, consultants, responsables opérationnels, issus de différentes organisations : des centres de tri municipaux, des entreprises privées et des organismes à but non lucratif. L'objectif de l'étude est d'explorer l'influence transformative de l'intelligence artificielle sur la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec. L'analyse des résultats de cette étude révèle que l'IA est perçue comme un atout indispensable pour une modernisation ambitieuse, bien que son déploiement constitue toujours un défi dans plusieurs organisations. Les participants identifient l'IA comme étant un outil technologique moderne permettant d'améliorer les différentes prises de décision, d'automatiser les processus de gestion et de diminuer de façon considérable les erreurs humaines. Toutefois, des obstacles existent, notamment liés au manque d'expertise, à l'insuffisance des ressources financières et à l'acceptabilité sociale. Huit thématiques principales ont émergé de l'analyse des résultats. Ces thématiques portent sur la perception globale de l'intelligence artificielle, les applications concrètes de l'IA dans la gestion des déchets, les risques associés, les stratégies actuellement en place pour gérer ces risques, les contraintes d'ordre structurel et organisationnel, les projections concernant l'évolution de l'IA, les opportunités d'innovation et de transformation durable grâce à l'intégration de l'IA dans le secteur des déchets ainsi que les nouvelles formes de gouvernance des risques induits par l'IA, incluant les recommandations formulées par les répondants. Par ailleurs, cette recherche met en évidence l'importance des différentes transformations offertes par l'IA dans la gestion des déchets au Québec, tout en spécifiant les conditions indispensables à son intégration de manière efficace et éthique. En conclusion, l'intelligence artificielle facilite la tâche en proposant des pistes de solutions pertinentes aux personnes qui sont souvent impliquées dans les prises de décision et qui ont l'ambition de jouir des avantages des nouvelles technologies émergentes afin de renforcer la résilience et la durabilité de leurs projets.

Mots-clés : intelligence artificielle, gestion des risques, gestion des déchets, projets technologiques, Québec, transition numérique.

ABSTRACT

This thesis examines the transformative influence of artificial intelligence (AI) on waste risk management in Quebec. It is based on a qualitative approach using nine semi-structured interviews conducted with professionals working in key sectors of waste management between February and April 2025. Participants included managers, engineers, consultants, and operational managers from various organizations: municipal sorting centres, private companies, and non-profit organizations. The study aims to explore the transformative influence of artificial intelligence on risk management in Quebec's waste sector. Analysis of the results reveals that AI is perceived as an essential asset for ambitious modernization, although its deployment remains a challenge for many organizations. Participants identify AI as a modern technological tool that can improve decision-making, automate management processes, and significantly reduce human error. However, obstacles exist, particularly related to a lack of expertise, insufficient financial resources, and social acceptability. Eight main themes emerged from the analysis of the results. These themes concern the overall perception of artificial intelligence, the concrete applications of AI in waste management, the associated risks, the strategies currently in place to manage these risks, structural and organizational constraints, projections regarding the evolution of AI, the opportunities for innovation and sustainable transformation through the integration of AI in the waste sector, and new forms of governance for the risks induced by AI, including recommendations made by respondents. Furthermore, this research highlights the importance of the various transformations offered by AI in waste management in Quebec, while specifying the conditions essential for its effective and ethical integration. In conclusion, artificial intelligence makes the task easier by offering relevant solutions to people who are often involved in decision-making and who aspire to enjoy the benefits of emerging new technologies to strengthen the resilience and sustainability of their projects.

Keywords : Artificial intelligence, Risk management, waste management, technology projects, Quebec, digital transition.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ix
RÉSUMÉ	xi
ABSTRACT	xiii
TABLE DES MATIÈRES.....	xv
LISTE DES TABLEAUX	xix
LISTE DES FIGURES	xx
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xxi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 Problématique	5
1.1 PERTINENCE SOCIALE.....	7
1.2 PERTINENCE SCIENTIFIQUE	8
CHAPITRE 2 Revue de littérature	10
2.1 CADRE THÉORIQUE	10
2.1.1 Intelligences artificielles.....	11
2.1.2 Gestion des risques	15
2.1.3 Gestion des déchets	22
2.2 RECENSION DES ÉCRITS.....	31
2.2.1 Impact des technologies de l'IA sur les pratiques de gestion des risques.....	31
2.2.2 Défis spécifiques à la gestion des déchets.....	32
2.2.3 Bénéfices sociaux de l'IA dans la gestion des déchets.....	33
CHAPITRE 3 Méthodologie	36
3.1 POSTURE ÉPISTÉMOLOGIQUE.....	36
3.2 APPROCHE QUALITATIVE	37

3.3	POPULATION CIBLÉE ET ÉCHANTILLON	38
3.4	MODE DE COLLECTE DES DONNÉES.....	41
3.5	GUIDE D'ENTRETIEN.....	42
3.6	ANALYSE DES RÉSULTATS	43
3.7	CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES.....	45
CHAPITRE 4 Présentation des résultats		47
4.1	PERCEPTION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PAR LES ACTEURS DU SECTEUR DES DÉCHETS	48
4.1.1	Connaissance générale de l'IA.....	48
4.1.2	IA perçue comme un levier de modernisation	50
4.1.3	Technologie encore marginale, mais prometteuse.....	50
4.1.4	Représentation de l'IA comme aide et non comme une menace	51
4.2	APPLICATIONS CONCRÈTES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA GESTION DES DÉCHETS.....	52
4.2.1	Automatisation du tri des matières	52
4.2.2	Détection d'anomalies et maintenance prédictive	52
4.2.3	Optimisation logistique et planification des collectes	53
4.3	PERCEPTION DES RISQUES DANS LA GESTION DES DÉCHETS	54
4.3.1	Risques fréquemment rencontrés.....	54
4.3.2	Sensibilité et prise de conscience des risques	55
4.3.3	Dispositifs actuels de prévention	56
4.3.4	Rôle potentiel de l'IA dans la gestion des risques	57
4.4	LIMITES STRUCTURELLES ET ORGANISATIONNELLES PERÇUES PAR LES RÉPONDANTS	59
4.4.1	Contribution de l'intégration progressive de l'IA dans l'adaptation des dispositifs existants.....	60
4.4.2	Rôle du leadership organisationnel.....	63
4.4.3	Mobilisation des parties prenantes.....	66
4.4.4	Renforcement des compétences et formation continue	69
4.5	FREINS À L'ADOPTION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA GESTION DES DÉCHETS	72
4.5.1	Méconnaissance des technologies.....	72
4.5.2	Résistance au changement culturel	75

4.5.3	Coût et accès aux ressources	77
4.5.4	Problèmes d'infrastructure et d'interopérabilité.....	80
4.6	ATTENTES ENVERS LES POLITIQUES PUBLIQUES ET LE SOUTIEN INSTITUTIONNEL	83
4.6.1	Besoin d'un cadre réglementaire favorable.....	83
4.6.2	Soutien financier à l'innovation responsable	85
4.6.3	Accompagnement technique et expertise de terrain.....	88
4.7	OPPORTUNITÉS D'INNOVATION ET DE TRANSFORMATION DURABLE GRÂCE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.....	92
4.7.1	Amélioration des performances environnementales	92
4.7.2	Renforcement de la transparence et de la traçabilité.....	94
4.7.3	Développement de nouvelles compétences professions orientées vers la durabilité	97
4.7.4	Création de modèles territoriaux collaboratifs	100
4.8	VERS UNE NOUVELLE GOUVERNANCE DES RISQUES PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	103
4.8.1	Intelligence artificielle comme levier stratégique	103
4.8.2	Gouvernance intégrée et collaborative des risques	105
4.8.3	Vers une gestion proactive	109
CHAPITRE 5 DISCUSSION DES RÉSULTATS		114
5.1	CORRESPONDANCE ENTRE LES THÉMATIQUES ET LES SOUS-QUESTIONS DE RECHERCHE.....	114
5.2	ANALYSE DES PERCEPTIONS DES ACTEURS IMPLIQUÉS DANS LE SECTEUR DES DÉCHETS	116
5.3	CHANGEMENTS DANS LES PRATIQUES DE GESTION DES RISQUES CAUSÉS PAR L'INTÉGRATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	119
5.4	AVANTAGES ET DÉFIS LIÉS À L'UTILISATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	120
5.5	CONTRIBUTIONS THÉORIQUES.....	123
5.6	CONTRIBUTIONS PRATIQUES	124
5.7	LIMITES	126
CONCLUSION GÉNÉRALE		128

ANNEXES	131
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	151

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Profils des participants (données anonymisées)	39
Tableau 2 : Synthèse des principaux risques identifiés par les répondants	55
Tableau 3 : Contribution de l'intégration progressive de l'IA.....	61
Tableau 4 : Apport de l'engagement de la direction et des gestionnaires :	64
Tableau 5 : Contribution de la mobilisation des parties prenantes	67
Tableau 6 : Apport de la formation continue et du renforcement des compétences.....	70
Tableau 7 : Apport de la connaissance et de la sensibilisation à l'IA	73
Tableau 8 : Apport de la compréhension de la résistance culturelle	76
Tableau 9 : Contraintes liées aux coûts	78
Tableau 10 : Contraintes liées aux infrastructures et interopérabilité	81
Tableau 11 : Implications du besoin d'un cadre réglementaire	84
Tableau 12 : Implications du manque de soutien financier	87
Tableau 13 : Implications du manque d'expertise en IA	90
Tableau 14 : Apports de l'IA identifiés par les répondants	93
Tableau 15 : Apports de l'IA en matière de transparence et de traçabilité.....	95
Tableau 16 : Apports en termes de compétences et professionnel orientées vers la durabilité	98
Tableau 17 : Apports des modèles territoriaux collaboratifs.....	101
Tableau 18 : Apports stratégiques de l'IA.....	104
Tableau 19 : Apports d'une gouvernance intégrée et collaborative	107
Tableau 20 : Apports de l'IA pour une gestion proactive.....	110
Tableau 21: Correspondance entre thématiques et sous-questions de recherche	115

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PROCESSUS DE GESTION DES RISQUES	16
FIGURE 2 : NŒUDS UTILISÉS POUR LE CODAGE DES ENTREVUES	44

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ECCC	Environnement et Changement Climatique Canada
EPI	Équipements de Protection Individuelle
GES	Gaz à Effet de Serre
GRC	Gestion des Risques et de la Conformité
GPS	Global Positioning System
IA	Intelligence Artificielle
ICRIQ	Institut de la Statistique du Québec
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
MILA	Institut québécois en intelligence artificielle
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OHRP	Office for Human Research Protections
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
Recyc-Québec	Organisme provincial de gestion des matières résiduelles
REP	Responsabilité Élargie des Producteurs
RQIA	Réseau québécois en intelligence artificielle
SCIAN	Système de Classification des Industries de l'Amérique du Nord
UQAR	Université du Québec à Rimouski

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle (IA) est au cœur des plans technologiques et économiques à l'échelle mondiale. Elle ne se limite plus à la simple automatisation des tâches pour s'étendre à de nombreux secteurs, tels que la santé, les finances, la sécurité et la gestion des déchets (Mazzucchi, 2018). Cette technologie s'impose comme un levier majeur de transformation organisationnelle et décisionnelle dans des contextes marqués par la complexité et l'incertitude.

Grâce aux avancées technologiques, telles que l'apprentissage automatique, l'analyse prédictive et les systèmes experts, l'intelligence artificielle peut traiter et analyser des volumes considérables de données en temps réel. Ces capacités offrent des opportunités accrues pour identifier, évaluer et atténuer les risques de manière proactive et systématique (LeCun et al., 2015). Dans des milieux en constante évolution, ces outils deviennent indispensables pour améliorer la prise de décision et accroître la résilience des organisations.

Le Canada a pris conscience de l'importance de l'intelligence artificielle et l'a élevée au rang de priorité stratégique en favorisant un écosystème propice à l'innovation, à la recherche et au développement technologique (Radio-Canada Info, 2023). Le Québec, en particulier, se distingue par un dynamisme accru dans ce domaine, notamment grâce à des partenariats étroits entre les milieux universitaires, les entreprises et les institutions publiques. Ces partenariats ont pour but de concevoir et de mettre en œuvre des procédés alimentés par l'IA pour prévoir et gérer divers risques (MILA, 2025), tels que ceux liés à la gestion des déchets et à la sécurité écologique. Cette dynamique contribue à une transformation accélérée des pratiques de gestion des risques au Québec. En effet, les organisations publiques et privées mobilisent désormais des technologies avancées pour identifier et gérer les menaces potentielles, notamment dans les domaines des déchets et de la sécurité environnementale.

Cependant, malgré ces avancées, selon Wang et al. (2023), les infrastructures québécoises de gestion des déchets ont de la difficulté à faire face à l'augmentation constante du volume de déchets, ce qui entraîne des inefficacités opérationnelles et des défis réglementaires. Dans ce contexte, l'intelligence artificielle émerge comme une solution prometteuse pour améliorer la gestion intelligente des déchets et accroître l'efficacité environnementale. Ces auteurs soulignent le potentiel de l'intelligence artificielle pour réduire les coûts et améliorer la performance des processus de collecte, de tri, de traitement et de recyclage. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'algorithmes sophistiqués d'analyse des données.

Par ailleurs, l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des déchets contribue à une augmentation significative du taux de recyclage. Elle place ainsi le Québec comme une référence dans le domaine des technologies de développement durable, en particulier en ce qui concerne la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) (Fang et al., 2023). Ces progrès s'inscrivent dans une démarche d'économie circulaire, qui cherche à optimiser la réutilisation des ressources et à minimiser la génération de déchets (Geissdoerfer et al., 2017). Contrairement à l'économie linéaire, l'économie circulaire favorise le recyclage, la valorisation et la prolongation de la durée de vie des ressources, ce qui permet de diminuer l'empreinte écologique (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

La présente recherche analyse l'influence de l'intelligence artificielle sur les pratiques de gestion des risques au sein des entreprises du secteur des déchets au Québec. Elle s'inscrit dans un contexte marqué par la complexification croissante des risques et les défis liés à l'intégration des technologies numériques.

La Commission d'enquête sur les déchets du Québec (1990) mettait déjà en évidence l'importance d'une gestion optimale des déchets pour éviter les désastres écologiques et économiques, tout en garantissant le respect des règlements et l'efficacité des systèmes. Dans cette perspective, en adoptant une démarche qualitative, cette recherche vise à analyser comment l'IA contribue à l'amélioration des pratiques de collecte, de tri et de traitement des déchets, en plus de gérer les risques qui y sont liés.

Toutefois, bien que le Québec évolue dans un environnement propice à l'innovation, il doit encore relever plusieurs défis. Wang et al. (2023) identifient notamment des obstacles liés au financement des infrastructures, au respect des normes environnementales et au manque de sensibilisation du public, qui freinent la transition vers un système de gestion des déchets plus durable et technologiquement avancé.

La gestion efficace des déchets solides municipaux, industriels et dangereux est essentielle pour protéger l'environnement et la santé publique. Si les méthodes traditionnelles, comme l'enfouissement et l'incinération, sont toujours couramment utilisées, elles posent des défis importants en ce qui a trait à la durabilité et aux risques environnementaux (Murray et al., 2017). Dans ce contexte, l'intelligence artificielle constitue un outil stratégique permettant d'améliorer ces pratiques grâce à des algorithmes de reconnaissance pour le tri des matériaux, à des modèles prédictifs pour estimer les volumes de déchets et à des systèmes d'aide à la décision fondés sur l'analyse des données, ce qui contribue ainsi à une gestion plus efficace et plus sécuritaire (Commission d'enquête sur les déchets du Québec, 1990).

En adoptant ces technologies de pointe, le Québec détient un levier crucial pour préserver l'environnement, renforcer la santé publique et optimiser la gestion des déchets. Cette recherche vise à combler l'écart entre les cadres théoriques et les pratiques organisationnelles en fournissant des données empiriques et une analyse approfondie de l'utilisation de l'IA dans la gestion des risques liés aux déchets. Le présent mémoire sera divisé en cinq chapitres : le premier sera consacré à « *Problématique* », le deuxième à la « *Revue de la littérature* », le troisième à la « *Méthodologie* », le quatrième à la « *Présentation des résultats* », le cinquième et dernier à la « *Discussion des résultats* », qui analyseront et interpréteront les résultats obtenus.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE

À l'ère de la quatrième révolution industrielle, alors que l'agriculture et la fabrication traditionnelle perdent peu à peu leur importance, certains secteurs économiques ont connu une évolution fulgurante (Makridakis, 2017). Cette transition ne conduit pas à leur élimination complète, mais plutôt à leur progression, caractérisée par l'adoption de plus en plus de technologies visant à améliorer l'efficacité, la pérennité et la rentabilité des procédures (Brynjolfsson et McAfee, 2014).

Dans cette perspective, Kurzweil (1992), dans ses travaux, souligne que l'accroissement de la robotisation et le développement de nouvelles technologies modifient déjà radicalement notre vie quotidienne. Les outils technologiques modernes, tels que les assistants numériques, la publicité ciblée et les mobiles multifonctionnels, ont un impact significatif sur notre mode de vie (Susskind et Susskind, 2015).

Face à ce développement rapide des nouvelles technologies, il devient pertinent de poser une question centrale : pourquoi ces technologies se sont-elles imposées comme indispensables dans notre vie de tous les jours ? La réponse à cette question se trouve au cœur des avancées rapides des technologies de l'intelligence artificielle. Ces technologies cherchent entre autres à reproduire ou à imiter les différents comportements d'un humain à travers des actions considérées intelligentes (Russell et Norvig, 2016).

Cette étude explore l'impact de l'intelligence artificielle sur la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec. La gestion des déchets dans cette province est confrontée à des défis complexes exacerbés par la croissance démographique, l'accélération de l'urbanisation et les changements dans nos habitudes de consommation, ce qui complique les opérations en les rendant plus coûteuses et difficiles (Recyc-Québec, 2021). La gestion des

déchets peut être confrontée à divers risques : impacts sur l'environnement, l'opérationnel, le financier et le sanitaire qui sont susceptibles d'avoir un effet préjudiciable sur la santé publique, l'environnement et la prospérité économique du Québec (Commission d'enquête sur les déchets, 1990).

Dans cette optique, Geissdoerfer et al. (2017) pensent que l'un des facteurs déterminants des prises de décision contrôlées, dans la minimisation des effets négatifs et la prévention des incidents, est l'intégration de l'IA dans les processus de gestion des risques. Des moyens technologiques, tels que l'apprentissage automatique, la modélisation prédictive et l'analyse des données, sont favorables à l'identification de plusieurs tendances dans la gestion des risques. Il s'agit entre autres de l'évaluation des risques et de l'élaboration des stratégies d'atténuation plus performantes (Huang et Rust, 2018).

Cependant, les recherches de Fang et al. (2023) montrent qu'il y a plusieurs limites à cette intégration. Elle suscite des questions sur la crédibilité et la disponibilité des données recueillies, la protection des données, ainsi que sur l'acceptabilité sociale de ces différentes technologies (Fang et al., 2023 ; Gagnon, 2021 ; Tremblay et Lafleur, 2023).

Dans ce contexte marqué par la complexité croissante des risques et les enjeux liés à l'intégration des technologies numériques, la présente recherche s'articule autour de la question suivante : Comment l'intégration de l'intelligence artificielle influence-t-elle les capacités de gestion des risques des organisations du secteur des déchets au Québec ?

Ainsi, cette recherche vise à :

- Explorer l'influence transformative de l'intelligence artificielle sur la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec.

De façon spécifique, elle vise à :

- Analyser les perceptions des différents acteurs impliqués (entreprises, municipalités, consultants) face à l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques dans le secteur des déchets.

- Comprendre les changements dans les pratiques de gestion des risques causés par l'intégration de l'IA dans le secteur des déchets.
- Identifier les avantages et les défis associés à l'utilisation de l'IA dans la gestion du secteur des déchets.

1.1 PERTINENCE SOCIALE

L'utilisation de l'intelligence artificielle dans le secteur des déchets au Québec et au Canada est d'une importance capitale en raison de ses conséquences directes sur l'environnement, la santé de la population et le bien-être collectif (Ivorra et al., 2021).

Sur le plan environnemental, les nouvelles technologies de l'intelligence artificielle contribuent de façon graduelle à la baisse des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur des déchets. Par ailleurs, plus de 29,8 millions de tonnes de CO₂ sont émises au Canada¹ (Environnement et Changement Climatique Canada, 2019). Grâce à l'amélioration de la gestion des déchets, l'IA apportera une contribution à la lutte contre le réchauffement du climat, défi crucial pour les générations à venir.

Enfin, sur le plan sanitaire, l'efficacité de la gestion des déchets constitue un atout fondamental pour réduire les différents risques associés à une élimination inadéquate des matières résiduelles, comme la pollution des sols, de l'eau et de l'air. En ce sens, cette amélioration permet de combattre de façon efficace les incidences de problèmes de santé majeurs, surtout chez les personnes établies non loin des sites d'enfouissement.

¹ (Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs — Message d'erreur sur fichier non trouvé, s. d.)

1.2 PERTINENCE SCIENTIFIQUE

Sur le plan scientifique, ce travail contribue à l'enrichissement des connaissances théoriques grâce à l'exploration des aspects d'intelligence artificielle dans le domaine de la gestion des déchets. Les travaux de Geissdoerfer et al. (2017) et de Russell et Norvig (2016) rejoignent encore ces idées, car ils permettent de montrer comment les technologies de l'IA peuvent participer à l'amélioration de la gestion des risques avec plusieurs aspects, comme la prévention des incidents et l'efficacité des interventions.

En examinant diverses connaissances, cette recherche fournit une analyse détaillée des technologies de l'intelligence artificielle, de leurs modes d'action et de leurs influences sur la gestion des déchets. Les analyses obtenues éclairent sur les opportunités et les défis liés à l'utilisation de l'IA, notamment dans la prévision, la réduction des risques environnementaux, économiques et opérationnels (Brynjolfsson et McAfee, 2014).

Cette étude est en quelque sorte une fondation pour des travaux de recherche futurs. Comme le soulignent Susskind et Susskind (2015), il est essentiel de comprendre les implications technologiques afin d'orienter les politiques publiques. C'est la raison pour laquelle cette étude fournit des solutions éclairées pour encourager l'adoption de pratiques novatrices dans la gestion des déchets. De plus, cela donne la possibilité d'explorer de nouvelles approches et technologies capables de renforcer la gestion durable des déchets et des risques qui y sont liés.

Enfin, cette recherche en s'insérant dans une démarche rigoureuse s'aligne sur les contributions de Makridakis (2017), en apportant une analyse avancée des différents défis et des opportunités qui sont associés à l'intelligence artificielle dans des contextes complexes. Elle contribue au développement de solutions novatrices et durables pour répondre aux enjeux de plus en plus croissants de la gestion des déchets.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

Dans ce chapitre, une définition brève de l'intelligence artificielle, de la gestion des déchets et de la gestion des risques sera d'abord présentée, ainsi qu'un aperçu de leur évolution au fil du temps. Par la suite, l'étude sera approfondie afin de présenter le contexte dans lequel elle s'inscrit. Enfin, un tour non exhaustif de la littérature sera proposé.

Cette revue de littérature, en s'appuyant sur le contexte du Québec, vise à examiner comment l'intelligence artificielle révolutionne la gestion des risques dans le secteur des déchets. Elle permettra une meilleure analyse des avantages, des enjeux et des conséquences de l'intégration de l'IA dans ce domaine.

2.1 CADRE THÉORIQUE

Ce cadre théorique, tout en mettant l'accent sur la gestion des risques, vise à poser les bases conceptuelles nécessaires à l'analyse de l'influence de l'IA dans la gestion des déchets. Il se structure en trois sections distinctes. La première partie aborde l'intelligence artificielle, tout en donnant des détails sur ses progrès récents et les différents domaines d'intervention. La deuxième aborde la gestion des risques, explorant les différentes théories et méthodes qui y sont liées en mettant l'accent sur leur rôle dans la prévention et la maîtrise des incertitudes dans des projets complexes. Enfin, la troisième partie examine les enjeux environnementaux et économiques liés au domaine de gestion des déchets. De plus, les pratiques de réglementation qui encadrent ce domaine traitent de la gestion des déchets. L'ensemble de ces sections permettra d'avoir une vision un peu plus globale des différentes interactions et des dynamiques en jeu afin de saisir en profondeur l'impact de l'IA sur les pratiques de gestion des déchets et des risques.

2.1.1 Intelligences artificielles

Russell et Norvig (2016) définissent l'intelligence artificielle (IA) comme une technologie permettant aux machines d'apprendre, de raisonner et de résoudre des problèmes de manière similaire à l'intelligence humaine. L'IA est une branche de l'informatique visant à doter les machines de comportements intelligents imitant ceux des humains. Cette perspective met en évidence la capacité cognitive de l'IA à reproduire certains aspects du raisonnement humain, ce qui offre un cadre pertinent pour analyser son développement et ses applications. Cette capacité cognitive rend l'IA particulièrement pertinente pour des secteurs complexes et variables, tels que la gestion des déchets, où les décisions doivent être rapides et fiables. Dans le secteur des déchets, cette approche facilite la conception de systèmes capables de reproduire le raisonnement humain. Elle permet de planifier les opérations, d'évaluer les risques environnementaux et de guider les décisions relatives au tri, au transport et au traitement des déchets.

Dans une perspective plus opérationnelle, Huang et Rust (2018) identifient quatre types d'intelligence artificielle : mécanique, analytique, intuitive et empathique. Dans un premier temps, l'intelligence mécanique vise à automatiser les tâches répétitives avec une flexibilité limitée. Par la suite, l'intelligence analytique consiste en une étude approfondie des informations et la résolution de problèmes sur une période prolongée grâce à l'apprentissage automatique. L'intelligence intuitive favorise l'émergence de nouvelles idées et l'adaptation à des situations inédites. Enfin, l'intelligence empathique permet aux machines de comprendre et d'interpréter les émotions humaines. Ce type d'intelligence artificielle est indispensable à la société dans la mesure où elle facilite les interactions sociales. Cette classification illustre la variété des rôles que l'IA peut jouer et prépare à une analyse critique dans le secteur des déchets. Dans le secteur des déchets, cette typologie s'avère particulièrement utile pour optimiser les processus et adapter les interventions aux situations variées. L'intelligence mécanique peut automatiser le tri des matières, l'intelligence analytique optimiser les flux et gérer les risques opérationnels, l'intelligence intuitive appuyer l'adaptation aux situations imprévues (pannes, pics de déchets) et

l'intelligence empathique favoriser l'acceptabilité sociale et la communication avec les citoyens et les parties prenantes. Ainsi, chaque type d'IA apporte des avantages spécifiques à la gestion des déchets : l'intelligence mécanique automatise le tri, l'analytique optimise les flux, l'intuitive anticipe l'imprévu et l'empathique facilite l'acceptabilité sociale.

Au-delà de cette typologie, Samuel (1959) a introduit l'apprentissage automatique, une discipline de l'intelligence artificielle. Selon lui, les systèmes peuvent s'améliorer en s'appuyant sur des données existantes, sans nécessiter une programmation explicite pour chaque tâche. L'apprentissage profond, qui en découle, utilise des réseaux neuronaux artificiels pour extraire des informations complexes à partir de vastes ensembles de données. Les travaux de LeCun et al. (2015) montrent comment les réseaux neuronaux convolutifs et récurrents permettent de traiter le langage naturel et de reconnaître des images. Les réseaux neuronaux convolutifs sont surtout utilisés pour l'analyse et la reconnaissance d'images. Ils sont en effet en mesure d'extraire automatiquement des caractéristiques visuelles telles que les formes, les textures et les motifs à partir de données visuelles brutes. Cette capacité les rend particulièrement efficaces pour la vision par ordinateur. Les réseaux neuronaux récurrents, quant à eux, sont développés spécifiquement pour traiter des données structurées sous forme séquentielle, telles que le langage naturel ou les séries temporelles. Grâce à leur capacité à prendre en compte les liens existants entre les informations consécutives, ils peuvent analyser des textes, identifier la parole et modéliser des séquences complexes. Cela contribue de manière significative au développement accéléré des nouvelles technologies dans les domaines de la vision par ordinateur et de la reconnaissance vocale. Dans le domaine de la gestion des déchets, l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond représentent des leviers majeurs pour la reconnaissance automatique des matériaux, la détection des contaminants, la prévision des volumes de déchets et l'optimisation des performances des centres de tri.

Dans le prolongement des approches d'apprentissage automatique, Sutton et Barto (1998) introduisent le concept d'apprentissage par renforcement. Ce processus consiste à interagir avec l'environnement de manière bénéfique ou préjudiciable en fonction des actions

entreprises. Cette méthode est appliquée dans divers domaines, tels que la robotique, les jeux vidéo et la gestion de systèmes complexes. Grâce à cette approche, les machines peuvent désormais prendre des décisions de manière autonome et adaptative. Appliqué à la gestion des déchets, l'apprentissage par renforcement permet de développer des systèmes capables d'optimiser en continu les itinéraires de collecte, l'utilisation des équipements et la gestion des infrastructures, en tenant compte des contraintes environnementales, économiques et opérationnelles.

Ces fondements théoriques se traduisent concrètement par des applications dans plusieurs domaines. L'intelligence artificielle a des impacts considérables dans plusieurs domaines en tenant compte de ces différentes théories. Par exemple, Gulshan et al. (2016) ont démontré dans leurs travaux qu'on peut utiliser l'apprentissage profond pour développer un modèle. Ce modèle pourrait ainsi favoriser la détection de la rétinopathie diabétique à partir d'images rétiniennes. Il convient de noter que ces modèles peuvent atteindre des niveaux de précision comparables à ceux des ophtalmologistes expérimentés. Ce travail démontre le potentiel de l'IA pour améliorer les diagnostics médicaux et assister les professionnels de la santé. Ces résultats suggèrent que l'IA peut avoir un impact positif dans la gestion des déchets, en aidant les responsables à détecter précocement les risques environnementaux et sanitaires liés aux déchets dangereux ou mal gérés. Cependant, l'IA ne devrait pas remplacer complètement l'expertise humaine.

Dans le domaine de la finance, les travaux fondateurs de Markowitz (1952) ont démontré l'importance de la diversification dans la gestion du risque, tandis que des recherches plus récentes montrent que l'intelligence artificielle peut contribuer à améliorer ces processus en optimisant la détection et la prévision des risques financiers (Feng et al., 2018). Ces principes de diversification et de gestion des risques, renforcés par l'IA, peuvent être appliqués à la gestion des déchets, en particulier dans la diversification des filières de traitement comme le recyclage, la valorisation et l'enfouissement. Cela permet de réduire la dépendance à une seule solution et d'accroître la résilience des systèmes de gestion des déchets. Cet impact peut être illustré à travers la diversification des portefeuilles de solutions

de gestion des déchets. Il montre une approche critique et intégrative de l'IA, en reliant les concepts financiers aux stratégies de gestion des déchets.

Dans leurs travaux, Chalapathy et Chawla (2019) tentent de prouver l'efficacité des modèles d'apprentissage dans la détection des anomalies et des tendances invisibles aux méthodes traditionnelles. Les organismes peuvent ainsi mieux anticiper les risques émergents, ce qui leur permet de réduire leurs pertes financières. Dans le domaine de la gestion des déchets, ces capacités se traduisent par l'identification précoce des dysfonctionnements opérationnels, des erreurs de tri ou des risques environnementaux, renforçant ainsi une gestion des risques plus proactive et fondée sur les données. Ces différentes illustrations apportent une preuve de la capacité de l'intelligence artificielle à renforcer la résilience et l'efficacité dans de nombreux domaines.

Dans une perspective plus intégrative, la théorie des capacités dynamiques de Teece (2007) est utile pour comprendre comment les entreprises et les municipalités peuvent intégrer l'IA pour renforcer leur flexibilité et leur résilience face aux défis du secteur des déchets. Elle constitue un cadre pertinent pour analyser l'intégration de l'IA dans les entreprises. Selon cette théorie, la réussite d'une organisation dépend de sa capacité à identifier, à intégrer et à adapter ses ressources et ses compétences en réponse aux évolutions technologiques et concurrentielles. En ce qui concerne l'intelligence artificielle, cette théorie permet de comprendre comment les entreprises et les villes peuvent tirer parti des systèmes intelligents pour convertir les données collectées par les capteurs, les balances et les systèmes de suivi GPS (Global Positioning System) en avantages concurrentiels. L'intelligence artificielle devient un outil d'automatisation, mais aussi un catalyseur pour accroître la flexibilité organisationnelle, l'apprentissage continu et la capacité à anticiper les changements du marché ou les risques émergents. Dans la gestion des déchets, cela se traduit par une meilleure identification des risques, une adaptation rapide des processus de tri, de traitement et un renforcement de la résilience face aux fluctuations des volumes de déchets et aux contraintes réglementaires.

Au Québec, l'IA est utilisée pour optimiser la gestion des ressources. Par exemple, Arévalo et Jurado (2024) montrent que l'IA appliquée aux réseaux intelligents améliore la planification et l'exploitation des systèmes énergétiques distribués. Par ailleurs, Akter et al. (2018) ont démontré que l'intelligence artificielle facilite la détection de plusieurs incohérences dans la surveillance de l'environnement et la gestion proactive et rapide des risques qui y sont liés. Dans le contexte québécois de la gestion des déchets, ces applications de l'IA s'inscrivent dans une logique de développement durable, d'économie circulaire et de gouvernance territoriale, illustrant l'intégration stratégique de l'IA pour améliorer la performance globale des systèmes.

2.1.2 Gestion des risques

Selon le PMBOK (2017), la gestion des risques, également appelée management des risques, est définie comme : « *Le processus systématique d'analyse, d'identification et de réponse aux risques. Elle consiste à maximiser les chances et l'impact des événements positifs tout en minimisant la probabilité et l'impact des événements négatifs, afin d'atteindre les objectifs* ».

Cette définition met en lumière l'approche contemporaine et intégrée du risque, soulignant que la gestion ne se limite pas à éviter les menaces, mais qu'elle consiste également à identifier et exploiter les opportunités. Cette vision est aujourd'hui largement reprise dans les cadres modernes de gouvernance des risques, notamment dans les approches de gestion intégrée des risques organisationnels (Arena et al., 2010 ; Renn, 2008). Dans la gestion des déchets, ces concepts aident les décideurs à prioriser les actions (recyclage, valorisation énergétique, prévention), tout en réduisant l'incertitude grâce à l'IA. La figure ci-dessous montre les différentes étapes du processus de gestion des risques.

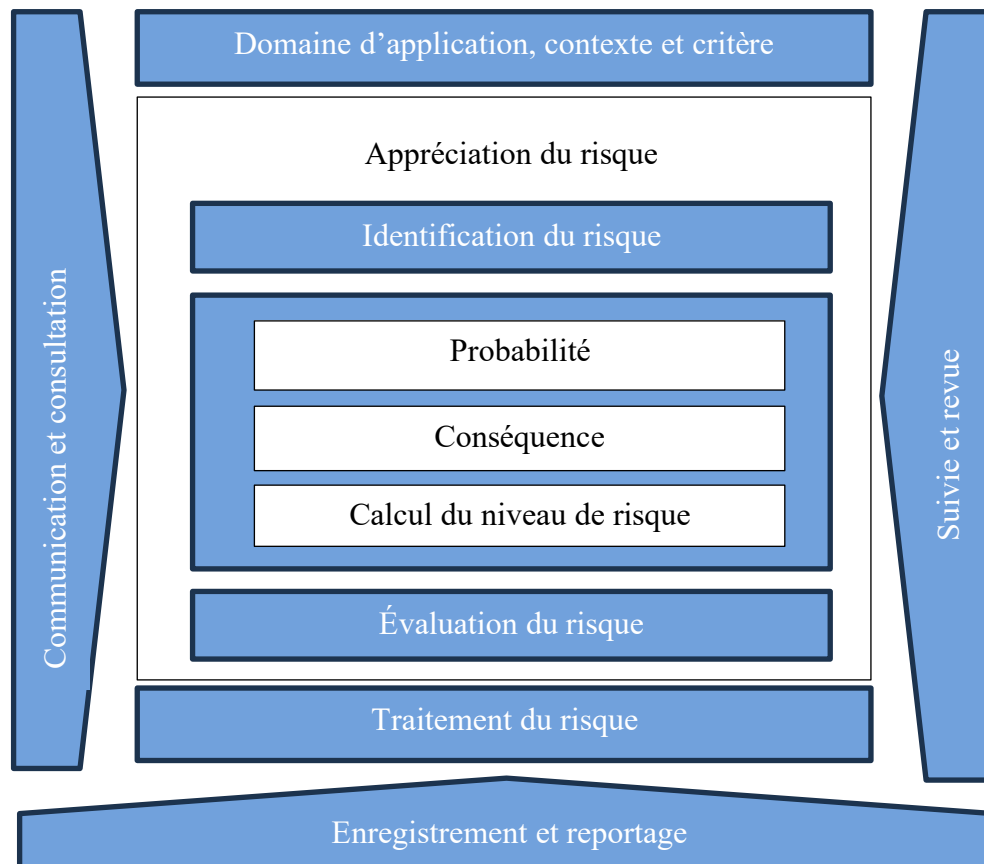


Figure 1 : Processus de gestion des risques, © Inspiré de ISO, 2018

Dans une perspective normative complémentaire, l'ISO (2018) définit la gestion des risques comme suit : « *Le processus de gestion des risques est une application systématique de politiques, de procédures et de pratiques de management aux activités de communication, de consultation, de contextualisation, d'identification, d'analyse, d'évaluation, de traitement, de surveillance et de revue des risques* ».

De l'analyse de cette définition, la gestion des risques commence par l'établissement d'un contexte dans lequel les différents objectifs et l'environnement de l'organisation sont définis. Par la suite, l'identification des risques facilite la détection de facteurs susceptibles d'empêcher la mise en œuvre des objectifs. L'évaluation des risques, qui comprend l'analyse

et l'estimation, permet de déterminer la nature des risques, leur probabilité d'occurrence et leurs impacts potentiels. Finalement, la gestion des risques correspond à l'étape où des décisions sont prises pour atténuer, affecter, accepter ou éviter les risques. Enfin, un suivi et une réévaluation régulière permettent d'améliorer l'efficacité de la gestion des risques et leur identification. Ce processus est cyclique et doit être régulièrement réévalué pour s'adapter aux changements de l'environnement interne et externe. Dans le secteur de la gestion des déchets, l'intégration de l'intelligence artificielle renforce ce processus cyclique en facilitant l'analyse en temps réel des données issues des flux de déchets, en améliorant la détection des anomalies telles que le mauvais tri ou la présence de déchets dangereux et en soutenant la prise de décision grâce à des outils prédictifs. L'IA devient ainsi un levier stratégique pour optimiser la prévention des risques, renforcer la conformité environnementale et améliorer la performance globale des systèmes de gestion des déchets.

Plusieurs théories traditionnelles, telles que la théorie de la décision, la théorie des jeux et la théorie des portefeuilles, constituent les fondements ou les bases de la gestion des risques.

Selon la théorie de la décision, de la rationalité telle qu'abordée par Simon (1955) : « *La rationalité des individus est limitée par l'information dont ils disposent, les limitations cognitives de leur esprit et le temps dont ils disposent pour prendre des décisions* ».

Cette théorie repose sur l'utilisation d'heuristiques, c'est-à-dire des règles de raisonnement simplifiées qui aident les individus à prendre des décisions dans des situations d'incertitude. Dans certains cas, ces heuristiques peuvent également être biaisées. Dans les travaux de Savage (1954), dans la théorie des probabilités subjectives, les décisions sont généralement affectées par la capacité des décideurs à croire à la réalisation. Dans le domaine de la gestion des déchets, ces concepts peuvent être directement appliqués. En guise d'illustration, dans certaines situations complexes (la gestion des flux de déchets électroniques ou industriels), les décideurs peuvent utiliser les heuristiques pour faire des priorisations (prévention, recyclage, valorisation énergétique, etc.) compte tenu des obstacles environnementaux et locaux. L'intelligence artificielle vient compléter cette approche : en

analysant de grandes quantités de données et en découvrant des modèles complexes, elle réduit les incertitudes et les biais subjectifs, offrant un soutien technologique pour des décisions plus efficaces et durables.

Dans une logique d'interactions stratégiques entre acteurs, la théorie des jeux, formalisée par Nash (1951), met en évidence les interactions entre plusieurs acteurs. Selon cette théorie : *« Une solution de la théorie des jeux est un ensemble de stratégies, une pour chaque joueur, tel qu'aucun joueur n'a intérêt à dévier unilatéralement de sa stratégie si les autres conservent la leur ».*

Ce concept décrit une situation dans laquelle chaque individu peut adopter la meilleure stratégie possible, tout en prenant en compte les choix des autres, sans qu'aucun ne puisse améliorer son résultat en changeant sa décision. Dans la gestion des déchets, elle est fondamentale, car elle permet de faire une analyse du fonctionnement entre différents acteurs, comme les gouvernements, les entreprises et les collectivités. Par exemple, on peut observer une stabilité naître lorsque les entreprises commencent par adopter des pratiques durables (recyclage ou réduction des déchets) dans l'ambition de donner une réponse aux politiques publiques ou à des pressions concurrentielles. L'IA peut simuler les interactions entre municipalités, entreprises et collectivités, anticiper les décisions et favoriser des stratégies coopératives efficaces. Cette approche favorise une meilleure coordination dans la gestion des déchets en simulant les interactions entre les municipalités, les entreprises de recyclage et les collectivités. Cela permet d'anticiper les conséquences des décisions de chaque partie et de promouvoir des stratégies de coopération mutuellement bénéfiques, comme la mise en place de réseaux partagés de traitement des déchets dangereux.

Dans une perspective de diversification et de réduction des risques, la théorie des portefeuilles, proposée par Markowitz (1952), parle de la diversification des actifs, selon cette théorie :

« Le rendement d'un portefeuille doit être évalué non seulement par la moyenne attendue de ses rendements, mais aussi par la variance de ceux-ci, qui mesure le risque ».

Elle aide à maximiser ou à minimiser les risques. La diversification participe à diminuer l'exposition aux différentes variations spécifiques à un secteur ou à une entreprise. En gestion de projet, ce concept aide à diversifier les investissements entre plusieurs stratégies (recyclage, valorisation énergétique et prévention des déchets). En guise d'exemple, une municipalité ou une entreprise de gestion des déchets pourrait décider de diversifier ses stratégies en combinant recyclage, valorisation énergétique et compostage, afin de réduire les risques liés à une dépendance excessive à une seule méthode de traitement. Cette diversification permet de mieux gérer les fluctuations saisonnières du volume des déchets, ce qui réduit les répercussions sur l'environnement et les coûts opérationnels. L'intelligence artificielle émerge comme un outil crucial à cet égard, en simplifiant l'analyse des données et en mettant en évidence les approches les plus performantes. Cela permettrait ainsi d'allouer des ressources de manière optimale tout en garantissant la durabilité des solutions. En ce qui concerne la gestion des déchets, l'intelligence artificielle peut évaluer l'efficacité de diverses méthodes (recyclage, compostage, énergie) pour identifier celles qui présentent les risques opérationnels et environnementaux les moins élevés. Cela garantit une affectation optimale des ressources et une planification à long terme.

L'émergence de technologies numériques avancées, notamment l'intelligence artificielle, a donné un grand coup positif à l'évolution de la gestion des risques. Des outils comme l'apprentissage automatique et les réseaux neuronaux permettent aux organisations et structures d'anticiper et de gérer les risques de manière proactive et efficace. Chandola et al. (2009) pensent que ces nouvelles technologies sont indispensables. Dans le domaine de la gestion des déchets, ces technologies facilitent l'identification des risques opérationnels et environnementaux, tels que les erreurs de tri, les défaillances des équipements ou les incidents impliquant des matières dangereuses, renforçant ainsi la sécurité, la conformité réglementaire et la performance globale des systèmes de traitement.

Dans une perspective organisationnelle et évolutive, l'application de la théorie des capacités dynamiques à la gestion des risques permet de comprendre comment les organisations peuvent accroître leur résilience et leur adaptabilité. Selon Teece (2007), les

capacités dynamiques nécessitent la détection rapide de signaux faibles, la transformation des ressources actuelles et la réorganisation des procédures pour faire face à des événements imprévisibles. Dans le domaine des déchets, l'intelligence artificielle (IA) peut être utilisée pour améliorer la prévention des incidents, la planification stratégique et la mise en œuvre d'actions correctives. Les entreprises peuvent identifier les risques et ajuster leurs procédures en temps réel. Elles tirent également des enseignements des expériences passées, renforçant ainsi l'amélioration continue énoncée dans la norme ISO 31000 (ISO, 2018).

Dans le contexte québécois et canadien, la gestion des risques se caractérise par des approches adaptées aux réalités territoriales. Arena et al. (2010), dans leurs études, ont essayé de démontrer que les multiples entreprises québécoises ont opté pour une approche intégrée. Ces approches tiennent compte de plusieurs dimensions (humaines, financières, environnementales) permettant ainsi de mieux gérer les risques. Cela a permis d'établir des cadres adaptés aux besoins et aux réalités spécifiques de chaque région du Québec. Au Québec, l'IA permet d'intégrer les dimensions humaines, financières et environnementales. Elle fournit des prévisions sur les risques, optimise la logistique des centres de tri et aide à assurer la conformité réglementaire. Cela donne lieu à un cadre intégré et dynamique.

Les études empiriques viennent confirmer ces théories et illustrent la manière dont les entreprises mettent en application ces différents principes dans la pratique. Arena et al. (2010) ont réalisé des études profondes sur l'impact des systèmes intégrés de Gestion des Risques et de la Conformité (GRC). Des résultats de leurs études, il en résulte que les entreprises qui ont réussi à réduire drastiquement les incidents liés aux risques et à améliorer leur conformité réglementaire sont celles qui ont une approche intégrée de gestion. L'IA intervient à tous ces niveaux, facilitant la prise de décision proactive et l'anticipation des incidents ou opportunités dans la gestion des déchets.

En effet, la norme ISO 31000 (ISO, 2018) souligne qu'il est avantageux d'intégrer la gestion des risques dans la gouvernance stratégique, tout en veillant à la complémentarité entre les processus organisationnels et les mesures opérationnelles de contrôle. Dans cette logique, Le Ray (2013) explique dans ses travaux que le management du risque s'applique à

trois niveaux. D'abord, stratégique, il concerne les obstacles globaux pouvant influencer la compétitivité ou la survie de l'organisation (crises économiques, régulations, pandémies). Ensuite, il est organisationnel lorsqu'il s'agit de coordonner les différents départements, projets et processus. Par ailleurs, il est opérationnel quand les risques du quotidien sont liés aux activités de terrain (erreurs humaines, défaillances techniques). Cette différenciation est abordée dans les guides institutionnels, tels que le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2010), qui souligne la pertinence de dissocier les risques selon les niveaux de responsabilité afin d'assurer une meilleure intégration du profil de risque organisationnel. Dans le secteur de la gestion des déchets, l'intelligence artificielle soutient ces différents niveaux en améliorant l'analyse des risques, la coordination des opérations et la réactivité face aux incidents. Elle facilite la prise de décision et la réactivité face aux incidents ou aux opportunités. C'est donc un outil important pour analyser ces phénomènes, que ce soit dans la littérature ou dans l'interprétation des résultats empiriques.

En conclusion, l'intelligence artificielle contribue à une gestion des risques plus proactive, plus précise et mieux intégrée, surtout dans un contexte québécois, où elle participe à l'amélioration de la capacité des entreprises à anticiper et à combattre les crises tout en améliorant leur efficacité opérationnelle et leur conformité réglementaire. En matière de gestion des déchets, cela se manifeste par l'amélioration des procédures de tri, la diminution de l'empreinte écologique, la protection des voies de transport des déchets dangereux et l'élaboration de plans d'infrastructure judicieux. Ainsi, la gestion des risques devient un outil durable et avisé.

2.1.3 Gestion des déchets

Selon le Grand dictionnaire terminologique, le déchet² est défini comme un : « *résidu qui provient du processus de production ou de transformation d'une matière première ou d'un produit* ». Il peut être sous la forme solide, liquide ou gazeuse et pourrait provenir de plusieurs humains, notamment domestiques, industriels ou commerciaux.

Selon Pires et al. (2011), un déchet est : « *tout produit ou substance abandonné ou destiné à l'élimination* ».

Ce concept englobe divers matériaux, souvent non réutilisables ou non valorisables et inclut les déchets ménagers, industriels ou commerciaux. Le terme « *ordure* » fait partie des synonymes les plus souvent utilisés pour désigner les déchets ; il désigne pour la plupart du temps les déchets ménagers, qui sont également les déchets non utilisables (Amin et Talebian-Kiakalaieh, 2018). Ils expliquent que les ordures sont essentiellement issues des activités de tous les jours des ménages, y compris les déchets alimentaires et les emballages. Elles invitent plutôt à une réflexion plus large sur les enjeux qu'ils soulèvent en matière de gestion, notamment en lien avec les risques associés à leur production et à leur traitement, ouvrant la voie à des approches analytiques plus structurées.

Le mot *poubelle* désigne le contenant utilisé pour recevoir les déchets. Il est parfois utilisé de manière informelle pour désigner les déchets eux-mêmes (Tchobanoglous et al., 1993).

Selon Vezzoli et Manzini (2008), le recyclage consiste à : « *transformer les déchets en nouveaux produits, afin de limiter l'exploitation des ressources naturelles et de réduire les nuisances environnementales* ». Il s'agit d'une procédure qui implique la collecte, le tri,

² Office québécois de la langue française. (2006). *Déchet*. Grand dictionnaire terminologique. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8869383/dechet>

le traitement et la transformation des matières dans l'intention de les exploiter pour de nouvelles productions. Parmi les synonymes associés au recyclage, on distingue entre autres la valorisation des déchets. Selon Malinauskaite (2017), elle consiste non seulement à faire le recyclage de ces déchets, mais aussi à transformer les déchets en produits ou en énergie afin de participer à la diminution de leur impact sur l'environnement, donnant ainsi la vie utile aux objets avant leur élimination. Ghadimi et al. (2019), dans leurs travaux, ont aussi montré que cette démarche permet de réduire la quantité de nouveaux matériaux, en donnant une nouvelle fonction aux objets ou matériaux usagés.

Les types de déchets varient considérablement en fonction de leur origine et de leur composition. On distingue entre autres les déchets ménagers, les déchets industriels, les déchets organiques et les déchets électroniques.

Les déchets ménagers sont généralement issus des travaux ménagers et sont constitués essentiellement de restes alimentaires, d'emballages et d'autres matériaux recyclables. Ferronato et Torretta (2019), dans leurs travaux, ont montré que ces déchets proviennent principalement des foyers et sont pour la plupart du temps la grande proportion des déchets urbains.

Les déchets industriels proviennent essentiellement des processus de production et de fabrication et sont généralement constitués de plusieurs matériaux. Il s'agit entre autres des métaux, plastiques, produits chimiques et autres résidus industriels. Kumar et al. (2023) pensent qu'il est indispensable que ces déchets soient bien gérés à cause de leur diversité et parce qu'ils pourraient être toxiques pour l'environnement.

Les déchets organiques sont, selon Pires et al. (2011), des matières biodégradables, comme les restes alimentaires ou les déchets verts. Ils peuvent être compostés ou parfois recyclés d'une manière spéciale.

Les e-déchets, également connus sous le nom de déchets électroniques, se composent principalement des résidus générés par les appareils électroniques hors d'usage, comme les téléphones portables, les ordinateurs et les appareils électroménagers. Selon Zhang et al.

(2019), la gestion des déchets dangereux est indispensable en raison de leurs effets toxiques potentiels sur la santé humaine et l'environnement ; ces déchets, souvent régis par des lois strictes, nécessitent une prise en charge rigoureuse en raison de leurs risques pour la santé et l'écosystème.

Par rapport au recyclage, plusieurs méthodes existent. On distingue entre autres des méthodes de recyclage mécanique, de recyclage chimique et de compostage.

Le recyclage mécanique, selon Schyns et Shaver (2021), est une méthode consistant à modifier physiquement les matériaux sans toucher à leur structure chimique, notamment par le broyage ou la fusion de plastiques afin de les réutiliser dans la production de nouveaux matériaux.

Le recyclage chimique, comme le décrivent Al-Salem et al. (2009), est une méthode qui participe à la modification de l'aspect chimique des matériaux afin d'en extraire des composants pouvant être réutilisés dans la fabrication de nouveaux produits.

En outre, le compostage est un processus biologique qui permet de rendre les déchets organiques en compost, favorisant l'amélioration de la qualité du sol. Amin et Talebian-Kiakalaieh (2018), démontrent dans leurs travaux que la façon de faire participe également à la diminution des déchets tout en favorisant le développement utile de l'agriculture et de l'aménagement paysager.

La gestion des déchets est l'un des domaines les plus difficiles et importants pour le développement durable de l'environnement et de la santé publique. Dans le monde, les approches de gestion des déchets dépendent des différentes ressources disponibles, des politiques environnementales des dirigeants de chaque pays et des innovations technologiques (OCDE, 2018). Plusieurs théories ont participé au renforcement, à la compréhension et à l'application des différentes stratégies de gestion des déchets. Il s'agit entre autres de la théorie de la hiérarchie, de la théorie du système de gestion intégrée des déchets, de la théorie de l'économie circulaire et de la théorie de la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP).

Dans la continuité de la hiérarchisation des modes de gestion, certaines approches proposent une vision plus globale et systémique de la gestion des déchets. La théorie de la hiérarchie est intégrée dans la directive-cadre sur les déchets de la Commission européenne (2008). Selon cette institution : *« la théorie de la hiérarchie des déchets classe les méthodes de gestion des déchets par ordre de préférence environnementale : la prévention constitue la priorité absolue, suivie de la réutilisation, du recyclage, de la récupération d'énergie et enfin de l'élimination, cette dernière étant la moins souhaitable en raison de ses impacts négatifs sur l'environnement »*.

La théorie de la hiérarchie des déchets est une théorie qui montre les différentes méthodes de gestion des déchets en fonction de leur performance sur l'environnement. Dans un premier temps, elle donne plus d'importance à la prévention, qui participe à la réduction de la production de déchets à la source. Dans un second temps, il y a aussi la réutilisation, qui allonge la durée de vie des produits ; dans un troisième temps, le recyclage participe à la mise en valeur des matières, mais peut être énergivore (Fischer-Kowalski et Haberl, 2007). Dans un quatrième temps, la récupération d'énergie est aussi mise en place malgré le fait qu'elle soit moins bénéfique sur le plan écologique. Enfin, dans un cinquième temps, l'élimination, à cause des effets de la pollution, est considérée comme l'option la moins souhaitable (Commission européenne, 2008). Cette hiérarchisation met en évidence des choix opérationnels associés à différents niveaux de contraintes et de risques, ce qui ouvre la réflexion sur l'apport potentiel de l'intelligence artificielle comme outil d'aide à la décision pour l'analyse, la priorisation et la gestion des risques liés aux différentes options de traitement des déchets.

Selon le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) en (2013), la théorie des systèmes intégrés est en quelque sorte définie comme : *« Une approche holistique combinant diverses méthodes pour maximiser l'efficacité et minimiser l'impact environnemental. Cette approche intègre des stratégies telles que la collecte sélective, le recyclage, la valorisation énergétique, ainsi que l'élimination contrôlée des déchets. Elle préconise une gestion adaptée aux spécificités locales et aux objectifs environnementaux »*.

Cette théorie soutient un modèle économique favorisant le renforcement du cycle des ressources, en optimisant leur réutilisation et en réduisant les pertes. Elle ne se limite pas à la gestion des déchets, mais contribue également à la valorisation des chaînes de valeur et à l'adoption de comportements de consommation durables. Son objectif est de promouvoir une économie plus résiliente et durable, capable de mieux faire face aux crises environnementales et économiques. Ces cadres conceptuels mettent en évidence des enjeux de planification, de coordination et de maîtrise des risques à chaque étape du cycle des déchets, soulignant ainsi le rôle potentiel de l'intelligence artificielle dans l'optimisation des processus et la prévention des risques environnementaux et opérationnels.

Par ailleurs, la théorie de l'économie circulaire offre un cadre conceptuel structurant pour repenser les systèmes de production et de consommation à l'échelle globale, comme l'illustre la définition suivante : « *La théorie de l'économie circulaire met l'accent sur la réduction de la dépendance à l'extraction de nouvelles ressources, en optimisant la réutilisation des matériaux tout au long de leur cycle de vie. Elle va au-delà de la gestion des déchets en repensant les processus de production, de conception et de consommation pour bâtir une économie plus durable et résiliente* » (OECD, 2001).

Cette théorie constitue en quelque sorte un modèle économique participant au renforcement du cycle des ressources optimisant leur réutilisation et leurs pertes. À l'opposé des approches linéaires, l'économie circulaire est en quelque sorte un système dans lequel les produits et matériaux ont la possibilité de durer, d'être réparés, de réutiliser, de recycler ou de revaloriser. En plus, non seulement elle s'applique à la gestion des déchets, elle participe également à une grande valorisation des chaînes de valeur et des habitudes de consommation dans le but de créer une économie à long terme avec des ressources naturelles, tout en étant plus résiliente face aux crises de l'environnement et économiques. Ainsi, la théorie de l'économie circulaire met en avant des pratiques visant la durabilité et la réutilisation des ressources tout au long de leur cycle de vie (OECD, 2001). Elle souligne des enjeux liés à la planification, à la coordination et à la réduction des pertes, ce qui suggère que

l'intelligence artificielle pourrait contribuer à mieux gérer les risques et à optimiser les processus dans les systèmes circulaires de production et de consommation.

Ensuite, dans le prolongement des approches visant à responsabiliser les acteurs économiques tout au long du cycle de vie des produits, la théorie de REP constitue un cadre normatif central, défini comme suit : « *La théorie de la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) stipule que les fabricants doivent assumer la gestion des déchets de leurs produits en fin de vie, incluant la collecte, le recyclage et l'élimination. Elle encourage ainsi la conception de produits plus durables et contribue à réduire le fardeau des municipalités* » (OCDE, 2018).

Cette théorie s'applique fondamentalement au principe selon lequel les producteurs sont responsables de leurs productions du début à la fin de leur cycle de vie. Cela signifie que ceux-ci doivent assurer le financement et/ou l'organisation de la collecte, du recyclage, de la réutilisation, qui se font généralement en fin de vie. Dès le début du processus de planification des flux de déchets, les entreprises tentent de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et les risques opérationnels en innovant pour concevoir des produits plus durables, réparables et recyclables. Cela permet de réduire la quantité de déchets produits, d'amoinrir leur empreinte écologique et de soulager les municipalités et les citoyens du poids financier lié à la gestion des ordures. Ainsi, la théorie de la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) met en évidence le rôle des producteurs dans la gestion complète du cycle de vie de leurs produits (OCDE, 2018). Elle souligne des enjeux liés à la réduction des impacts environnementaux et à la maîtrise des risques opérationnels, ce qui suggère que l'intelligence artificielle pourrait soutenir l'optimisation des processus de collecte, de recyclage et de réutilisation, tout en renforçant la gestion des risques associés aux flux de déchets.

Au-delà des cadres institutionnels, techniques et économiques, certaines approches théoriques s'intéressent aux déterminants individuels et sociaux des pratiques de gestion des déchets, notamment à travers la théorie des comportements pro-environnementaux, définie comme suit : « *La théorie des comportements pro-environnementaux se concentre sur les*

facteurs qui motivent les individus à adopter des pratiques écologiques de gestion des déchets, telles que le tri. Elle met en évidence le rôle de l'éducation, de la sensibilisation, des normes sociales et des incitations économiques dans l'adoption de comportements respectueux de l'environnement » (Ajzen, 1991 ; Kollmuss et Agyeman, 2002).

Cette théorie éclaire les mécanismes psychologiques, sociaux et économiques qui sous-tendent nos comportements écoresponsables. Elle s'appuie sur la théorie du comportement d'Ajzen (1991), qui décrit le processus en trois étapes pour adopter des comportements écologiques : le comportement proprement dit, c'est-à-dire les actions concrètes que la personne entreprend pour protéger l'environnement ; les normes sociales, qui reflètent l'influence des autres et les attentes de la société ; et le contrôle, c'est-à-dire la capacité de la personne à agir en fonction de ses moyens et de son pouvoir pour réaliser ces actions écologiques. Kollmuss et Agyeman (2002) appuient cette idée en démontrant que l'éducation environnementale, la sensibilisation du public, la pression sociale, l'encouragement social et les incitations économiques sont les principaux facteurs susceptibles d'influencer favorablement l'adoption de gestes tels que le tri, la réduction des déchets et le recyclage. Ainsi, la théorie du comportement écoresponsable met en évidence les facteurs psychologiques, sociaux et économiques influençant les actions en faveur de l'environnement (Ajzen, 1991 ; Kollmuss et Agyeman, 2002). Elle souligne l'importance de la planification et de l'organisation des comportements écologiques, ce qui suggère que l'intelligence artificielle pourrait contribuer à mieux anticiper, encourager et gérer les risques liés aux pratiques de tri, de réduction et de recyclage des déchets.

Dans le secteur de la gestion des déchets, la théorie des capacités dynamiques permet d'expliquer comment les organisations peuvent intégrer l'innovation technologique pour optimiser leurs flux opérationnels et leur performance environnementale. L'IA, lorsqu'elle est appliquée selon ce cadre, devient un outil pour capter des données volumineuses, les transformer en connaissances exploitables et reconfigurer les processus de tri, de recyclage ou de traitement des matières dangereuses. Teece (2007) souligne que la valeur stratégique ne réside pas seulement dans la technologie elle-même, mais dans la capacité de

l'organisation à adapter ses routines, ses ressources et ses compétences pour exploiter pleinement le potentiel de ces innovations. Ainsi, la théorie des capacités dynamiques met en évidence la manière dont les organisations peuvent adapter leurs ressources et leurs routines pour intégrer des innovations technologiques, comme l'intelligence artificielle (Teece, 2007). Elle souligne des enjeux liés à la reconfiguration des processus et à la maîtrise des risques opérationnels, ce qui suggère que l'IA pourrait soutenir l'optimisation des flux opérationnels, l'amélioration de la performance environnementale et la gestion des risques dans le secteur des déchets.

L'énergie contenue dans les déchets est valorisée grâce à leur incinération accompagnée de récupération d'énergie. À l'échelle de l'Union européenne, les données récentes montrent qu'en 2023, 25,2 % des déchets municipaux ont été incinérés dans les pays membres, correspondant à environ 129 kg de déchets incinérés par habitant (Eurostat, 2025). Elle permet de diminuer les quantités de déchets enterrés, tout en produisant de l'énergie. Au Québec, on utilise également cette méthode, avec environ 300 000 tonnes de déchets ménagers incinérés chaque année dans des installations conçues pour générer de l'énergie. Cette technique représente une part importante des déchets traités (Recyc-Québec, 2021). Elle permet non seulement de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, mais aussi de produire de l'énergie utile aux villes et aux entreprises. Cette solution commence par susciter des interrogations par rapport à la durabilité à long terme. En ce qui concerne les déchets organiques, des méthodes telles que le compostage et la méthanisation présentent des avantages considérables. Ils permettent la réduction des émissions de gaz à effet de serre en donnant ainsi lieu aux amendements de sol de qualité (Diaz et al., 2007). Ainsi, les différentes méthodes de valorisation des déchets, qu'il s'agisse de l'incinération avec récupération d'énergie ou du traitement des déchets organiques par compostage et méthanisation, soulignent des enjeux liés à l'efficacité des processus et à la durabilité environnementale (Recyc-Québec, 2021 ; Diaz et al., 2007). Ces pratiques mettent en évidence la nécessité de maîtriser les risques opérationnels et environnementaux, ce qui suggère que l'intelligence artificielle pourrait contribuer à optimiser la gestion des flux de déchets, à améliorer la performance énergétique et à réduire les risques associés à ces procédés.

La gestion des e-déchets ou déchets électroniques constitue une façon de désigner le traitement des produits électroniques non fonctionnels, comme : les téléphones, ordinateurs, téléviseurs et autres appareils électroniques. Ces déchets sont constitués de plusieurs matériaux importants, en particulier les métaux rares. Ces matériaux peuvent parfois être récupérés et recyclés. En revanche, ils sont constitués aussi de substances nuisibles, comme le plomb et le mercure, nécessitant ainsi des méthodes de gestion particulières dans le but de diminuer l'impact sur l'environnement et protéger de façon efficace la santé publique. La collecte et le recyclage des e-déchets sont des méthodes facilitant la réduction de leur impact écologique en utilisant à nouveau les matières rares dont ils disposent (Widmer et al., 2005).

Au Québec, on constate que des initiatives coordonnées augmentent considérablement le taux de diversion des ordures. Le taux de diversion correspond au pourcentage de matières qui sont détournées de l'élimination (par recyclage, compostage ou valorisation) par rapport à la quantité totale de déchets générés, exprimé comme une proportion des déchets évités à l'enfouissement ou à l'incinération (Recyc-Québec, 2021). Ce qui apporte une crédibilité aux politiques publiques lorsqu'elles sont mises en œuvre en les rendant efficaces. Ainsi, la gestion des e-déchets met en évidence la complexité des flux de matériaux précieux et dangereux et les enjeux associés à leur collecte et leur recyclage (Widmer et al., 2005 ; Recyc-Québec, 2021). Ces pratiques soulignent la nécessité de maîtriser les risques environnementaux et sanitaires, ce qui suggère que l'intelligence artificielle pourrait contribuer à optimiser la traçabilité, le tri et la valorisation des e-déchets tout en renforçant la gestion des risques associés.

En conclusion, une gestion efficace des déchets passe par le mélange des théories et des pratiques adaptées aux communautés locales. Pour atteindre les objectifs de développement durable, on doit nécessairement adopter une approche intégrée axée principalement sur la responsabilité des producteurs, l'économie circulaire, la valorisation des ressources et des actions qui vont de pair avec la préservation de l'environnement. L'interaction entre les gouvernements, les entreprises et la population est importante pour la

construction d'un système de gestion des déchets écologique, contribuant ainsi à un futur prospère et durable pour tous.

2.2 RECENSION DES ÉCRITS

Cette partie présente le résumé des travaux liés à l'impact de l'intelligence artificielle (IA) et à ses implications dans la gestion des risques et des déchets. Elle tourne autour de trois points clés : il s'agit en premier temps de l'analyse de l'impact des technologies de l'IA sur les pratiques de gestion des risques ; en deuxième temps, des défis spécifiques liés à la gestion des déchets et en un troisième temps de l'exploration des bénéfices sociaux que l'IA peut engendrer dans ce secteur.

2.2.1 Impact des technologies de l'IA sur les pratiques de gestion des risques

L'impact des technologies d'intelligence artificielle sur les pratiques de gestion des risques prend de l'ampleur de jour en jour et ceci de façon significative. Les technologies d'IA facilitent de façon rigoureuse le processus de gestion des risques, comme l'identification et l'évaluation. Ainsi donc, elles permettent une meilleure analyse de grande masse de données avec une grande rapidité et une précision (Makridakis, 2017). L'IA contribue au développement de la gestion des risques, rendant le processus automatique. Ce qui facilite ainsi la détection efficace des risques et l'anticipation des différentes variations du marché en temps réel. Qian et al. (2022) pensent dans leurs travaux qu'il est important de faire de l'analyse prédictive afin de faciliter l'utilisation de l'IA. Ce qui faciliterait la tâche aux gestionnaires dans la prévision des événements futurs basés sur des modèles statistiques sophistiqués. Cette capacité prédictive est indispensable dans la mise en œuvre des meilleurs environnements économiques et industriels où les chaînes d'approvisionnement peuvent être affectées par une multitude de variables.

En outre, l'IA permet une gestion des risques dans le temps, constituant donc un atout indispensable aux secteurs de développement, comme la finance ou la santé. Monticcolo et al.

(2020) montre dans ces travaux que l'IA peut participer à une surveillance continue d'un système en détectant des pannes et en alertant sur le champ les responsables. Ceci permet ainsi de diminuer de façon drastique les impacts négatifs des crises potentielles. Enfin, l'IA permet de façonner la gestion des risques en tenant compte des exigences spécifiques de chaque organisation ou d'une industrie. Par exemple, Tremblay et Lafleur (2023) ont prouvé l'efficacité de l'utilisation de l'IA dans la gestion des risques sur le plan environnemental, en tenant compte des spécificités de chaque communauté locale, comme celles observées dans la gestion des déchets au Québec.

Cependant, l'intégration de l'IA dans la gestion des risques est confrontée à une multitude de défis éthiques et techniques. Zhang et al. (2019) mettent en évidence les avantages d'une approche éthique rigoureuse dans le but de diminuer les biais dans les modèles d'IA.

2.2.2 Défis spécifiques à la gestion des déchets

La gestion des déchets est une branche complexe constituée de plusieurs défis sur plusieurs plans de durabilité, de la réglementation et des technologies de traitement. L'évolution des sociétés à travers la modernisation, l'urbanisation croissante et la consommation de masse a provoqué une augmentation drastique des volumes de déchets, rendant ainsi une gestion plus complexe. Tremblay et Lafleur (2023) ont essayé de démontrer dans leurs travaux que les obstacles majeurs de la gestion des déchets dangereux et des matières recyclables résident dans les approches spécialisées et la coopération entre différents acteurs (les autorités publiques et les entreprises privées). L'un des obstacles majeurs en pleine progression pour les gestionnaires de projets est aussi la régulation. Selon Cui et al. (2020), la conformité aux normes internationales et locales exige un contrôle continu et adapté à différentes pratiques. Cette difficulté est caractérisée par l'existence de plusieurs types de déchets, rendant ainsi difficile chacune des méthodes de traitement dans l'élaboration d'une stratégie de gestion uniforme.

De plus, la gestion des déchets est menacée par des défis technologiques. Comme l'expliquent Zhang et al. (2019) dans leurs études, le fait d'adopter de nouvelles technologies (l'automatisation et l'intelligence artificielle) peut améliorer l'efficacité de la gestion des déchets. Cette adoption suscite un grand investissement et une formation appropriée du personnel. Enfin, un autre défi majeur est l'acceptabilité sociale. Des études menées par Gagnon (2021) ont montré que, lorsqu'il s'agit de l'installation de nouvelles infrastructures de traitement, on peut se confronter à une contradiction venant des communautés locales qui pensent aux différents impacts sur l'environnement et la santé. Cette opposition mérite de façon indispensable une approche participative et transparente de la part de différents dirigeants et des entreprises afin de faciliter l'acceptation des projets.

2.2.3 Bénéfices sociaux de l'IA dans la gestion des déchets

L'intelligence artificielle apporte beaucoup d'avantages importants dans la gestion des déchets, surtout sur le plan social. Il s'agit entre autres de l'efficacité des plans de gestion et de diminuer l'impact environnemental, profitant directement aux communautés. L'IA participe à la bonne collecte et à l'analyse des données dans ce secteur. Ce qui facilite de façon significative la prise de décisions. Selon Tremblay et Lafleur (2023), l'intégration de l'IA dans la collecte permet non seulement la réduction des coûts opérationnels, mais aussi de diminuer les quantités de gaz à effet de serre, permettant donc une grande lutte contre le changement climatique.

Par ailleurs, l'IA permet de renforcer l'éducation et la sensibilisation des populations sur l'importance du tri et du recyclage des déchets. Plusieurs technologies liées à l'IA facilitent la tâche aux utilisateurs en les guidant sur la façon dont on peut trier efficacement les déchets. Ce qui accroît ainsi la proportion de matière recyclée tout en minimisant les erreurs de tri qui pourraient contaminer des lots de recyclables. Zhang et al. (2019) ont montré que l'intégration de l'IA dans les projets communautaires contribue à une grande augmentation de la participation des populations aux différents programmes de recyclage, solidifiant ainsi le lien entre les individus et la gestion durable des déchets.

Enfin, l'IA peut constituer un outil technologique indispensable à l'amélioration des conditions de travail dans le secteur de la gestion des déchets. Les systèmes automatisés liés à l'IA faciliteront l'exécution des tâches critiques ou les plus répétitives, diminuant donc plusieurs risques de blessures tout en renforçant la sécurité au travail. Gagnon (2021) note dans son travail que cette automatisation participe efficacement à la protection des travailleurs en optimisant un grand niveau de traitement des déchets.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Il est important de procéder au recueil des données sur le terrain en ayant une bonne méthodologie de recherche (Thiéart, 2014). Dans le cadre de cette recherche, la méthodologie de recherche est basée sur une approche ou une démarche bien organisée et claire. Cette démarche vise essentiellement à crédibiliser les résultats obtenus dans l'étude de l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques dans le secteur des déchets. La méthodologie est constituée de plusieurs points clés. Il s'agit, entre autres, de : (1) l'approche qualitative, (2) la population ciblée, l'échantillon, (3) le mode de collecte des données, (4) la grille opérationnelle des principaux concepts, (5) l'analyse des résultats et (6) les considérations éthiques.

3.1 POSTURE ÉPISTÉMOLOGIQUE

Cette recherche s'inscrit dans une approche épistémologique « constructiviste » (Thiéart, 2014 ; Creswell, 2013 ; Patton, 2015). En effet, selon cette théorie, la réalité sociale n'est pas un concept unidimensionnel et immuable, mais plutôt le fruit des interactions, des perceptions et des expériences subjectives des personnes concernées. On considère donc les phénomènes étudiés comme des constructions subjectives qui reflètent la complexité et la richesse des pratiques observées (Glaser et Strauss, 1967 ; Miles et al., 2014).

Cette approche consiste à analyser les résultats de la recherche en mettant l'accent sur la signification que les participants donnent à leurs expériences. Il faut que les spécialistes comprennent et analysent ces significations (Kvale et Brinkmann, 2015 ; Braun et Clarke, 2006). Les chercheurs se concentrent sur la richesse et la variété des données qualitatives, comme les entretiens et les observations, pour capturer les différents aspects de la réalité sociale.

En conséquence, cette étude utilise une méthodologie flexible et adaptée aux particularités des groupes ciblés, s'éloignant d'une approche entièrement normalisée ou quantitative (Leung, 2015 ; Thiétart, 2014). Ce positionnement permet de saisir les subtilités et les nuances des réalités sociales tout en garantissant la rigueur nécessaire à l'analyse qualitative.

3.2 APPROCHE QUALITATIVE

Les recherches dans le domaine de la gestion sont souvent menées entre deux approches : l'approche qualitative et l'approche quantitative. Pour utiliser une approche, le chercheur se base sur les différents objectifs qu'il souhaite atteindre dans le cadre de son étude. Par ailleurs, ils peuvent aussi tenir compte des paramètres comme la nature de la recherche, le caractère objectif ou subjectif des résultats et la direction de l'étude (Thiétart, 2014). Dans le cadre de cette étude, l'utilisation de l'approche qualitative devient importante à cause de l'objectif de l'étude qui vise à comprendre les différentes perceptions, les expériences vécues par les acteurs impliqués dans la gestion des déchets et les nouvelles technologies, comme l'intelligence artificielle.

Comme l'indiquent les travaux de Thiétart et al. (2014), l'approche qualitative permet d'étudier des phénomènes complexes. Cette approche nous donne beaucoup de possibilités pour analyser les dynamiques et les contextes spécifiques qui influencent un domaine d'étude. Avec cette approche, le chercheur peut analyser les informations avec une souplesse donnée. Cette méthode permet d'aller au-delà des données quantitatives et d'avoir une meilleure compréhension de la façon dont l'IA participe à la transformation des pratiques de la gestion des risques dans le secteur de la gestion des déchets. Ainsi, l'étude cherche à mettre en lumière les impacts réels de l'IA sur le processus de gestion des risques en contexte de gestion des déchets. L'un des avantages d'une analyse qualitative, selon Thiétart (2014), est que le chercheur peut ainsi ajuster la question de recherche au cours de ses investigations sur le terrain dans le but de faire correspondre les résultats au sujet d'étude. Cette analyse est fondée sur un cadre méthodologique rigoureux et structuré, tel que préconisé par Thiétart

(2014). Bien qu'un cadre méthodologique structuré assure la cohérence et la fiabilité des observations, une application trop rigide pourrait limiter la compréhension de la complexité et de la richesse des réalités sociales, dimensions essentielles dans une approche qualitative (Thiétart, 2014).

3.3 POPULATION CIBLÉE ET ÉCHANTILLON

Un échantillon est : « *un sous-ensemble d'éléments tirés d'un ensemble plus vaste appelé population* » (Thiétart, 2014). La population ciblée dans cette recherche est composée de différents acteurs dans le domaine de la gestion des déchets au Québec. Ces différentes personnes peuvent exercer dans le secteur public, privé ou associatif. Cette diversité d'intervenants est importante parce qu'elle permet d'avoir une multitude de perspectives et d'enjeux relatifs à l'application de l'intelligence artificielle dans le domaine de la gestion des déchets.

D'après les informations recueillies dans la base d'iCRIQ (2023), il existe 112 entreprises³ au Québec ayant un code SCIAN débutant par 562. Ce code correspond au secteur de la gestion des déchets et de l'assainissement. Il faut noter que cette base constitue une source fiable pour identifier les entreprises au Québec. SCIAN (Système de classification des industries de l'Amérique du Nord) est une norme que les entreprises utilisent en Amérique du Nord pour classer les entreprises compte tenu de leurs secteurs d'intervention. Cette classification a permis d'identifier facilement les entreprises ou établissements intervenant dans la gestion des déchets, donnant ainsi un appui fondamental à cette étude.

Le choix de cette population d'étude est effectué en fonction du fait que chaque intervenant joue un rôle dans la gestion des déchets. La diversité des perspectives permet de

³ Technologique, I. Q. (2023). *iCRIQ*. Investissement Québec — accompagnement technologique. Consulté

25 juillet 2025, à l'adresse <https://innovation.investquebec.com/icriq>

mieux comprendre les enjeux, les opportunités et les obstacles à l'adoption de l'IA dans le secteur.

Le tableau 1 présente le profil des personnes qui ont accepté de participer à notre recherche :

Tableau 1 : Profils des participants (données anonymisées)

Numéro	Poste	Genre	Expérience (ans)	Secteur d'activité	Type d'organisation
1	Directeur général d'un centre de tri de matières recyclables	Homme	6	Recyclage, gestion des déchets	Entreprise privée
2	Directrice des ressources humaines	Femme	16	Recyclage, gestion des risques	Entreprise privée
3	Responsable de la gestion d'un écocentre et d'un centre de tri	Femme	25	Recyclage, gestion des déchets	Organisation municipale
4	Directeur des opérations	Homme	3,5	Lieu d'enfouissement, gestion des déchets	Entreprise privée
5	Chargée de projets corporatifs	Femme	4,5	Recyclage, robotisation	Entreprise privée
6	Directeur principal, Innovation et Technologie	Homme	25	Valorisation des matières résiduelles	Organisation parapublique
7	Directeur des ventes au service de réemploi	Homme	10	Réemploi, secteur culturel	Entreprise privée
8	Directeur des opérations dans un centre de tri	Homme	14	Recyclage, intégration sociale	Organisation d'économie sociale
9	Président-directeur général	Homme	20	Recyclage, gestion des déchets	Entreprise privée

Dans cette étude, l'échantillonnage ayant permis de sélectionner les personnes est appelé : « *échantillonnage par choix raisonné* ». Un échantillon de neuf personnes est

sélectionné en fonction de leur expérience ou de leurs connaissances dans les domaines de la gestion des déchets, de la gestion des risques et des nouvelles technologies, comme l'intelligence artificielle. L'objectif final est de s'assurer de la représentativité de l'échantillon par rapport aux différents acteurs intervenants. Dans une démarche qualitative, ce type d'échantillonnage vise également à atteindre la saturation des données. Elle représente la période où les nouvelles entrevues n'apportent plus d'informations supplémentaires significatives, confirmant ainsi que les thèmes principaux sont largement abordés (Glaser et Strauss, 1967).

La démarche de sollicitation s'est déroulée en plusieurs étapes. Mon directeur de recherche m'a d'abord transmis le contact de la chargée des ressources humaines d'une société spécialisée dans la gestion des déchets. Après un premier échange, un rendez-vous est fixé, ce qui a permis de lancer le processus de recrutement des participants. Par la suite, cette personne, ainsi que d'autres répondants rencontrés, m'ont recommandé à de nouveaux acteurs pertinents. Ce processus correspond à la technique de la boule de neige, où chaque participant met le chercheur en relation avec d'autres personnes susceptibles de contribuer à l'étude.

Les prises de contact se sont faites principalement par courriels, appels téléphoniques et visioconférences avec des suivis lorsque nécessaire pour confirmer la disponibilité des participants. Les entrevues sont ensuite réalisées en présentiel ou en ligne selon la disponibilité de chacun des répondants. Cette stratégie progressive, amorcée grâce au contact initial fourni par mon directeur de recherche et consolidée par le recours à la technique de la boule de neige, permet de constituer un échantillon diversifié et pertinent pour répondre aux objectifs de recherche.

3.4 MODE DE COLLECTE DES DONNÉES

Il existe plusieurs techniques pour collecter les données. Dans le présent travail, l'entretien semi-directif est utilisé. Ce mode de collecte de données est choisi à cause de sa pertinence et de sa rigueur. Selon Kvale et Brinkmann (2015), les entretiens semi-directifs ont pour ambition d'analyser les points de vue des participants de manière structurée et avec une bonne organisation. Ils offrent aux participants la possibilité d'exposer leurs points de vue en toute liberté, de relater les faits en fonction de leurs avis personnels tout en abordant les points centraux du thème d'étude, comme : l'intégration de l'intelligence artificielle, la gestion des risques et les défis technologiques.

Par ailleurs, Miles et al. (2014), dans leurs travaux, ont cette manière de collecter les données qui permet d'avoir des informations riches avec beaucoup de détails en maintenant un équilibre, renforçant ainsi la qualité de l'étude. Patton (2015) souligne que les entretiens semi-directifs permettent non seulement d'analyser des informations complexes de manière approfondie, mais aussi d'orienter l'investigation vers des thèmes précis tout en offrant aux participants une grande liberté d'expression.

Dans le cadre de cette étude, une entrevue est menée en tenant compte de la disponibilité des participants ou de leurs préférences entre la visioconférence et la rencontre en personne. Avant le début d'enregistrement, on s'assure que l'intervenant donne son consentement. Toutes les phases d'entretien ont une durée entre 45 et 1 h au maximum. Le respect du temps consacré à l'entrevue favorise la qualité des échanges.

3.5 GUIDE D'ENTRETIEN

Un guide d'entretien (voir annexes) comportant des questions ouvertes est conçu pour analyser la perception des différents risques associés à l'intégration de l'IA dans la gestion des déchets, les différents avantages qui sous-tendent cette nouvelle technologie, les obstacles affrontés lors de son adoption et les stratégies mises en place pour surmonter ces obstacles.

Par ailleurs, afin d'assurer la validation du guide d'entretien, il est soumis à l'appréciation de Simon Paré-Poupart, auteur du livre *Ordures !*⁴ (Lux Éditeur). Il est titulaire d'un baccalauréat en sociologie et en psychologie de l'Université de Montréal, ainsi que d'une maîtrise en administration internationale de l'École nationale d'administration publique (ENAP). Cette personne possède une expertise et une expérience dans le domaine de la gestion des déchets. Elle a ainsi révisé et rectifié certaines parties du guide d'entrevue. Sa relecture permet de bonifier le guide et d'apporter des ajustements, notamment sur certaines formulations de questions, afin d'assurer leur clarté et leur pertinence scientifique. Ce guide sert de fil conducteur tout en offrant aux participants la liberté de s'exprimer.

Enfin, une approche souple est adoptée lors de la collecte des données de cette entrevue. Les échanges se sont appuyés sur une écoute attentive et sur la liberté du participant de partager son point de vue sur les questions qui lui sont posées.

⁴ Paré-Poupart, S. (2024). *Ordures! : Journal d'un vidangeur*. Lux éditeur. <https://banq.prenumerique.ca/accueil/isbn/9782898331534>

3.6 ANALYSE DES RÉSULTATS

Pour examiner les résultats de cette étude, les entretiens sont enregistrés sous forme numérique. Ensuite, chaque fichier audio est converti en texte dans un document Word, en respectant les règles de confidentialité. Par ailleurs, les transcriptions sont importées sur le logiciel NVivo 14 et codifiées. Une analyse minutieuse de tous les thèmes récurrents est effectuée dans le but de mettre en évidence les divergences dans les réponses des participants. Les données collectées lors de ces différentes entrevues sont interprétées et analysées suivant la méthode inductive et une approche de codage thématique⁵. Les thèmes les plus importants sont retenus et regroupés en différentes catégories. Cela permet de répondre aux objectifs de recherche et d'expliquer la perception des intervenants quant à l'influence de la transformation de l'IA sur la gestion des risques dans le secteur des déchets. L'analyse est menée en plusieurs étapes : le codage initial, la catégorisation et l'interprétation.

La codification des entrevues consiste à associer à chaque question des nœuds grands-parents, ce qui correspond à un grand thème. Chaque nœud représentant un grand-parent incarne les notions centrales de la question et les indicateurs quantifiables qu'elle permet d'évaluer. Pendant l'analyse des résultats, chaque grand-parent (grand thème) est divisé en un ensemble de nœuds parents (thèmes) qui sont, eux-mêmes, divisés en nœuds enfants (sous-thèmes). Cette étape sert de point de départ pour organiser les données selon l'approche de Saldaña (2009).

Ensuite, Miles et al. (2014) ont démontré dans leurs travaux qu'on peut catégoriser les différents codes en les regroupant autour de thèmes plus larges. Ceci permet ainsi d'accroître le développement des schémas et des relations importantes entre les données.

⁵ Denis, J., Guillemette, F. et Luckerhoff, J. (2019). Introduction : les approches inductives dans la collecte et l'analyse des données. *Approches inductives*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.7202/1060042ar>

La figure 2 présente une capture de notre travail de codage dans le logiciel NVivo 14, afin de vous donner une idée des nœuds qui sont utiles.

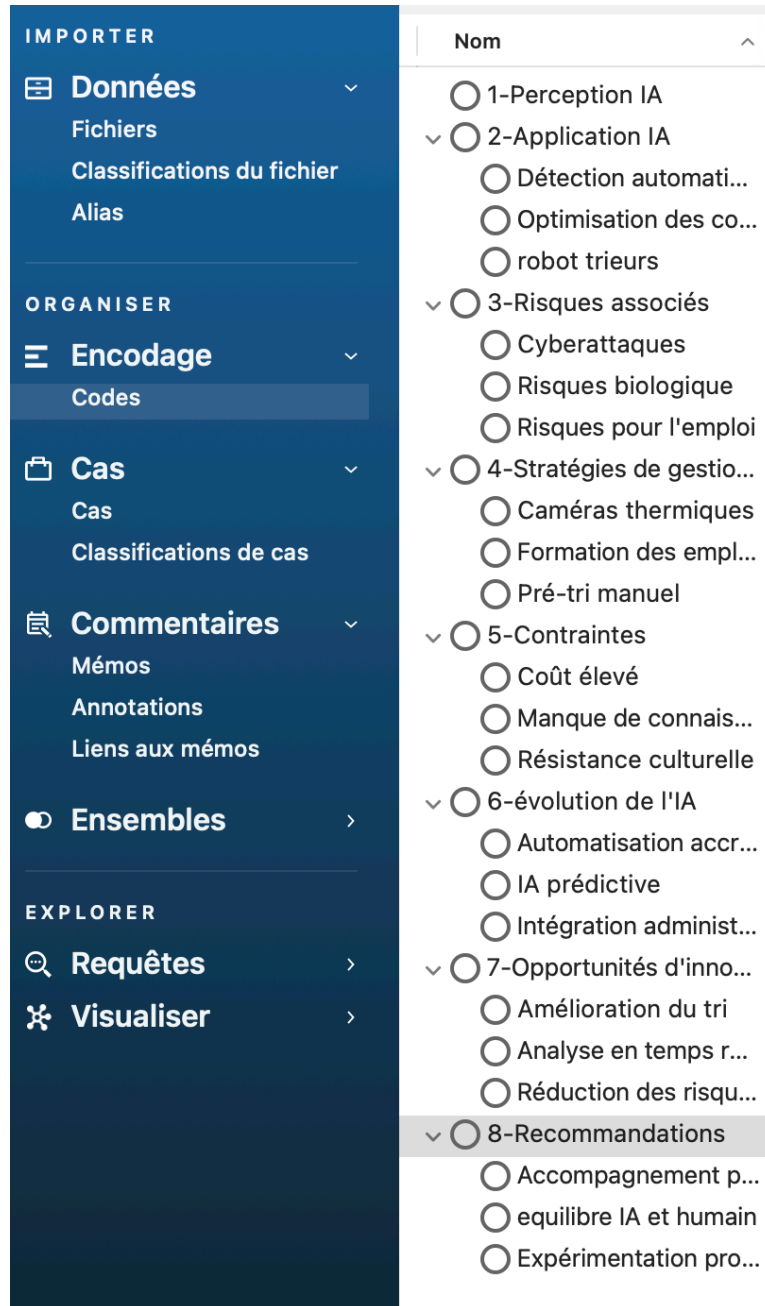


Figure 2 : Nœuds utilisés pour le codage des entretiens, NVivo 14

Enfin, la dernière étape est celle de l'interprétation. Elle a permis l'analyse des thèmes pour les tendances en développement et contribué à tirer des conclusions en lien avec les différentes questions de recherche. Selon les recommandations de Braun et Clarke (2006), elle permet une compréhension plus profonde des différents phénomènes étudiés.

3.7 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

La méthode de collecte de données choisie est l'entretien individuel. Selon Thiétart (2014), il est important de faire une demande d'autorisation du comité d'éthique pour effectuer une recherche, car ce certificat représente un engagement profond des personnes responsables de la recherche à respecter les données privées des répondants, comme leurs caractéristiques socio-démographiques, ainsi que les pratiques internes des sociétés qui travaillent avec eux. Le certificat d'éthique représente un engagement solennel du chercheur au respect des informations privées des répondants, telles que le nom, l'âge, la profession, ainsi que les pratiques internes des entreprises avec lesquelles ils travaillent. Le certificat constitue également un atout pour assurer aux répondants la préservation et la confidentialité des sources de données, telles que les notes et les enregistrements. En effet, ce projet de recherche a reçu un certificat d'éthique (#Projet : 2025-685) du Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (*voir annexe*).

En outre, les participants à l'étude ont clairement et librement consenti à y prendre part, en signant une formule de consentement éclairé dans laquelle ils acceptent de répondre aux questions posées par le chercheur. La protection de la confidentialité, le respect du consentement éclairé et la sécurité des données des participants sont des préoccupations majeures dans le cadre de cette recherche. Selon les directives éthiques actuelles, toutes les personnes participant à l'étude sont renseignées sur le but de la recherche, les méthodes de recueil des données et leur droit à la protection de la vie privée et à l'anonymat. Un consentement éclairé écrit sera exigé avant le début de l'entretien et les participants sont libres de se retirer de l'étude à tout moment, sans crainte de conséquences (OHRP, 2010).

CHAPITRE 4

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Ce projet de recherche a obtenu l’approbation éthique du comité d’éthique de la recherche de l’Université du Québec à Rimouski (UQAR). Ce comité s’assure que les projets de recherche impliquant des êtres humains se conforment aux principes éthiques fondamentaux. Le projet a pour but d’analyser *l’influence de l’IA sur la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec*. On dénombre 112 entreprises ayant un code SCIAN commençant par 562 pour l’ensemble des régions du Québec. Ces codes correspondent aux diverses entreprises exerçant dans la gestion des déchets et de l’assainissement au Québec (iCRIQ, 2023). Cette problématique est d’une importance croissante et demeure hautement pertinente.

Pour ce faire, à partir d’une analyse littéraire effectuée de façon approfondie sur l’intelligence artificielle, la gestion des risques et des déchets, une grille d’entrevue semi-dirigée est élaborée. Cette grille a fait l’objet d’une analyse d’un expert du domaine de la gestion des déchets. Ensuite, neuf entrevues sont réalisées entre février et avril 2025 auprès de plusieurs acteurs ; il s’agit entre autres des gestionnaires, ingénieurs, responsables opérationnels et consultants intervenants dans différents types d’organisation (centres de tri municipaux, entreprises privées, organismes à but non lucratif).

Selon la disponibilité des participants, les entrevues sont réalisées de façon individuelle, à distance ou en présentiel. Chaque entretien est enregistré avec le consentement préalable des personnes qui sont interrogées. En plus, elles sont entièrement retranscrites en un format numérique dans le but de garantir les règles de confidentialité des données qui sont anonymisées avant l’analyse. Par ailleurs, le logiciel d’analyse des données qualitatives NVivo 14 sert à l’analyse des données qui sont codifiées et traitées manuellement en utilisant une approche d’analyse thématique inductive. Finalement, l’analyse du contenu permet d’apprécier l’impact de l’intelligence artificielle dans la

gestion des risques dans le secteur des déchets et de répondre à la question principale de la recherche et aux questions subsidiaires.

L'analyse des entrevues permet de dégager huit grands thèmes, chacun décliné en sous-thèmes illustrant la diversité des perspectives exprimées. Ces thèmes sont les suivants : (1) la perception globale de l'intelligence artificielle, (2) ses applications concrètes dans la gestion des déchets, (3) les risques associés, (4) les stratégies actuellement mises en place pour gérer ces risques, (5) les contraintes d'ordre structurel et organisationnel, (6) les projections concernant l'évolution de l'IA, (7) les opportunités d'innovation et de transformation durable grâce à l'intégration de l'IA dans le secteur des déchets et (8) vers une nouvelle gouvernance des risques par l'IA : les recommandations formulées par les répondants.

L'analyse de ces thématiques donne un éclairage sur les dynamiques en cours et apportera une réponse à la question centrale de recherche. Le présent chapitre donne des détails et des explications approfondies sur les thèmes abordés, en s'appuyant sur des extraits révélateurs d'entretiens.

4.1 PERCEPTION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PAR LES ACTEURS DU SECTEUR DES DÉCHETS

Ce chapitre met en évidence la diversité des perceptions que les intervenants du secteur des déchets ont sur l'intelligence artificielle. Il présente d'abord les connaissances générales sur l'IA. Ensuite, il décrit comment l'IA est perçue comme un levier de modernisation. Puis, il parle d'elle comme d'une technologie marginale, mais prometteuse et enfin, il explique en quoi elle pourrait représenter une aide et non une menace.

4.1.1 Connaissance générale de l'IA

La totalité des participants [#1 à #9] connaissent l'existence de l'intelligence artificielle, bien que leur niveau de compréhension varie. Pour certains participants [# 2,

#4, #8], l'IA est perçue comme un système d'apprentissage autonome à partir de données⁶. Ce qui corrobore la proposition de définition de Makridakis (2017), qui décrit l'IA comme un outil démontrant la capacité d'un système à apprendre de l'expérience et à s'adapter à de nouvelles informations. Pour les participants [# 3, #6], l'IA demeure une « *boîte noire* »⁷ encore un peu floue. Cette perception rejoint les analyses de LeCun et al. (2015), qui, dans leurs travaux, parlent de la manière dont les réseaux de neurones profonds restent difficiles à interpréter. De même, Makridakis (2017) indique que l'opacité des systèmes d'IA peut participer au renforcement des incertitudes quant à leur compréhension et leur acceptation. Malgré ces oppositions de point de vue, il faut rappeler qu'eux tous pensent qu'il s'agit d'une technologie à fort potentiel pour leurs secteurs de travail. C'est ce que montrent les propos des participants qui rapportent que :

« L'intelligence artificielle est une aide pour accomplir certaines tâches automatiquement, à partir d'un moteur qui accumule de l'expérience » (Entrevue #2).

« On entend beaucoup parler, mais on ne sait pas toujours ce qu'il y a derrière ». (Entrevue #6).

Ces propos montrent que les participants possèdent une compréhension générale de l'intelligence artificielle et des objectifs de l'étude. Cette diversité de perceptions reflète un secteur en pleine transition technologique. On observe une évolution rapide des technologies ainsi que leur appropriation complète par les acteurs du milieu.

⁶ Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>

⁷ LeCun, Y., Bengio, Y., et Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

4.1.2 IA perçue comme un levier de modernisation

Malgré certaines zones d'ombre dans la compréhension technique de l'IA, tous les participants la perçoivent comme un enjeu potentiel pour moderniser les différentes pratiques. On associe souvent l'intelligence artificielle à des compétences en matière d'automatisation, d'optimisation des procédures et d'amélioration opérationnelle de la sécurité. À ce propos, des répondants rapportent que :

« Pour nous, l'IA, ce serait un moyen de gagner en efficacité. Moins de tri manuel, moins d'erreurs » (Entrevue #4).

« Ce que je vois, c'est que ça pourrait aider à détecter les anomalies plus vite » (Entrevue #8).

Ces résultats viennent confirmer la littérature. En effet, plusieurs travaux identifient l'IA comme un outil capable d'apporter une contribution dans les secteurs exposés à un risque croissant. Huang et Rust (2018) pensent que l'IA contribue à une automatisation des tâches complexes et de manière significative à l'optimisation des processus de décision. Ce qui permet ainsi une réduction des erreurs humaines. Fang et al. (2023), pour leur part, soulignent que l'intégration de l'IA dans la gestion des déchets renforce la sécurité et active efficacement la gestion des risques.

4.1.3 Technologie encore marginale, mais prometteuse

Plusieurs répondants [# 1, #3, #5, #7] soulignent que l'IA n'est pas encore très présente dans leurs installations ou dans leurs procédures institutionnelles. Cela s'explique et se justifie par le fait que, sur le plan financier, technique ou organisationnel, il constitue encore beaucoup d'obstacles, notamment à cause du manque d'expertise interne, du manque d'impact sur le système existant, du manque de temps ou d'autres priorités. Ces observations concordent avec les travaux de Fang et al. (2023), qui soulignent que l'emploi de l'IA dans la gestion des déchets reste freiné par des obstacles financiers, technologiques et organisationnels. Malgré ces défis, les répondants [# 2, #4, #6, #8, #9] affirment que

l'intégration de l'IA est presque impossible à éviter à court ou à long terme. C'est ce qui justifie les propos des participants qui rapportent que :

« Pour l'instant, c'est [surtout manuel]. Mais je pense que, dans 5-10 ans, ce sera très différent » (Entrevue #1).

« C'est encore nouveau pour nous, mais c'est sûr que ça va prendre plus de place » (Entrevue #3).

Ces affirmations montrent qu'il y a une tendance à privilégier l'évolution progressive de pratiques actuelles.

4.1.4 Représentation de l'IA comme aide et non comme une menace

À rebours des discours parfois alarmistes qui prédisent la substitution de l'humain par des machines, les répondants ont une perception beaucoup plus avancée et nette de l'IA. Pour les répondants [# 7 et #9], elle ne devrait pas être vue comme une menace, mais plutôt comme un outil complémentaire au travail humain. Par exemple, des répondants répondent que :

« Ce serait une aide, pas un remplacement. Il faut toujours un humain derrière » (Entrevue #7).

« L'IA, c'est comme un assistant très intelligent. Mais il ne faut pas s'en remettre entièrement » (Entrevue #9).

Les travaux proposés par Huang et Rust (2018) ont permis de considérer une intelligence artificielle comme un moyen de soutien aux travaux d'un être humain et non comme un remplaçant. Il plaide pour une approche collaborative entre humain et machine. Ce qui met en avant un modèle d'intégration basé sur la complémentarité plutôt que la concurrence.

4.2 APPLICATIONS CONCRÈTES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA GESTION DES DÉCHETS

Ce chapitre met en lumière les applications majeures de l'intelligence artificielle dans le domaine de la gestion des déchets. Il aborde la façon dont l'IA participe à une automatisation du tri des matières, ensuite comment elle permet une détection d'anomalies, la maintenance prédictive et l'optimisation de la logistique des collectes.

4.2.1 Automatisation du tri des matières

Plusieurs participants [# 1, #3, #4, #6, #8] affirment que, dans les processus de tri, l'intelligence artificielle est déjà intégrée ou utilisée, notamment grâce à l'installation de robots trieurs et de capteurs visuels intelligents capables de reconnaître les matières recyclables. Ces remarques convergent avec les travaux de Fang et al. (2023), qui expliquent comment l'IA a un impact sur la qualité, la précision du tri et la réduction des taux de contamination. En guise d'illustration, les répondants affirment que :

« Des robots trieurs utilisant de l'IA commencent à être implantés dans certains centres, surtout là où il y a de gros volumes » (Entrevue #4).

« C'est surtout dans les grands centres que tu vois ces machines. Elles remplacent partiellement le tri manuel » (Entrevue #6).

Ces éléments permettent de diminuer les erreurs humaines, d'augmenter la vitesse des différentes opérations et d'améliorer la sécurité des travailleurs ; ceci rejoint les analyses de Huang et Rust (2018) sur la transformation numérique des professions.

4.2.2 Détection d'anomalies et maintenance prédictive

Certains participants [# 2, #5 et #7] mentionnent l'existence de divers projets pilotes ou de réflexions en cours sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour détecter les pannes d'équipement à l'avance et y remédier le plus rapidement possible avant qu'un incident ne se produise. Dans ses recherches, Makridakis (2017) met en avant que la

combinaison de l'intelligence artificielle et de l'Internet des objets facilite un passage vers une maintenance prédictive. Cette méthode participe à la réduction des dépenses associées qui ne sont pas prévues tout en assurant de façon optimale la sécurité et la performance des opérations. Elle repose aussi sur une analyse approfondie en temps réel des informations recueillies par des capteurs, permettant ainsi de faire une anticipation sur les dysfonctionnements avant qu'ils ne deviennent critiques. À cet égard, plusieurs répondants soulignent que :

« On pense que l'IA peut servir à prévenir les bris, surtout sur les convoyeurs et les presses » (Entrevue #7).

« L'idée, ce serait d'anticiper les problèmes mécaniques en lisant les données de vibration ou de température » (Entrevue #5).

Ces récits mettent en évidence l'importance cruciale de l'intelligence artificielle dans la maintenance prédictive. En effet, sa capacité à analyser en temps réel de vastes quantités de données opérationnelles lui permet d'anticiper les pannes des équipements et de minimiser les interruptions inattendues des systèmes de gestion des déchets. Ces résultats corroborent les travaux de Makridakis (2017) et de Huang et Rust (2018), qui mettent en évidence l'importance d'une intégration planifiée entre l'homme et la machine pour maximiser les avantages. Bien que les témoignages montrent que cette perception est positive, il est important de noter que les usages associés ne sont pas encore entièrement maîtrisés et sont inégalement répartis. Cependant, les restrictions organisationnelles et techniques identifiées dans nos résultats indiquent que cette transition nécessite un soutien stratégique pour être pleinement efficace.

4.2.3 Optimisation logistique et planification des collectes

L'IA commence déjà par être perçue comme un outil potentiel permettant d'optimiser la logistique notamment. Elle pourrait servir à l'adaptation de la collecte des déchets par rapport au contexte météorologique, à la densité de population ainsi qu'aux jours fériés. Ce type d'approche, ayant les mêmes types de caractéristiques que les « villes

intelligentes », est défendu Fang et al. (2023) dans leurs travaux comme un moyen de rendre plus efficaces et durables les services urbains. À ce sujet, certains participants mentionnent que :

« Avec de bons modèles, on pourrait planifier nos collectes selon la météo, les jours fériés ou la densité de population » (Entrevue #8).

« Si l'IA peut nous dire quand sortir les camions pour éviter les engorgements, c'est un gain énorme » (Entrevue #3).

Les avantages attendus de l'IA corroborent les recherches de Geissdoerfer et al. (2017), qui montrent que l'optimisation algorithmique des transports urbains participe à la réduction de l'empreinte carbone tout en facilitant une gestion optimale des ressources. Ces conclusions vont dans le même sens que celles de Huang et Rust (2018), qui soulignent l'importance d'une planification soignée de l'intégration de l'IA. Toutefois, la mise en œuvre est conditionnée par les compétences techniques et organisationnelles.

4.3 PERCEPTION DES RISQUES DANS LA GESTION DES DÉCHETS

Cette section met en évidence les principaux risques que rencontrent les intervenants dans l'industrie des déchets. Elle présente également les risques fréquemment rencontrés, les mesures de prévention existantes et la contribution éventuelle de l'intelligence artificielle à l'identification anticipée des risques.

4.3.1 Risques fréquemment rencontrés

L'ensemble des répondants ont indiqué qu'il existe plusieurs risques dans les pratiques de gestion des déchets. Parmi tous ces risques, les plus cités sont les risques d'incendie causés par la présence des piles au lithium, les blessures liées à la manipulation d'objets lourds ou tranchants et l'exposition à des substances chimiques ou biologiques. Le tableau suivant présente les risques fréquemment rencontrés par les répondants.

Tableau 2 : Synthèse des principaux risques identifiés par les répondants

Types de risques	Description	Numéros d'entrevue	Citations représentatives
Incendie	Risques liés à la présence de piles au lithium et d'autres matériaux inflammables.	[# 2, #5, #8]	<i>« On a déjà eu des débuts d'incendie à cause de batteries mal triées » (Entrevue #5)</i>
Physiques	Coupures, chutes, blessures causées par des objets lourds ou tranchants.	[# 1, #2, #6, #9]	<i>« Il y a beaucoup de risques physiques : chutes, coupures, exposition aux différents produits dangereux » (Entrevue #2)</i>
Chimiques/ Biologiques	Exposition à des substances dangereuses ou biologiques.	[#3, # 7]	<i>« Certains déchets contiennent des substances qui peuvent être dangereuses pour la santé » (Entrevue #7)</i>

Ces différents risques, étant divers et imprévisibles, sont souvent provoqués par des déchets entrants. Widmer et al. (2005) pensent que plusieurs environnements difficiles et incertains, comme les centres de tri, augmentent la possibilité et l'impact des risques. Ceci corrobore avec les observations selon lesquelles plusieurs participants pensent qu'il est important de faire une surveillance renforcée et adaptée. Selon Geissdoerfer et al. (2017), une gouvernance adaptative est indispensable dans la gestion des risques au niveau industriel. Nos résultats confirment cette approche : la reconnaissance par les acteurs des différents types de risques montre qu'une gestion efficace doit inclure des stratégies préventives, une formation continue et l'intégration d'outils technologiques, comme l'IA, pour anticiper et minimiser ces risques. Les environnements marqués par la complexité et l'incertitude sont essentiellement les centres de tri. Ce constat rejoint également les travaux de Geissdoerfer et al. (2017), qui mettent en évidence l'importance d'une gouvernance adaptative des risques industriels.

4.3.2 Sensibilité et prise de conscience des risques

Les intervenants accordent une grande importance à la gestion des risques. Cette sensibilité est renforcée par l'expérience vécue de situations dangereuses ou d'accidents survenus dans leurs installations. Toutefois, certains répondants [# 6 et #9] ont mis en

évidence une tendance à la banalisation des dangers quotidiens dans les routines opérationnelles. Dans le même ordre d'idées, des participants expriment que :

« À force de vivre avec, on oublie parfois à quel point ça peut être dangereux » (Entrevue #9).

« Les nouveaux employés sont souvent surpris par le niveau de danger » (Entrevue #6).

Les recherches de Reason (1997) montrent que l'être humain demeure un élément central dans les processus d'identification et de gestion des risques, puisque c'est lui qui perçoit, analyse et réagit face au danger dans un milieu opérationnel. Bien que les travaux soient anciens, ils demeurent pertinents. L'IA améliore la détection et l'analyse des risques, mais elle ne remplace pas le jugement humain. Les professionnels restent essentiels pour interpréter, décider et superviser les systèmes intelligents. Nos résultats confirment cette observation : quelques répondants [# 6, #9] insistent sur le rôle clé de l'expérience et de l'attention humaines pour prévenir les incidents. Cependant, ces mêmes répondants soulignent que la répétition des tâches peut entraîner une forme de désensibilisation. Cette situation illustre bien la notion de « *normalisation du danger* » décrite par Reason (1997), selon laquelle la perception du risque diminue graduellement à mesure que les individus y sont exposés de façon répétée. Cette banalisation perceptible lors de nos entretiens met en exergue qu'au-delà des processus, un suivi régulier, soutenu par la formation et la sensibilisation, est crucial pour maintenir un niveau élevé de sécurité.

4.3.3 Dispositifs actuels de prévention

D'une organisation à une autre, les mesures de prévention des risques varient et reposent généralement sur la formation initiale et continue, l'établissement de protocoles sécuritaires, le port obligatoire d'Équipements de Protection Individuelle (EPI). Par ailleurs, il faut ajouter des initiatives de sensibilisation, telles que les affichages et rappels réguliers. La formation est un élément crucial pour développer et maintenir les compétences en gestion des risques, notamment pour établir des protocoles stricts de manipulation et d'élimination des déchets. Le port d'EPI nécessite un suivi constant et aide

à protéger contre plusieurs types de risques, comme physiques, chimiques et biologiques. Les dispositifs de sensibilisation renforcent l'attention et la culture de sécurité. Ces différentes observations confirment les travaux de Huang et Rust (2018) et ceux de Ghadimi et al. (2012) sur la régulation comportementale dans des environnements à haut risque ainsi que les travaux de Rust (2018) sur l'importance d'une culture de sécurité forte. Dans ce contexte, l'intelligence artificielle apparaît comme un outil complémentaire permettant de soutenir ces pratiques : elle peut, par exemple, détecter automatiquement les écarts de conformité, analyser les comportements à risque ou signaler les oublis liés au port d'EPI. Ainsi, l'IA ne remplace pas les dispositifs de prévention existants, mais elle renforce les capacités humaines en contribuant à une application plus cohérente et plus proactive des mesures de sécurité. À la lumière de ces constats, certains participants avancent que :

« On mise beaucoup sur la formation continue et les *breffages* quotidiens⁸ ou réunions de sécurité » (Entrevue #3).

« Le port des EPI est obligatoire, mais il faut sans cesse le rappeler » (Entrevue #8).

Néanmoins, quelques gestionnaires soulignent les contraintes de temps ou de moyens qui freinent la mise en œuvre d'un contrôle strict des diverses mesures de sécurité. Ghadimi et al. (2012) mettent en lumière les approches fondées sur les limites de la régulation comportementale dans les environnements à haut risque. De son côté, Huang et Rust (2018) montrent que l'intelligence artificielle doit être intégrée de manière complémentaire aux compétences humaines pour obtenir de meilleures performances organisationnelles.

4.3.4 Rôle potentiel de l'IA dans la gestion des risques

L'identification, l'évaluation et le traitement des risques sont des étapes clés permettant de gérer de façon proactive les risques liés aux déchets. Plusieurs personnes interviewées ont identifié le niveau d'importance de l'IA dans ces processus. Concernant

⁸ Office québécois de la langue française. (2023). *Breffage* [Fiche du Grand Dictionnaire terminologique]. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8877285/breffage>

l'identification des risques, les participants [# 1, #4, #7] indiquent plusieurs étapes qui sont, notamment : la détection précoce d'objets dangereux, le repérage d'anomalies dans le tri et la prévention des risques d'incendie. Par exemple :

Le répondant #1 dit que : « *L'IA peut nous aider à repérer des objets dangereux ou des anomalies avant qu'elles deviennent critiques* ».

Le répondant #4 pense aussi que : « *C'est une question de réactivité. L'IA peut alerter en temps réel et éviter des incidents majeurs* ».

Ces perceptions sont en concordance avec les travaux de Makridakis (2017) et Fang et al. (2023), qui mettent en exergue la nécessité de l'IA comme outil d'aide à la décision dans les environnements critiques. La plupart des participants [# 2, #3, #5, #7, #9] impliqués dans l'évaluation des risques perçoivent l'IA comme un outil capable de mesurer la probabilité, l'impact des incidents et de hiérarchiser les actions à entreprendre.

Le répondant #5 explore davantage cette idée en disant que : « *Avec l'IA, on peut calculer la probabilité d'un incident en croisant plusieurs paramètres en temps réel* ».

Le répondant #7 est d'avis que : « *On pourrait obtenir un score de risque précis pour chaque situation, ce qui aide à prioriser efficacement* ».

Le répondant #2 précise que : « *L'IA peut évaluer l'ampleur d'un risque avant qu'il ne survienne* ».

Huang et Rust (2018) et Makridakis (2017) ont appuyé ces diverses observations, mettant en évidence la contribution de l'IA pour rehausser la précision et l'anticipation dans l'évaluation des risques. Ces auteurs confirment donc l'idée des participants selon laquelle l'IA facilite non seulement la détection et l'évaluation rapide des menaces potentielles, mais également une priorisation des interventions grâce à des études fondées sur d'importantes quantités de données et en temps réel.

En ce qui concerne le traitement des risques, plusieurs répondants [# 1, #3, #4, #6, #8] considèrent l'IA comme un outil facilitant l'automatisation des actions correctives, la

réduction du temps de réponse, l'adaptation des interventions au contexte et la fourniture de recommandations intégrées.

Le répondant #4 note : « *L'IA peut suggérer directement des actions correctives, réduisant le délai entre détection et intervention* ».

Le répondant #6 précise : « *Cela permettrait d'adapter les actions en temps réel selon le contexte* ».

Ces points sont corroborés par Makridakis (2017), Huang et Rust (2018), Ghadimi et al. (2012) et Fang et al. (2023), qui insistent sur la capacité de l'IA à gérer efficacement de façon adaptative et proactive les risques.

4.4 LIMITES STRUCTURELLES ET ORGANISATIONNELLES PERÇUES PAR LES RÉPONDANTS

Cette section met en évidence les principaux défis structurels et organisationnels perçus par les répondants quant à l'intégration de l'IA dans la gestion des déchets. Elle montre également qu'ils sont liés à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Elle aborde en un premier temps l'adaptation progressive des dispositifs existants, en un second temps le rôle du leadership organisationnel⁹. Ce dernier renvoie à la capacité des dirigeants à orienter les décisions, à soutenir l'innovation technologique et à favoriser un climat organisationnel propice à l'adoption de nouvelles pratiques (Cakir et al., 2022). En troisième lieu, la mobilisation des parties prenantes ; en quatrième lieu, la formation continue du personnel, ainsi que les obstacles financiers et structurels limitant l'implantation stratégique.

⁹ Cakir, O., Yilmaz, O., et Kizildag, D. (2022). *Ethical leadership supports safety voice by increasing risk communication*. *Safety and Health at Work*, 13(1), 72–78.

4.4.1 Contribution de l'intégration progressive de l'IA dans l'adaptation des dispositifs existants

Il ressort des entrevues menées que six gestionnaires de centres de tri et d'installations environnementales semblent engagés dans une dynamique d'amélioration progressive des anciens outils de gestion des risques. Ceci est rendu possible grâce à l'intégration des innovations technologiques récentes, comme l'intelligence artificielle. Leurs ambitions sont donc de renforcer et d'enrichir l'efficacité des anciens outils numériques au lieu de les remplacer. En lien avec cet aspect, un répondant affirme que :

« Ce qu'on fait, c'est d'ajouter des systèmes de détection aux procédures existantes. On ne peut pas tout changer d'un coup » (Entrevue #4).

Cette étude présente les résultats selon différents échelons de gestion. Le premier est celui du niveau stratégique, qui englobe les décisions globales et à long terme. Le second est le niveau organisationnel, qui traite de la structure interne, de la coordination des parties prenantes et de l'adaptation des procédures. Le niveau opérationnel se rapporte aux mesures pratiques exécutées sur le terrain et à la maîtrise courante des dangers. Cette approche peut être directement liée au processus de gestion des risques et à l'intégration graduelle de l'IA, comme le montre le tableau 3 :

Tableau 3 : Contribution de l'intégration progressive de l'IA

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Ajout de systèmes de détection aux procédures existantes pour repérer précocement les anomalies ou risques.	[# 1, #3, #4, #6, #7]	Stratégique, Opérationnel	<i>« On a ajouté des systèmes de détection aux procédures existantes. Ça nous permet d'identifier les anomalies plus rapidement » (Entrevue #4)</i>
Évaluation	Amélioration des outils existants pour mieux estimer la probabilité et l'impact des risques.	[# 2, #3, #5, #7, #9]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	<i>« L'IA nous aide à mieux comprendre l'ampleur d'un risque. Les analyses sont plus précises » (Entrevue #3)</i>
Traitement	Adaptation progressive des actions correctives et optimisation des réponses selon les contextes.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Organisationnel, Opérationnel	<i>« On ajuste nos interventions selon les données des systèmes. L'IA permet de réagir plus vite » (Entrevue #6)</i>

L'analyse du tableau 3 révèle que l'intégration progressive de l'intelligence artificielle améliore sensiblement les pratiques de gestion des risques au sein des organisations du secteur des déchets. Cette influence se manifeste dans les trois étapes du processus de gestion des risques, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilise différents niveaux de gestion qui jouent chacun un rôle précis dans l'implantation des outils numériques.

À l'étape de l'identification, l'IA contribue progressivement au renforcement des mécanismes de détection déjà en place afin de repérer plus rapidement les anomalies et les risques émergents [# 1, #3, #4, #6, #7]. Cette étape sollicite à la fois le niveau stratégique, où la direction soutient l'innovation et autorise l'intégration des nouveaux systèmes, et le

niveau opérationnel, où les équipes appliquent concrètement ces outils dans leurs activités quotidiennes. Cette contribution est illustrée dans les propos d'un participant qui mentionne : « *On a ajouté des systèmes de détection aux procédures existantes. Ça nous permet d'identifier les anomalies plus rapidement* » (Entrevue #4).

En ce qui concerne l'évaluation, l'utilisation progressive de l'IA rend possible une estimation plus précise de la probabilité et de l'impact des risques, ce qui soutient des prises de décisions mieux éclairées [# 2, #3, #5, #7, #9]. Cette étape mobilise simultanément les trois niveaux de gestion. Au niveau stratégique, les gestionnaires utilisent les analyses produites pour orienter les décisions en matière de prévention et d'investissements. Au niveau organisationnel, les responsables ajustent les méthodes, les politiques et les procédures afin d'assurer une cohérence dans l'évaluation des risques. Au niveau opérationnel, les équipes appliquent les outils d'analyse sur le terrain et génèrent les données qui alimentent l'ensemble du processus. Comme le souligne un participant : « *L'IA nous aide à mieux comprendre l'ampleur d'un risque. Les analyses sont plus précises* » (Entrevue #3).

Enfin, au niveau traitement, l'intégration progressive de l'IA permet d'adapter les actions correctives et d'optimiser les réponses selon les contextes [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise surtout les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel intervient en planifiant et en coordonnant les mesures correctives à l'échelle de l'entreprise afin de garantir leur cohérence et leur conformité avec les orientations internes. Le niveau opérationnel en assure la mise en œuvre concrète sur le terrain, où les ajustements doivent être appliqués rapidement et de manière adaptée aux réalités opérationnelles. Comme l'indique un participant : « *On ajuste nos interventions selon les données des systèmes. L'IA permet de réagir plus vite* » (Entrevue #6).

Johnson et Verdicchio (2025) soulignent que l'intégration de l'IA dans les organisations requiert une compréhension sociotechnique des valeurs, des normes et des interactions entre humains et technologies, afin d'assurer une adaptation harmonieuse et efficace dans des environnements complexes. L'auteur souligne que cette concordance repose sur une intégration harmonieuse où les innovations technologiques, comme

l'intelligence artificielle, s'adaptent aux compétences disponibles, aux pratiques déjà établies et aux procédures organisationnelles, dans le but d'optimiser leur efficacité et de limiter les résistances au changement.

4.4.2 Rôle du leadership organisationnel

La volonté active de la direction et des gestionnaires intermédiaires a joué un rôle déterminant dans une meilleure intégration des différentes stratégies innovantes en gestion des risques. Selon plusieurs répondants [# 3, #6 et #7], l'adhésion et la sensibilisation des leaders organisationnels constituent des étapes cruciales dans la création d'un environnement favorable pour instaurer une culture favorable à l'adoption de l'IA. À cet effet, un répondant fait valoir que :

« Il faut que la direction y croie et qu'elle montre l'exemple. Sinon, ça reste au stade de projet pilote » (Entrevue #7).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le troisième est celui des opérations, qui se penche sur les actions concrètes sur le terrain et sur la gestion quotidienne des risques. Cette méthode peut être directement associée au processus de gestion des risques et aux différents échelons de gestion, comme l'indique le tableau 4 :

Tableau 4 : Apport de l'engagement de la direction et des gestionnaires :

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Actions de sensibilisation facilitant la reconnaissance des freins culturels associés à l'introduction de l'IA.	[#2, #5, #7, #8]	Organisationnel, opérationnel	« <i>La sensibilisation aide à repérer plus rapidement les résistances</i> » (Entrevue #7)
Évaluation	Prise en compte des dimensions culturelles dans l'analyse de l'acceptabilité des outils d'IA.	[#1, #4, #6, #8]	Organisationnel, stratégique	« <i>Les habitudes internes jouent un rôle clé dans l'adoption de l'IA</i> » (Entrevue #4)
Traitement	Déploiement de dispositifs de formation et d'accompagnement pour atténuer les résistances observées.	[#3, #5, #6, #9]	Stratégique, organisationnel, opérationnel	« <i>Adapter l'accompagnement permet de réduire les blocages liés au changement</i> » (Entrevue #9)

L'examen du tableau 4 révèle que la maîtrise de la résistance culturelle est un facteur clé dans la gestion des risques associés à l'intégration de l'intelligence artificielle. Cette résistance émerge à divers stades du processus et exige des mesures spécifiques qui engagent plusieurs niveaux de direction.

Pendant la phase d'identification, la sensibilisation est un levier crucial pour déceler les obstacles culturels à l'introduction de l'IA [# 2, #5, #7, #8]. Ces obstacles sont souvent attribuables à une méconnaissance des outils numériques, à une peur de perdre le contrôle ou à une remise en question des pratiques professionnelles bien établies. Cette étape nécessite surtout une action au niveau organisationnel et opérationnel. L'organisation s'implique dans la diffusion de renseignements et la clarification des objectifs du changement, tandis que le niveau opérationnel permet d'observer concrètement les manifestations de résistance dans les pratiques quotidiennes. Comme l'indique un

participant : « *la sensibilisation aide à repérer plus rapidement les résistances* » (Entrevue #7).

Pendant l'évaluation, l'examen des dimensions culturelles permet de mieux comprendre comment les valeurs, les normes et les habitudes internes influencent l'acceptabilité des outils d'intelligence artificielle [# 1, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et stratégique. À l'échelle de l'organisation, les gestionnaires évaluent les perceptions et les attitudes des employés face à l'IA. Sur le plan stratégique, ces observations servent de base aux décisions concernant la gestion du changement et l'orientation des projets technologiques. À ce propos, un participant a souligné que : « *les habitudes internes jouent un rôle clé dans l'adoption de l'IA* » (Entrevue #4).

Finalement, lors de la phase de traitement, la mise en place de programmes d'apprentissage et de soutien s'avère cruciale pour atténuer les réticences décelées [# 3, #5, #6, #9]. Cette phase mobilise simultanément les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Le niveau stratégique définit les orientations générales en matière de transformation culturelle, le niveau organisationnel coordonne les initiatives d'éducation et de soutien, tandis que le niveau opérationnel assure l'application concrète des nouvelles pratiques sur le terrain. Cela se reflète dans la déclaration d'un participant selon qui : « *adapter l'accompagnement permet de réduire les blocages liés au changement* » (Entrevue #9).

Ces résultats démontrent que la prise en compte de la résistance culturelle ne sert pas seulement d'explication aux difficultés rencontrées, mais aussi de levier stratégique pour améliorer la gestion des risques liés à l'implantation de l'intelligence artificielle. En intégrant les dimensions culturelles à chaque étape du processus, les organisations renforcent leur capacité à anticiper, analyser et gérer les risques de manière plus cohérente et durable.

Cette idée est en concordance avec les travaux d'Ahmad et al. (2020) qui met en évidence le fait que les organisations les plus fiables ont développé une culture de gestion des risques axée sur la prévoyance, l'adaptabilité et l'apprentissage continu. Selon ces

auteurs, la solidité d'une organisation dépend de sa capacité à mettre en place des mécanismes pour détecter rapidement les signaux faibles, s'adapter aux imprévus et tirer des enseignements des événements passés pour améliorer ses pratiques futures. Par conséquent, l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques s'inscrit parfaitement dans cette démarche en permettant de prévoir les risques, de soutenir l'adaptation en temps réel et de renforcer les processus d'apprentissage organisationnel.

4.4.3 Mobilisation des parties prenantes

Une stratégie de gestion des risques doit nécessairement compter sur l'implication des parties prenantes internes, telles que les employés, les techniciens ou les superviseurs (ISO, 2018). Effectivement, leur expertise et leur connaissance du contexte constituent des atouts majeurs pour identifier, évaluer et anticiper les risques.

Par ailleurs, plusieurs parties prenantes externes, comme les fournisseurs, les municipalités et les spécialistes en intelligence artificielle, proposent une perspective complémentaire et stratégique susceptible d'aider à comprendre et à résoudre les problèmes. Il apparaît donc pertinent de gagner le soutien de ces diverses parties prenantes essentielles afin de vaincre les résistances au changement. Dans cette perspective, un répondant indique que :

« On a travaillé avec une firme externe pour former nos chefs d'équipe à l'IA. C'était important qu'ils comprennent ce que ça change » (Entrevue #3).

Cette étude présente les résultats selon différents échelons de direction. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel, quant à lui, correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. La mobilisation des parties prenantes peut être directement associée de façon directe au processus de gestion des risques, comme le montre le tableau 5 :

Tableau 5 : Contribution de la mobilisation des parties prenantes

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Les employés et techniciens apportent leur expertise terrain pour détecter précocement les anomalies.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« <i>Les employés voient tout de suite quand quelque chose ne fonctionne pas</i> » (Entrevue #3)
Évaluation	Les superviseurs et experts externes enrichissent l'analyse des risques avec des perspectives variées.	[# 2, #3, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« <i>Les superviseurs et consultants apportent un regard plus complet</i> » (Entrevue #5)
Traitement	La collaboration interne-externe facilite la mise en œuvre des solutions et réduit les résistances.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	« <i>Quand tout le monde est impliqué, les actions se mettent en place plus facilement</i> » (Entrevue #6)

L'étude du tableau 5 révèle que l'engagement des parties prenantes est un catalyseur crucial pour optimiser l'efficacité des stratégies de gestion des risques qui incorporent l'intelligence artificielle. Cette dynamique se manifeste tout au long des trois phases du processus de gestion des risques, à savoir l'identification, l'évaluation, la réduction des risques et implique divers niveaux de direction qui facilitent la circulation de l'information et la mise en œuvre des mesures.

À l'étape de l'identification, la participation active des employés et des techniciens joue un rôle déterminant dans la détection précoce des anomalies grâce à leur connaissance fine du terrain [# 1, #3, #4, #6]. Leur contribution mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel, puisque leur expertise permet d'alimenter les systèmes numériques et

d'assurer la circulation d'informations essentielles à l'anticipation des risques. Cette réalité est illustrée par un participant qui souligne : « *Les employés voient tout de suite quand quelque chose ne fonctionne pas* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, l'implication des superviseurs et des experts externes enrichit l'analyse des risques en apportant des perspectives complémentaires et parfois plus spécialisées [# 2, #3, #5, #7, #9]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Au niveau interne, la collaboration entre les membres de l'équipe et les consultants externes structure l'analyse, tandis qu'au niveau stratégique, ces données servent à déterminer les priorités en matière de prévention et de prise de décision. Comme l'explique un participant, « *Les superviseurs et consultants apportent un regard plus complet* » (Entrevue #5).

Enfin, au stade du traitement, la collaboration entre acteurs internes et externes facilite l'implantation des solutions et contribue à réduire les résistances au changement [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Le niveau stratégique encadre les orientations et valide les différentes mesures à adopter, le niveau organisationnel coordonne la mise en œuvre des actions correctives, tandis que le niveau opérationnel applique concrètement ces mesures sur le terrain. Cette dynamique collaborative est illustrée par un participant qui mentionne : « *Quand tout le monde est impliqué, les actions se mettent en place plus facilement* » (Entrevue #6).

Ce constat est largement appuyé par la littérature consacrée à l'innovation organisationnelle. Selon Manuel¹⁰ d'Oslo (2018) : « *une innovation désigne un produit ou un processus (ou une combinaison des deux) nouveaux ou améliorés qui diffèrent sensiblement des produits ou processus précédents d'une unité et sont mis à la disposition d'utilisateurs potentiels (produit) ou mis en œuvre par l'unité (processus)* ». Cette définition met en lumière le caractère transformationnel de l'innovation et son rôle

¹⁰ OCDE. (2018) /Eurostat. *Manuel d'Oslo 2018 : Lignes directrices pour le recueil, la communication et l'utilisation des données sur l'innovation* (4e éd.). OCDE. https://www.oecd.org/fr/publications/2018/10/oslo-manual-2018_g1g9373b.html

structurant dans l'évolution des organisations. Selon les recherches de Monticolo et al. (2020), la réussite de ces innovations repose largement sur les dynamiques humaines et relationnelles au sein des organisations. En effet, la viabilité des changements passe par une communication active, un échange permanent du savoir et un engagement collectif de tous les membres.

4.4.4 Renforcement des compétences et formation continue

La formation continue et le renforcement des compétences font partie des différentes stratégies pour la mise en œuvre de l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Ces stratégies aident clairement les employés à s'approprier les nouvelles pratiques sécuritaires associées à l'IA. Plusieurs répondants [# 5, #6 et #9] ont collaboré avec des ateliers et des centres de formation. À ce propos, un participant rapporte que :

« On a organisé des sessions pour expliquer comment fonctionne l'analyse prédictive. Il faut démystifier » (Entrevue #6).

Cette analyse présente les résultats à travers différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel se rapporte aux mesures pratiques exécutées sur le terrain et à la maîtrise quotidienne des risques. Cette méthode peut être associée directement aux différents processus de gestion des risques et aux différents niveaux de gestion, comme le montre le tableau 6 :

Tableau 6 : Apport de la formation continue et du renforcement des compétences

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Développement des compétences des employés pour mieux reconnaître les risques émergents.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« <i>Quand les employés sont mieux formés, ils repèrent les anomalies plus rapidement</i> » (Entrevue #4)
Évaluation	Formation à l'analyse prédictive et aux outils d'IA pour une évaluation plus objective.	[# 2, #3, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« <i>Les formations sur l'IA améliorent l'analyse des risques</i> » (Entrevue #3)
Traitement	Acquisition de compétences pour appliquer des mesures correctives adaptées.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Opérationnel, Organisationnel	« <i>Avec de nouvelles compétences, on adapte les actions plus facilement</i> » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 6 montre que la formation continue et le renforcement des compétences constituent des leviers essentiels pour soutenir l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Cette influence se manifeste dans les trois étapes du processus, soit l'identification, l'évaluation et le traitement et mobilise différents niveaux de gestion selon les types de compétences développées.

À l'étape de l'identification, le développement des compétences des employés améliore la détection proactive des risques émergents [# 1, #3, #4, #6]. Cette contribution repose sur la mobilisation conjointe des niveaux organisationnel et opérationnel. Au niveau organisationnel, les responsables planifient et coordonnent les activités de formation afin d'outiller adéquatement les équipes. Au niveau opérationnel, les employés appliquent directement les compétences acquises, ce qui renforce leur capacité à reconnaître rapidement les anomalies. Cette dynamique est bien illustrée par un participant qui

mentionne que : « *Quand les employés sont mieux formés, ils repèrent les anomalies plus rapidement* » (Entrevue #4).

Lors de l'évaluation, la maîtrise des outils d'analyse prédictive et des technologies d'IA favorise une compréhension plus approfondie des processus numériques et permet une évaluation plus objective et plus fiable des risques [# 2, #3, #5, #7, #9]. Cette étape mobilise les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau organisationnel ajuste les pratiques internes afin d'intégrer les nouvelles compétences dans les processus d'analyse, tandis que le niveau stratégique utilise ces informations pour orienter les décisions majeures en matière de prévention et de gestion des risques. Un participant souligne clairement cette contribution en affirmant que : « *Les formations sur l'IA améliorent l'analyse des risques* » (Entrevue #3).

Enfin, au stade du traitement, l'acquisition de compétences opérationnelles renforce la capacité des équipes à concevoir, ajuster et mettre en œuvre des mesures correctives adaptées aux situations identifiées [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape sollicite principalement les niveaux opérationnel et organisationnel. Le niveau organisationnel coordonne et encadre les actions correctives, alors que le niveau opérationnel les applique concrètement sur le terrain en fonction des données fournies par les systèmes d'IA. Comme l'explique un participant : « *Avec de nouvelles compétences, on adapte les actions plus facilement* ». (Entrevue #6).

Les recherches de Fang et al. (2023) montrent que la réussite des projets d'intelligence artificielle dépend fortement de l'implication des acteurs humains. Selon ces travaux, l'amélioration des compétences facilite non seulement la réduction de la résistance face aux nouvelles technologies, mais contribue également à leur adoption et à leur intégration par les équipes. Dans ce contexte, la formation continue constitue un levier essentiel pour assurer une intégration efficace et durable de l'IA dans la gestion des risques.

4.5 FREINS À L'ADOPTION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA GESTION DES DÉCHETS

Cette section porte sur les freins à l'adoption de l'IA dans la gestion des déchets. Elle traite de la méconnaissance des technologies, de la résistance culturelle au changement, des coûts élevés, des limites d'infrastructure et du manque de soutien institutionnel structuré.

4.5.1 Méconnaissance des technologies

La méconnaissance générale de l'IA et de ses différentes fonctionnalités, comme l'indiquent les participants [# 1, #3, #6, #9], constitue l'un des obstacles les plus fréquemment cités. Ce manque de connaissances constitue en quelque sorte une forme d'appréhension face à la découverte de nouvelles technologies, parfois perçues comme trop complexes ou non accessibles à tous. En ce qui concerne cet élément, un participant précise que :

« Il y a encore beaucoup de flou autour de ce que c'est vraiment, l'IA. Certains pensent que c'est de la science-fiction » (Entrevue #3).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le troisième correspond au niveau opérationnel, qui se penche sur les actions concrètes sur le terrain et sur la gestion quotidienne des risques. Le tableau 7 met en évidence les approches liées à la connaissance et à la sensibilisation à l'IA en relation avec le processus et les niveaux de gestion des risques :

Tableau 7 : Apport de la connaissance et de la sensibilisation à l'IA

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Compréhension des capacités de l'IA pour mieux détecter les risques émergents.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« Plus on comprend l'IA, plus on anticipe les anomalies » (Entrevue #3)
Évaluation	Connaissances permettant une analyse plus objective des risques et de leurs impacts.	[# 2, #3, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« La sensibilisation à l'IA aide à analyser les risques avec recul » (Entrevue #5)
Traitement	Capacité à concevoir et mettre en œuvre des réponses adaptées.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Opérationnel, Organisationnel	« Quand on comprend les outils, on adapte les actions plus facilement » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 7 montre que la compréhension de l'intelligence artificielle constitue un élément déterminant pour faciliter son intégration dans la gestion des risques. À l'inverse, une méconnaissance des outils et de leurs capacités peut freiner son adoption et réduire l'efficacité des processus. Cette influence se manifeste à travers les trois étapes du processus de gestion des risques, soit l'identification, l'évaluation et le traitement selon le type de connaissances concernées.

À l'étape de l'identification, une meilleure compréhension des capacités de l'IA aide les équipes à anticiper et à détecter plus efficacement les risques émergents [# 1, #3, #4, #6]. Cette contribution mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel. Au niveau organisationnel, les gestionnaires diffusent l'information et assurent la sensibilisation aux nouvelles technologies, tandis qu'au niveau opérationnel, les employés appliquent ces connaissances pour reconnaître rapidement les anomalies. Cette dynamique est illustrée par

un participant qui mentionne : « *Plus on comprend l'IA, plus on anticipe les anomalies* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, la connaissance des outils d'IA favorise une analyse plus objective et structurée des risques [# 2, #3, #5, #7, #9]. Cette étape sollicite les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique utilise ces connaissances pour orienter les décisions majeures en matière de prévention et de gestion des risques, tandis que le niveau organisationnel intègre la formation et les sensibilisations nécessaires dans les pratiques institutionnelles. Comme le note un participant : « *La sensibilisation à l'IA aide à analyser les risques avec recul* » (Entrevue #5).

Enfin, au stade du traitement, la sensibilisation à l'IA renforce la capacité des équipes à concevoir, ajuster et mettre en œuvre des réponses adaptées aux situations identifiées [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise principalement les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel encadre et planifie les mesures correctives, alors que le niveau opérationnel applique ces réponses de manière concrète sur le terrain. Un participant résume bien cette réalité en affirmant : « *Quand on comprend les outils, on adapte les actions plus facilement* » (Entrevue #6).

Makridakis (2017), dans ses travaux sur la diffusion de l'innovation, identifie les connaissances préalables comme une condition incontournable à l'adoption technologique. Cela converge avec les argumentaires des répondants, qui pensent qu'il est important d'avoir une bonne compréhension de l'IA pour surmonter les résistances et exploiter pleinement ses potentialités.

4.5.2 Résistance au changement culturel

Pour la plupart des intervenants [# 2, #4, #5, #8], la résistance à l'intégration de l'IA s'explique principalement par une résistance au changement organisationnel, telle que définie par Lewin (1947), plutôt que par un changement culturel complet de Schein (2010). En effet, elle s'explique par les différentes appréhensions associées à la modification des méthodes de travail et à l'intégration de nouvelles technologies, plutôt qu'à une transformation profonde des valeurs et des croyances partagées au sein de l'organisation, ce qui met en évidence la nécessité de préparer, d'accompagner et de stabiliser tout processus de changement selon la dynamique « *dégel–changement–regel* ». Comme le souligne un participant :

« Certains croient que l'IA va les remplacer. Ça crée de la méfiance »
(Entrevue #8).

Cette analyse présente les résultats selon différents niveaux de gestion : stratégique, organisationnel et opérationnel. Le niveau stratégique est associé aux décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel se rapporte à la structure interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 8 illustre la compréhension de la résistance culturelle face à l'IA et son impact sur le processus de gestion des risques, ainsi que les niveaux de gestion concernés.

Tableau 8 : Apport de la compréhension de la résistance culturelle

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Sensibilisation permettant de mieux détecter les freins culturels liés à l'IA.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« <i>Comprendre les réticences nous aide à mieux détecter les problèmes</i> » (Entrevue #4)
Évaluation	Analyse des impacts culturels sur l'acceptation de l'IA.	[# 2, #3, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« <i>La culture interne influence beaucoup l'adoption de l'IA</i> » (Entrevue #5)
Traitement	Stratégies d'accompagnement et de formation pour réduire les résistances.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	« <i>Comprendre la résistance permet de mieux accompagner les équipes</i> » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 8 révèle que la résistance culturelle au changement constitue un frein majeur à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Cette dynamique se manifeste à travers les trois étapes du processus de gestion des risques, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilise différents niveaux de gestion selon les besoins d'accompagnement et de transformation organisationnelle.

À l'étape de l'identification, la sensibilisation des équipes permet de mieux reconnaître les freins culturels liés à la crainte ou à la méfiance envers les outils numériques [# 1, #3, #4, #6]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel intervient en mettant en place des actions de sensibilisation qui visent à faire comprendre les enjeux du changement technologique, tandis que le niveau opérationnel utilise ces connaissances pour détecter plus rapidement les manifestations de

résistance. Cette réalité est illustrée par les propos d'un participant affirmant : « *Comprendre les réticences nous aide à mieux détecter les problèmes* » (Entrevue #4).

Lors de l'évaluation, l'analyse des impacts culturels permet de comprendre comment les résistances internes influencent l'acceptation ou le rejet des technologies d'IA [# 2, #3, #5, #7, #9]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Au niveau organisationnel, les gestionnaires évaluent les sources de méfiance et observent comment ces freins modifient la manière dont les employés perçoivent les outils numériques. Au niveau stratégique, la direction oriente les décisions liées à la gouvernance du changement en tenant compte des enjeux culturels. Comme l'explique un participant, « *La culture interne influence beaucoup l'adoption de l'IA* » (Entrevue #5).

Enfin, au stade du traitement, les stratégies d'accompagnement et de formation mises en place contribuent à réduire les résistances et à renforcer la confiance des équipes envers l'IA [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Le niveau stratégique détermine les orientations générales du changement culturel, le niveau organisationnel coordonne les actions de formation et de soutien et le niveau opérationnel applique concrètement les nouvelles pratiques sur le terrain. Cette dynamique est illustrée par les propos d'un participant : « *Comprendre la résistance permet de mieux accompagner les équipes* » (Entrevue #6).

4.5.3 Coût et accès aux ressources

Pour Fang et al. (2023), les coûts liés aux nouvelles technologies, comme ceux de l'IA, sont généralement cités comme un grand obstacle à leur adoption. Pour les structures qui ne sont pas de grande taille ou les organismes ne disposant pas de grands moyens, les investissements initiaux et la maintenance de ces nouvelles technologies sont souvent considérés comme très élevés (Fang et al., 2023). Cela constitue une contrainte significative à l'intégration de l'IA dans leurs activités quotidiennes. Dans le même ordre d'idées, un participant exprime que :

« On aimerait bien, mais les prix sont encore trop élevés pour un centre comme le nôtre »
(Entrevue #1).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 9 présente la façon dont les contraintes financières exercent une influence sur la façon de gérer les risques et les niveaux de gestion concernés :

Tableau 9 : Contraintes liées aux coûts

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Limitation dans l'accès aux outils d'IA de détection et d'alerte précoce.	[# 1, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« Les outils de détection coûtent cher, on fait avec ce qu'on a » (Entrevue #1)
Évaluation	Difficulté à financer les outils d'analyse prédictive.	[# 2, #5, #7]	Organisationnel, Stratégique	« Les technologies d'analyse prédictive sont trop coûteuses » (Entrevue #5)
Traitement	Incapacité à automatiser certaines actions faute de budget.	[# 3, #8, #9]	Opérationnel, Organisationnel	« L'automatisation serait bénéfique, mais le budget ne le permet pas » (Entrevue #8)

L'analyse du tableau 9 montre que les contraintes financières constituent un obstacle majeur à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Ces limitations budgétaires affectent les trois étapes du processus de gestion des risques, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilisent différents niveaux de gestion selon les choix organisationnels et les ressources disponibles.

À l'étape de l'identification, le manque de ressources financières limite l'acquisition d'outils de détection avancés, réduisant ainsi la capacité des organisations à anticiper et repérer les risques émergents [# 1, #4, #6]. Cette situation nécessite une gestion à la fois structurelle et pratique. Sur le plan organisationnel, les dirigeants doivent trancher entre les exigences technologiques et les ressources limitées, tandis qu'au niveau opérationnel, les équipes doivent s'adapter à des instruments déficients ou peu efficaces. Cet aspect est bien résumé par cette déclaration d'un participant : « *Les outils de détection coûtent cher, on fait avec ce qu'on a* » (Entrevue #1).

Lors de l'évaluation, l'insuffisance d'investissements dans les outils d'analyse prédictive diminue la précision des diagnostics et freine la prise de décision stratégique [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique doit composer avec des marges budgétaires limitées pour orienter les priorités en matière de prévention, tandis que le niveau organisationnel tente d'optimiser l'utilisation des ressources existantes, parfois au détriment de la qualité des analyses. Un participant résume bien cette contrainte en déclarant : « *Les technologies d'analyse prédictive sont trop coûteuses* » (Entrevue #5).

Enfin, au stade du traitement, le manque de budget empêche l'automatisation de certaines réponses et limite l'intégration de systèmes adaptatifs [# 3, #8, #9]. Cette étape mobilise principalement les niveaux opérationnel et organisationnel. Au niveau organisationnel, les décisions en matière d'automatisation sont souvent différées ou réduites, faute de moyens financiers, alors qu'au niveau opérationnel, les équipes doivent mettre en œuvre manuellement des procédures qui pourraient être automatisées. Un des participants a exprimé cette vérité en ces termes : « *L'automatisation serait bénéfique, mais les ressources financières ne sont pas disponibles pour cela* » (Entrevue #8).

Ces différentes observations corroborent les travaux de Zhang et al. (2019), selon eux, l'existence d'un écart d'adoption de l'IA est causée par le fait que certains organismes rencontrent des difficultés à investir de façon conséquente. Cet écart est dû non seulement à plusieurs contraintes financières, mais aussi aux priorités organisationnelles et à la difficulté d'intégration des nouvelles technologies.

4.5.4 Problèmes d'infrastructure et d'interopérabilité

Selon certains répondants [# 3 et #6], les problèmes de connectivité et de compatibilité avec les systèmes existants font en sorte que les infrastructures actuelles ne soient pas encore prêtes à intégrer des outils d'intelligence artificielle (IA). L'intégration de ces nouvelles technologies devient complexe et coûteuse en raison de l'inadéquation des équipements, ce qui entrave considérablement les initiatives de transformation numérique. À la lumière de ces constats, un participant avance que :

« Nos équipements ne sont pas conçus pour ça. Il faudrait presque tout refaire »
(Entrevue #6).

Cette limite ne relève pas uniquement d'une question technique : elle comporte aussi un défi organisationnel considérable. La question de l'interopérabilité entre les technologies est un enjeu fréquent, régulièrement abordé dans les écrits concernant la transformation numérique, notamment par des auteurs comme Makridakis (2017) et Fang et al. (2023), qui soulignent les difficultés liées à l'intégration cohérente des systèmes numériques dans les organisations.

Les résultats sont analysés en fonction de différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Dans le but de mieux illustrer ces exemples, le tableau 10 présente les différentes contraintes associées aux infrastructures et leur impact sur le processus de gestion des risques.

Tableau 10 : Contraintes liées aux infrastructures et interopérabilité

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Données incomplètes ou non synchronisées en raison de problèmes de compatibilité.	[# 1, #4, #6]	Opérationnel, Organisationnel	« Les systèmes ne se parlent pas toujours, ça complique la détection » (Entrevue #4)
Évaluation	Modèles d'IA limités par le manque d'intégration entre anciens et nouveaux systèmes.	[# 2, #5, #7]	Organisationnel, Stratégique	« Les vieux systèmes ne sont pas compatibles avec l'IA » (Entrevue #5)
Traitement	Difficulté à automatiser les réponses en temps réel faute d'infrastructures adaptées.	[# 3, #8, #9]	Opérationnel, Organisationnel	« Les infrastructures ne suivent pas encore pour automatiser » (Entrevue #8)

L'analyse du tableau 10 montre que les problèmes d'infrastructure et d'interopérabilité constituent des freins majeurs à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Ces contraintes affectent les trois étapes du processus, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilisent différents niveaux de gestion selon la nature des difficultés rencontrées.

Lors de l'étape de l'identification, la présence de données incomplètes ou non synchronisées, souvent due à l'incompatibilité entre différents systèmes, limite la capacité des organisations à détecter de manière précoce les risques émergents [# 1, #4, #6]. Cette situation mobilise les niveaux opérationnel et organisationnel. Sur le plan organisationnel, les responsables font face à des contraintes technologiques qui entravent la transmission efficace des informations. Au niveau opérationnel, les équipes ont du mal à identifier adéquatement les problèmes en raison de données peu fiables. Comme l'explique un participant : « Les systèmes ne se parlent pas toujours, ça complique la détection » (Entrevue #4).

Pendant l'évaluation, l'intégration insuffisante entre les anciens systèmes et les technologies d'IA entraîne une baisse de fiabilité des analyses et de l'efficacité des modèles prédictifs [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau organisationnel vise à maintenir une cohérence technologique en combinant des infrastructures hétérogènes, tandis que le niveau stratégique doit guider les décisions et les investissements nécessaires pour mettre à jour les systèmes. Un participant illustre bien cette contrainte en soulignant : « *Les vieux systèmes ne sont pas compatibles avec l'IA* » (Entrevue #5).

Enfin, lors de la phase du traitement, l'inadéquation des infrastructures entrave l'automatisation des réponses et limite la capacité d'intervention en temps réel [# 3, #8, #9]. Cette étape nécessite surtout un effort aux niveaux organisationnel et opérationnel. Au niveau organisationnel, les dirigeants doivent adapter les procédures à des infrastructures souvent obsolètes, ce qui retarde la mise en œuvre de solutions automatisées. Au niveau opérationnel, les équipes doivent compenser manuellement le manque de réactivité des systèmes. Comme le souligne un participant, « *Les infrastructures ne suivent pas encore pour automatiser* » (Entrevue #8).

Selon Monticolo et ses collaborateurs (2020), les organisations classiques, qui possèdent des systèmes hétérogènes et vieillissants, font face à d'importantes difficultés techniques lorsqu'elles tentent de mettre en œuvre des solutions d'intelligence artificielle. Ces différents défis structurels contribuent non seulement à freiner de l'adoption de l'IA, mais aussi à la compromission de l'efficacité des processus de gestion des risques. Sans infrastructures adaptées, la collecte, l'analyse et le traitement automatisé des données demeurent limités, ce qui participe à la réduction de la capacité des dispositifs de surveillance et de prévention des risques.

4.6 ATTENTES ENVERS LES POLITIQUES PUBLIQUES ET LE SOUTIEN INSTITUTIONNEL

Cette section aborde les attentes envers les politiques publiques et le soutien institutionnel des acteurs du secteur des déchets à l'égard des pouvoirs publics pour faciliter l'intégration de l'IA. Ils expriment le besoin d'un cadre réglementaire clair, d'un soutien financier adapté et d'un accompagnement technique assuré par des experts du terrain.

4.6.1 Besoin d'un cadre réglementaire favorable

Plusieurs répondants [# 1, #4, #6] pensent qu'il serait opportun qu'il y ait un cadre réglementaire à la fois clair, bien structuré et incitatif dans le but d'introduire de façon adéquate l'intelligence artificielle dans le secteur de la gestion des déchets. Ce besoin d'encadrement survient à cause de la complexité des responsabilités partagées entre différents paliers gouvernementaux. L'absence de directives harmonisées crée une zone grise qui entrave les initiatives et limite la mise en œuvre cohérente de solutions innovantes à l'échelle du territoire. Comme l'indique ce répondant :

« Ce serait bien d'avoir des lignes directrices du ministère pour ne pas se sentir seuls dans nos choix » (Entrevue #4).

L'analyse est structurée en fonction de différents niveaux de direction. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des procédures. Le niveau opérationnel correspond aux actions pratiques exécutées sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 11 met en évidence les conséquences de la nécessité d'un cadre réglementaire favorable sur le processus de gestion des risques :

Tableau 11 : Implications du besoin d'un cadre réglementaire

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Standardisation des méthodes de détection et clarification des responsabilités.	[# 1, #3, #5]	Stratégique, Organisationnel	« Un cadre commun aiderait à être plus cohérents » (Entrevue #3)
Évaluation	Directives uniformes pour évaluer et prioriser les risques.	[# 2, #4, #7]	Organisationnel, Stratégique	« On manque de lignes directrices précises pour l'IA » (Entrevue #4)
Traitement	Encadrement clair pour mettre en œuvre les mesures correctives et l'automatisation.	[# 1, #2, #6]	Stratégique, Organisationnel	« Avec un cadre officiel, les actions sont plus faciles à justifier » (Entrevue #2)

L'analyse du tableau 11 montre qu'un cadre réglementaire clair et favorable constitue un élément essentiel pour soutenir l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Cette influence se manifeste à travers les trois étapes du processus, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilise principalement les niveaux stratégique et organisationnel, qui encadrent les pratiques et orientent les interventions.

À l'étape de l'identification, la clarification des responsabilités et la standardisation des méthodes de détection améliorent la structuration des interventions et la cohérence des pratiques [# 1, #3, #5]. Le niveau stratégique établit les orientations globales et les responsabilités pour garantir une détection précoce des risques, tandis que le niveau organisationnel s'assure que les procédures sont appliquées uniformément dans l'ensemble

des équipes. Cette dynamique est illustrée par un participant affirmant : « *Un cadre commun aiderait à être plus cohérents* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, la présence de directives uniformes facilite l'analyse et la hiérarchisation des risques, renforçant ainsi la cohérence et la fiabilité des décisions [# 2, #4, #7]. Le niveau organisationnel utilise ces lignes directrices pour encadrer les pratiques internes et standardiser les méthodes d'analyse, tandis que le niveau stratégique s'assure que ces directives s'alignent avec les orientations globales de l'organisation. Un participant exprime cette réalité en mentionnant : « *On manque de lignes directrices précises pour l'IA* » (Entrevue #4).

Enfin, au stade du traitement, un encadrement clair concernant les mesures correctives et les dispositifs d'automatisation renforce la sécurité, la transparence et l'efficacité des actions [# 1, #2, #6]. Le niveau stratégique définit les règles, les normes et les limites liées à l'usage de l'IA dans la mise en œuvre des mesures correctives, tandis que le niveau organisationnel assure l'application de ces règles dans les procédures opérationnelles. Comme l'explique un participant, « *Avec un cadre officiel, les actions sont plus faciles à justifier* » (Entrevue #2).

Cette demande fait écho aux recommandations de Mazzucchi (2018), qui insiste sur le besoin d'un État stratège apte à diriger l'innovation en direction des objectifs du développement durable, en particulier grâce à des structures réglementaires adaptables qui encouragent l'expérimentation tout en assurant la sécurité et la conformité.

4.6.2 Soutien financier à l'innovation responsable

Le manque de soutien financier favorisant une facile intégration des outils de l'IA est le principal constat formulé par les répondants [# 2, #4, #7]. Pour eux, il serait pertinent de mettre en place des programmes spécifiques de subvention ou de financement mixte. Ce qui les aiderait à mieux amorcer ce progrès technologique.

Il existe déjà plusieurs programmes, tels que le Programme Innovation d'Investissement Québec, qui donne la possibilité aux projets intégrant de nouvelles

technologies, en leur offrant du financement (Investissement Québec, 2024), ou également l'Appel de projets d'innovation collaborative en IA et technologies quantiques lancés par le Gouvernement du Québec (2024). Le Programme Technoclimat est considéré par le Ministère de l'Environnement du Québec (2023) comme une initiative permettant d'apporter un soutien financier à des projets technologiques capables d'influencer l'environnement. Par ailleurs, le Programme d'aide à l'innovation (PAI) de Services Québec soutient aussi l'innovation responsable en donnant des subventions pour des projets intégrant des solutions numériques. Selon l'OCDE (2018), l'innovation responsable¹¹ consiste à développer et déployer des technologies en tenant compte de leurs impacts sociaux, environnementaux et éthiques, afin d'assurer que ces innovations demeurent alignées avec les valeurs collectives, la transparence et l'acceptabilité sociale. À ce propos, un répondant rapporte que :

« On voit des aides pour les panneaux solaires, mais rien de vraiment clair pour l'IA »
(Entrevue #2).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Les décisions globales et à long terme relèvent du niveau stratégique. La structure interne, la coordination des parties prenantes et l'ajustement des procédures appartiennent au niveau organisationnel. Le niveau opérationnel se réfère aux mesures spécifiques exécutées sur le terrain et à la gestion quotidienne des dangers. Le tableau 12 illustre les implications du soutien financier dans le processus de gestion des risques :

¹¹ OCDE. (2018). *Innovation, croissance et société : Pour une innovation responsable*. Éditions OCDE. <https://www.oecd.org/fr/themes/innovation-responsable.html>

Tableau 12 : Implications du manque de soutien financier

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Limitation d'accès aux outils d'IA pour détecter et anticiper les risques.	[# 1, #3, #5]	Organisationnel, Opérationnel	« Sans financement, difficile d'intégrer les bons outils » (Entrevue #3)
Évaluation	Difficulté à financer l'analyse prédictive et la modélisation.	[# 2, #4, #7]	Organisationnel, Stratégique	« Les outils avancés coûtent trop cher » (Entrevue #4)
Traitement	Manque de moyens pour automatiser et adapter les actions.	[# 1, #2, #6]	Stratégique, Organisationnel	« Les budgets ne suivent pas, donc on reste dans le manuel » (Entrevue #2)

L'analyse du tableau 12 montre que le manque de soutien financier constitue un frein important à l'adoption de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Cette contrainte affecte les trois étapes du processus, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilise principalement les niveaux organisationnel, opérationnel et stratégique selon les ressources nécessaires.

À l'étape de l'identification, l'accès limité aux technologies de détection et d'anticipation des risques réduit la capacité des organisations à repérer rapidement les anomalies et à intervenir de manière proactive [# 1, #3, #5]. Le niveau organisationnel intervient dans la planification et dans l'allocation des ressources, alors que le niveau opérationnel doit fonctionner avec des outils insuffisants ou moins performants. Cette contrainte est exprimée par un participant affirmant : « Sans financement, difficile d'intégrer les bons outils » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, l'insuffisance de financement pour l'acquisition et l'utilisation des outils d'analyse prédictive diminue la précision des diagnostics et affecte la qualité des décisions stratégiques [# 2, #4, #7]. Cette étape mobilise les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau organisationnel tente d'adapter les pratiques internes malgré des ressources limitées, tandis que le niveau stratégique doit arbitrer entre les priorités en matière d'investissement technologique. Un participant illustre cette contrainte en déclarant : « *Les outils avancés coûtent trop cher* » (Entrevue #4).

Enfin, au stade du traitement, le manque de moyens disponibles entrave l'automatisation et réduit la capacité des équipes à adapter rapidement les mesures correctives [# 1, #2, #6]. Cette étape sollicite les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique oriente la planification des investissements en matière d'automatisation, tandis que le niveau organisationnel met en œuvre les solutions en s'appuyant sur les ressources disponibles, souvent insuffisantes. Comme l'explique un participant, « *Les budgets ne suivent pas, donc on reste dans le manuel* » (Entrevue #2).

Les travaux de Bourbeau et al. (2025) viennent nous étayer avec des arguments plus solides. Selon eux, l'investissement public dans l'innovation doit être concentré sur des domaines stratégiques tels que la gestion des déchets, qui ont un impact environnemental important.

4.6.3 Accompagnement technique et expertise de terrain

En dehors des financements, les répondants auraient bien aimé se faire accompagner par des personnes ayant déjà de l'expertise dans le domaine de l'Intelligence artificielle. Le manque d'expertise locale en IA est perçu comme un frein à la façon de gérer les déchets dans les centres de tri. Sur cette question, un répondant met en évidence que :

« *On aurait besoin de conseillers IA qui connaissent aussi les réalités d'un centre de tri* » (Entrevue #6).

En réalité, pour répondre à ce besoin, plusieurs initiatives et ressources existent. Par exemple, le Réseau Québécois en Intelligence Artificielle (RQIA) offre des formations et du conseil permettant aux entreprises d'accompagner leurs projets en IA. De même, l'Institut québécois d'intelligence artificielle¹² (Mila, 2025) offre aussi son soutien technique et son expertise en recherche appliquée et en transfert technologique. Des programmes comme Innovation Canada (Gouvernement du Canada, 2024) donnent aussi un accès à des experts techniques et à des mentors pour appuyer l'intégration technologique.

Cette étude organise les résultats en différents niveaux de gestion. Les décisions globales à long terme relèvent du niveau stratégique. La structure interne, la collaboration entre les parties prenantes et l'ajustement des procédures font partie du niveau organisationnel. Les mesures spécifiques exécutées sur le terrain ainsi que la gestion journalière des risques appartiennent au niveau opérationnel. Le tableau 13 présente les implications du manque d'expertise dans le processus de gestion des risques :

¹² Mila. (2025). *Institut québécois d'intelligence artificielle*. Repéré à <https://mila.quebec>

Tableau 13 : Implications du manque d'expertise en IA

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Difficulté à choisir et intégrer les bons outils de détection et d'alerte précoce.	[# 1, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« On manque d'expertise pour savoir quels outils d'IA sont vraiment adaptés à nos besoins » (Entrevue #4)
Évaluation	Manque de compétences pour interpréter et exploiter les données issues des outils d'IA.	[# 2, #5, #7]	Organisationnel, Stratégique	« Les données générées par l'IA sont utiles, mais sans compétence, c'est difficile de bien les interpréter » (Entrevue #5)
Traitement	Faible capacité à concevoir et mettre en œuvre des solutions adaptées.	[# 3, #8, #9]	Stratégique, Organisationnel	« Sans expertise, on ne peut pas toujours concevoir les bonnes réponses ou automatiser les actions » (Entrevue #8)

L'étude du tableau 13 révèle que l'absence de soutien technique et d'expertise représente un obstacle majeur à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques. Cette limite se manifeste tout au long des trois étapes du processus : identification, évaluation et traitement, et nécessite divers niveaux de gestion en fonction des compétences nécessaires pour faciliter l'utilisation des outils numériques.

À l'étape de l'identification, l'absence de conseils spécialisés et de soutien technique limite la capacité des organisations à choisir et à intégrer efficacement les outils de détection et d'alerte précoce [# 1, #4, #6]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel. Sur le plan organisationnel, les responsables doivent choisir des technologies sans avoir les compétences requises, tandis que sur le terrain, les équipes rencontrent des difficultés à utiliser des outils qui ne répondent pas toujours à leurs besoins. Cette situation est illustrée par un participant affirmant : « On manque d'expertise pour savoir quels outils d'IA sont vraiment adaptés à nos besoins » (Entrevue #4).

Lors de l'évaluation, le manque de compétences pour interpréter et exploiter les données issues des outils d'IA réduit la précision des analyses et affecte la qualité des décisions [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau organisationnel doit structurer l'analyse et fournir un premier cadre d'interprétation, tandis que le niveau stratégique utilise ces analyses pour orienter les priorités en matière de prévention et d'investissement. Un participant souligne clairement cette difficulté en déclarant : « *Les données générées par l'IA sont utiles, mais sans compétence, c'est difficile de bien les interpréter* » (Entrevue #5).

Finalement, lors de l'étape de la mise en œuvre, le manque d'expertise entrave la capacité des organisations à concevoir, adapter ou automatiser des réponses appropriées aux risques identifiés [# 3, #8, #9]. Cette étape mobilise les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique doit déterminer les orientations et valider les solutions correctives, tandis que le niveau organisationnel s'occupe de leur mise en œuvre. Comme l'explique un participant, « *Sans expertise, on ne peut pas toujours concevoir les bonnes réponses ou automatiser les actions* » (Entrevue #8).

Cette affirmation est corroborée par les recherches de Monticolo et al. (2020), qui pensent que la gouvernance collaborative, nécessitant une expertise externe et une compréhension approfondie du terrain, est un prérequis crucial pour une implantation réussie de l'IA dans des domaines complexes et à risque, comme la gestion des déchets.

4.7 OPPORTUNITÉS D'INNOVATION ET DE TRANSFORMATION DURABLE GRÂCE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Cette section explore les opportunités d'innovation et de transformation durable offertes par l'intelligence artificielle afin de favoriser l'innovation et de soutenir une transformation durable du secteur des déchets.

4.7.1 Amélioration des performances environnementales

L'intelligence artificielle constitue l'un des leviers les plus souvent cités par les répondants [# 1, #3, #4 et #7]. Elle permet d'améliorer différentes performances dans le processus de gestion des risques, notamment grâce à sa contribution significative dans les opérations de tri, de collecte et de traitement des déchets. Grâce à l'automatisation de certaines tâches, l'intelligence artificielle pourrait contribuer à la réduction des erreurs humaines, à l'optimisation de la réutilisation des matériaux et à la diminution de l'enfouissement. Dans cette perspective, un répondant indique que :

« On vise le zéro déchet, et l'IA peut nous aider à atteindre cet objectif plus efficacement »
(Entrevue #4).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Les décisions stratégiques concernent les aspects globaux et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 14 présente les contributions majeures de l'IA relevées par les participants dans le cadre de la gestion des risques :

Tableau 14 : Apports de l'IA identifiés par les répondants

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Détection précoce et plus fiable des risques environnementaux.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« L'IA détecte beaucoup plus vite les anomalies qu'on ne pourrait le faire manuellement » (Entrevue #3)
Évaluation	Analyse rapide et objective des données pour mieux hiérarchiser les risques.	[# 2, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« L'analyse des données est plus rapide et beaucoup plus précise avec l'IA » (Entrevue #5)
Traitement	Automatisation des réponses, optimisation des flux et réduction des erreurs.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Opérationnel, Organisationnel	« L'automatisation réduit les erreurs humaines et accélère les interventions » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 14 montre que l'intelligence artificielle contribue de manière significative à l'amélioration des performances environnementales dans la gestion des risques. Son influence se manifeste à travers les trois étapes du processus, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, qui mobilisent différents niveaux de gestion selon la nature des apports constatés.

Au stade de l'identification, l'IA permet une détection plus précoce, plus précise et plus fiable des risques environnementaux [# 1, #3, #4, #6]. Cette contribution repose sur la mobilisation des niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel encadre la mise en place des systèmes de détection et assure leur intégration dans les procédures existantes, tandis que le niveau opérationnel utilise ces outils pour repérer rapidement les anomalies sur le terrain. Cette situation est résumée par un interlocuteur qui a déclaré : « L'IA détecte beaucoup plus vite les anomalies qu'on ne pourrait le faire manuellement » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, l'analyse rapide et objective des données issues des systèmes d'IA facilite la hiérarchisation des risques et soutient des décisions plus éclairées [# 2, #5, #7, #9]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau organisationnel traite et structure les informations produites par les systèmes, alors que le niveau stratégique s'en sert pour orienter la prise de décision en matière de prévention et de gestion des risques environnementaux. Un participant a bien résumé cet apport en disant : « *L'analyse des données est plus rapide et beaucoup plus précise avec l'IA* » (Entrevue #5).

En définitive, au stade du traitement, l'automatisation des réponses, l'optimisation des flux et la réduction des erreurs humaines améliorent considérablement l'efficacité opérationnelle [# 1, #2, #4, #6, #8]. Ces améliorations concernent principalement les niveaux opérationnel et organisationnel. Le niveau organisationnel structure et coordonne les actions à automatiser, tandis que le niveau opérationnel les met en œuvre avec une rapidité et une précision accrue. Comme l'explique un participant : « *L'automatisation réduit les erreurs humaines et accélère les interventions* » (Entrevue #6).

Selon Zhang et al. (2019), l'intelligence artificielle est considérée comme un levier stratégique pour améliorer l'efficacité opérationnelle et promouvoir l'économie circulaire. Ils soulignent que l'intégration de l'intelligence artificielle peut non seulement renforcer la durabilité écologique, mais aussi optimiser les chaînes de valeur écoresponsable.

4.7.2 Renforcement de la transparence et de la traçabilité

Plusieurs répondants [# 2, #5, #6, #9] soulignent que l'IA dispose d'un grand potentiel permettant de renforcer la transparence dans la gestion optimale des déchets. Tout ceci est possible grâce aux capteurs intelligents et différents systèmes de traçabilité automatisés. À la lumière de ces constats, un participant avance que :

« *Avec un système intelligent, on pourrait suivre chaque type de déchet, savoir d'où il vient et où il va* » (Entrevue #2).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique se concentre sur les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux mesures spécifiques exécutées sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 15 répertorie les contributions détectées par les sondés dans le cadre de la maîtrise des risques, en indiquant les niveaux de gestion correspondants :

Tableau 15 : Apports de l'IA en matière de transparence et de traçabilité

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Suivi en temps réel des flux de déchets et détection des anomalies.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« Avec le suivi en temps réel, on voit immédiatement quand un flux ne correspond pas à ce qui était prévu » (Entrevue #3)
Évaluation	Analyse fiable et documentée des flux pour mieux hiérarchiser les risques.	[# 2, #5, #7, #9]	Organisationnel, Stratégique	« L'IA fournit une analyse documentée des flux, ce qui aide énormément à prioriser les risques » (Entrevue #5)
Traitement	Traçabilité automatisée pour améliorer les réponses et renforcer la conformité.	[# 1, #2, #4, #6, #8]	Opérationnel, Organisationnel	« La traçabilité automatique nous aide à justifier nos interventions et à rester conformes » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 15 montre que l'intelligence artificielle renforce significativement la transparence et la traçabilité dans la gestion des risques liés aux déchets. Cette influence se manifeste à travers les trois étapes du processus de gestion des risques, soit l'identification, l'évaluation et le traitement, et mobilise différents niveaux de gestion selon la nature des apports observés.

À l'étape de l'identification, le suivi en temps réel des flux de déchets et la détection automatique des anomalies permettent d'améliorer le contrôle opérationnel et la réactivité des équipes [# 1, #3, #4, #6]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel encadre la mise en place des systèmes de suivi et assure leur intégration dans les procédures existantes, tandis que le niveau opérationnel utilise ces outils pour identifier immédiatement les irrégularités. Comme l'explique un participant, « *Avec le suivi en temps réel, on voit immédiatement quand un flux ne correspond pas à ce qui était prévu* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, l'analyse fiable et documentée des flux générée par les outils d'IA facilite la hiérarchisation des risques et soutient des décisions plus structurées [# 2, #5, #7, #9]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau stratégique s'occupe de l'analyse et de l'organisation des données produites par les systèmes. Le niveau organisationnel se sert de ces analyses pour établir une gestion des risques et hiérarchiser les actions. Un participant a mis en évidence cette contribution en disant : « *L'IA fournit une analyse documentée des flux, ce qui aide énormément à prioriser les risques* » (Entrevue #5).

Finalement, au stade du traitement, la traçabilité automatisée renforce la conformité réglementaire, optimise les réponses et permet une gestion plus responsable des déchets [# 1, #2, #4, #6, #8]. Cette étape mobilise principalement les niveaux opérationnel et organisationnel. Le niveau stratégique veille à ce que les procédures automatisées se conforment aux règlements et directives internes, tandis que le niveau opérationnel s'en sert pour justifier les mesures prises et garantir la transparence des activités. Cette réalité est illustrée par un participant affirmant : « *La traçabilité automatique nous aide à justifier nos interventions et à rester conformes* » (Entrevue #6).

Delen et Ram (2018) abordent dans leurs travaux l'amélioration de la traçabilité grâce à l'intelligence artificielle. Ils soulignent que les différentes technologies de suivi assistées par l'IA permettent de responsabiliser les acteurs et de réduire les détournements préjudiciables au bon fonctionnement d'une organisation.

4.7.3 Développement de nouvelles compétences professions orientées vers la durabilité

Les différents changements provoqués par l'apparition de l'IA ont également facilité la voie à la naissance de nouvelles compétences professionnelles. Les répondants [# 3, #6, #8] parlent de la création de plusieurs emplois ou opportunités spécifiquement dans la maintenance des systèmes intelligents, l'analyse profonde des données massives ou encore la gestion numérique des flux. En lien avec cet aspect, un répondant affirme que :

« Il faudra former des techniciens IA, des opérateurs de plateformes numériques... C'est tout un nouveau monde » (Entrevue #6).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique correspond aux décisions globales et à long terme, tandis que le niveau organisationnel se rapporte à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 16 présente les apports en termes de compétences et professions orientées vers la durabilité identifiés par les répondants dans le processus de gestion des risques, ainsi que les niveaux de gestion concernés :

Tableau 16 : Apports en termes de compétences et professionnel orientées vers la durabilité

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Développement de compétences permettant de reconnaître et d'intégrer les innovations technologiques.	[# 1, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« Les équipes deviennent plus à l'aise avec les nouvelles technologies, ce qui aide à mieux identifier les risques » (Entrevue #4)
Évaluation	Formation à l'analyse de données massives et aux approches prédictives.	[# 2, #5, #7]	Organisationnel, Stratégique	« La capacité à analyser de grandes quantités de données devient essentielle pour évaluer les risques » (Entrevue #5)
Traitement	Création de professions spécialisées pour exploiter et maintenir les systèmes intelligents.	[# 3, #8, #9]	Opérationnel, Organisationnel	« On commence à avoir besoin de nouveaux profils capables de gérer les systèmes intelligents au quotidien » (Entrevue #8)

L'examen du tableau 16 révèle que l'intégration de l'intelligence artificielle stimule le développement de compétences professionnelles axées vers la durabilité. Cette influence se manifeste à travers les trois étapes du processus de gestion des risques : identification, évaluation et traitement. Elle mobilise différents niveaux de gestion selon les compétences requises pour accompagner cette transition technologique.

Au stade de l'identification, les acteurs acquièrent des compétences leur permettant de déceler, comprendre et intégrer les innovations technologiques, ce qui renforce l'efficacité de l'organisation et de ses opérations [# 1, #4, #6]. Le niveau organisationnel fournit des formations et des dispositifs de soutien technologique, tandis que le niveau opérationnel applique directement ces nouvelles compétences pour améliorer la capacité de détection des risques. Cette vérité est mise en évidence par un participant qui déclare :

« *Les équipes deviennent plus à l'aise avec les nouvelles technologies, ce qui aide à mieux identifier les risques* » (Entrevue #4).

Lors de l'évaluation, la formation à l'analyse des données massives et aux approches prédictives soutient une approche plus structurée, rigoureuse et stratégique de la gestion des risques [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau organisationnel régit le développement des compétences en analyse de données, tandis que le niveau stratégique utilise ces connaissances pour guider les décisions et optimiser la hiérarchisation des risques. Un participant a bien résumé ce phénomène en disant : « *La capacité à analyser de grandes quantités de données devient essentielle pour évaluer les risques* » (Entrevue #5).

Enfin, lors de la phase de traitement, la création de professions spécialisées consacrées à l'exploitation et à la maintenance des systèmes intelligents renforce les capacités opérationnelles et favorise une gestion durable, novatrice et mieux adaptée aux réalités technologiques émergentes [# 3, #8, #9]. Cette étape mobilise les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel encadre l'apparition de nouveaux rôles, tels que des spécialistes en IA ou des analystes de systèmes intelligents. Le niveau opérationnel assure la mise en œuvre quotidienne de ces nouvelles expertises. Un participant a clairement exprimé cette évolution en déclarant : « *On commence à avoir besoin de nouveaux profils capables de gérer les systèmes intelligents au quotidien* » (Entrevue #8).

Ces points de vue sont en harmonie avec les conclusions de Wang et al., (2023), qui soutiennent que l'intelligence artificielle révolutionne profondément les marchés du travail. Selon ces chercheurs, l'IA favorise la transition vers une économie centrée sur la valeur des connaissances et de l'innovation technologique, tout en contribuant au développement durable en créant des emplois axés sur la durabilité. L'apparition de ces compétences récentes souligne également l'importance d'établir des plans de formation sur mesure, pour soutenir le développement professionnel du personnel et favoriser une intégration efficace et responsable de l'IA dans la gestion des déchets.

4.7.4 Création de modèles territoriaux collaboratifs

Plusieurs intervenants [# 5, #7, #9] envisagent le développement de la collaboration entre l'IA et l'intelligence territoriale,¹³ qui est la capacité d'un territoire à mobiliser et partager des informations, ressources et compétences entre acteurs locaux afin de coconstruire des solutions adaptées, optimiser la gestion des déchets et anticiper les risques, en particulier à travers la mise en commun des ressources technologiques, humaines, informationnelles et le partage de données entre municipalités, centres de tri et firmes spécialisées dans la gestion des déchets (Masselot, 2022). À ce sujet, un participant mentionne que :

« Avec l'IA, on pourrait créer un réseau interconnecté entre régions pour mieux répartir les flux de déchets » (Entrevue #9).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 17 illustre les apports et niveaux de gestion concernés par la création de modèles territoriaux collaboratifs dans le processus de gestion des risques :

¹³ Masselot, C. (2022). *L'intelligence territoriale : Mise à jour*. Consulté le 1er octobre 2025, sur <https://cyrilmasselot.org/intelligence-territoriale-mise-a-jour/>

Tableau 17 : Apports des modèles territoriaux collaboratifs

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Mutualisation des données et des capacités analytiques pour identifier plus efficacement les risques émergents.	[# 1, #3, #5]	Organisationnel, Stratégique	« <i>Quand plusieurs organisations partagent leurs données, on repère les risques beaucoup plus rapidement</i> » (Entrevue #3)
Évaluation	Partage d'outils et d'analyses pour une évaluation collective et plus précise des risques.	[# 2, #4, #7]	Organisationnel, Stratégique	« <i>Les évaluations deviennent plus fiables dès que l'on combine nos analyses avec celles des partenaires</i> » (Entrevue #4)
Traitement	Coordination interinstitutionnelle pour un traitement optimal et adapté des risques identifiés.	[# 1, #2, #6]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	« <i>Une meilleure coordination entre acteurs permet de mettre en place des actions beaucoup plus efficaces</i> » (Entrevue #2)

L'analyse du tableau 17 montre que les modèles territoriaux collaboratifs jouent un rôle clé dans l'intégration de l'intelligence artificielle pour la gestion des risques liés aux déchets. Ces modèles favorisent une mise en commun des ressources, une mutualisation des données et une coordination renforcée entre organisations, ce qui améliore l'efficacité des interventions à toutes les étapes du processus de gestion des risques : l'identification, l'évaluation et le traitement.

À l'étape de l'identification, la mutualisation des données et des capacités analytiques permet de détecter plus rapidement et plus efficacement les risques émergents [# 1, #3, #5]. Cette dynamique mobilise les niveaux organisationnel et stratégique. Au niveau organisationnel, les données partagées sont intégrées dans les systèmes internes, tandis qu'au niveau stratégique, les décisions s'appuient sur une vision élargie construite grâce à la collaboration territoriale. Cela se voit chez un individu qui affirme : « *Quand*

plusieurs organisations partagent leurs données, on repère les risques beaucoup plus rapidement » (Entrevue #3).

Pendant l'évaluation, la collaboration entre partenaires pour partager des outils et discuter d'analyses permet d'obtenir une évaluation collective plus rigoureuse et plus précise des risques [# 2, # 4, # 7]. Cette étape mobilise également les niveaux organisationnel et stratégique. Le niveau organisationnel structure les analyses produites par les différents acteurs, tandis que le niveau stratégique utilise ces informations combinées pour établir la priorité des risques et harmoniser les décisions. Un participant souligne bien cet apport en déclarant : *« Les évaluations deviennent plus fiables dès que l'on combine nos analyses avec celles des partenaires » (Entrevue #4).*

Enfin, au stade du traitement, la coordination interinstitutionnelle permet de mettre en œuvre des réponses plus adaptées, plus rapides et plus efficaces [# 1, #2, #6]. Cette étape implique les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Au niveau stratégique, les organisations harmonisent leurs orientations et définissent des actions concertées. Au niveau organisationnel, elles coordonnent les interventions et les répartissent entre les acteurs. Au niveau opérationnel, les équipes sur le terrain bénéficient de cette coordination accrue pour agir plus efficacement. Comme l'explique un des participants : *« une meilleure coordination entre acteurs permet de mettre en place des actions beaucoup plus efficaces » (Entrevue #2).*

Monticolo et al. (2020) soulignent dans leurs analyses que la gouvernance collaborative constitue un levier important des technologies numériques. De plus, ils mettent en évidence que l'harmonisation des diverses pratiques, les choix de décision plus éclairés à l'échelle territoriale et l'intégration de systèmes intelligents favorisent l'élaboration optimale de différentes solutions. Ce type de modèle territorial collaboratif soulève également plusieurs défis, notamment en matière de gouvernance, de normalisation et de protection des données. Il est donc nécessaire qu'un cadre institutionnel clair soit mis en place pour que les protocoles d'échange sécurisés puissent être coordonnés de manière efficace et que l'engagement continu des parties prenantes soit assuré.

4.8 VERS UNE NOUVELLE GOUVERNANCE DES RISQUES PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Cette section examine une nouvelle façon de gouverner des risques grâce à l'intelligence artificielle. Elle met de l'avant le rôle stratégique de l'IA dans l'anticipation et la gestion proactive des risques. Elle souligne également l'importance des données massives pour la prise de décision ainsi que la nécessité d'une gouvernance intégrée et collaborative impliquant l'ensemble des parties prenantes.

4.8.1 Intelligence artificielle comme levier stratégique

Il ressort clairement des entrevues que l'IA est bien plus qu'un simple outil technologique : c'est un élément clé du développement d'une organisation. Plusieurs répondants [# 2, #4, #6, #8] sont convaincus que l'IA contribue positivement à une meilleure prévision, modélisation et réaction face aux divers risques, particulièrement dans des contextes marqués par l'incertitude. À cet égard, un répondant souligne que :

« On commence à utiliser des outils d'IA pour prédire les pics d'activité ou détecter les comportements à risque » (Entrevue #6).

Cette analyse présente les résultats selon différents niveaux de gestion. Le premier est celui des décisions stratégiques, qui concernent les choix globaux et à long terme. Le niveau organisationnel se réfère à la structure interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des procédures. Le niveau opérationnel concerne les mesures concrètes appliquées sur le terrain ainsi que la gestion quotidienne des risques. Le tableau 18 illustre les avantages stratégiques de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques :

Tableau 18 : Apports stratégiques de l'IA

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Détection précoce des risques grâce à l'analyse prédictive et aux systèmes de surveillance basés sur l'IA.	[# 1, #3, #4]	Stratégique, Organisationnel	<i>« L'analyse prédictive nous aide à identifier les risques bien avant qu'ils deviennent problématiques » (Entrevue #3)</i>
Évaluation	Modélisation avancée des scénarios et évaluation précise de la probabilité et de l'impact des risques.	[# 2, #5, #7]	Stratégique, Organisationnel	<i>« L'IA permet de simuler plusieurs scénarios et d'avoir une vision beaucoup plus précise des impacts possibles » (Entrevue #5)</i>
Traitement	Mise en œuvre de réponses proactives et ajustées en temps réel grâce aux systèmes intelligents.	[# 1, #2, #6, #8]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	<i>« Les outils d'IA nous permettent de réagir immédiatement, avec des actions ajustées en temps réel » (Entrevue #6)</i>

L'analyse du tableau montre que l'intelligence artificielle constitue un levier stratégique majeur pour la gestion des risques, en soutenant l'ensemble du processus, de l'identification à l'évaluation et au traitement, grâce à ses capacités prédictives, analytiques et adaptatives mobilisant plusieurs niveaux de gestion.

Lors de la phase d'identification, les outils prédictifs et les systèmes de surveillance fondés sur l'IA améliorent considérablement la capacité de prévision des risques et renforcent la vigilance organisationnelle et stratégique [# 1, #3, #4]. Le niveau stratégique oriente les investissements et régit l'intégration des dispositifs de surveillance, tandis que le niveau opérationnel s'assure de leur déploiement et de leur utilisation dans les activités quotidiennes. Un participant affirmant : *« L'analyse prédictive nous aide à identifier les risques bien avant qu'ils deviennent problématiques »* (Entrevue #3) illustre cette réalité.

Pendant l'évaluation, les techniques avancées de modélisation des scénarios et l'analyse approfondie des données permettent une hiérarchisation plus rigoureuse des risques [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique se fonde sur les simulations pour éclairer les décisions cruciales, tandis que le niveau organisationnel orchestre l'analyse, structure les données et assure l'interprétation des résultats produits par les systèmes d'IA. Un participant résume bien cet apport en affirmant que : « *L'IA permet de simuler plusieurs scénarios et d'avoir une vision beaucoup plus précise des impacts possibles* » (Entrevue #5).

Enfin, lors de la phase du traitement, l'intelligence artificielle (IA) permet la mise en place de réponses proactives, rapides et adaptatives en temps réel grâce à des systèmes intelligents [# 1, #2, #6, #8]. Cette étape mobilise simultanément les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Le niveau stratégique établit les orientations et approuve les mesures correctives. Le niveau organisationnel coordonne leur mise en œuvre et adapte les procédures. Enfin, le niveau opérationnel exécute les interventions sur le terrain. Comme l'explique un participant, « *Les outils d'IA nous permettent de réagir immédiatement, avec des actions ajustées en temps réel* » (Entrevue #6).

Boisot et Canals (2004) partagent cette perspective en caractérisant la gestion des risques comme une démarche intellectuelle où l'acquisition et l'exploitation des savoirs occupent une place centrale. En d'autres termes, l'intelligence artificielle sert de catalyseur pour renforcer les compétences d'analyse et de prévision, et pour aider à l'élaboration de décisions stratégiques. L'IA, utilisée comme un outil stratégique, impacte directement les mécanismes de gestion des risques à divers échelons.

4.8.2 Gouvernance intégrée et collaborative des risques

Plusieurs participants estiment que le concept de « *gestion des risques* » devrait être revu à l'ère de la transformation numérique et de l'IA. Pour eux, la gestion des risques ne peut pas seulement être assignée à un département unique. Il ne s'agit plus de déléguer la sécurité à un service autonome, mais plutôt de l'intégrer à la gestion des risques dans tous les processus de l'organisation, en impliquant les parties prenantes clés, telles que les opérateurs, les techniciens, les dirigeants et les communautés locales. C'est donc une forme

de gouvernance élargie qui s'écarte des structures hiérarchiques traditionnelles et qui vise à établir un cadre organisationnel fondé sur la copropriété, l'échange de savoirs et la reconnaissance mutuelle des rôles. À la lumière de ces constats, un participant avance que :

« La gestion des risques, ce n'est plus seulement le rôle de la direction. Tout le monde, peu importe son niveau dans l'organisation, doit être concerné et impliqué » (Entrevue #4).

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel renvoie à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel se réfère aux actions concrètes sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 19 résume les attentes en matière de gouvernance intégrée et collaborative des risques à différents échelons de l'organisation.

Tableau 19 : Apports d'une gouvernance intégrée et collaborative

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Mobilisation collective des connaissances pour détecter et anticiper les risques émergents.	[# 1, #3, #5]	Organisationnel, Stratégique	« <i>Quand tout le monde met son expertise en commun, on identifie les risques beaucoup plus tôt</i> » (Entrevue #3)
Évaluation	Croisement des expertises internes et externes pour améliorer l'analyse et la hiérarchisation des risques.	[# 2, #4, #7]	Stratégique, Organisationnel	« <i>Le regard croisé des équipes internes et des partenaires améliore énormément la qualité de l'évaluation</i> » (Entrevue #4)
Traitement	Construction collective de solutions adaptées favorisant l'appropriation et la mise en œuvre concertée des actions.	[# 1, #2, #6]	Organisationnel, Opérationnel	« <i>Quand les solutions sont construites ensemble, leur mise en œuvre devient beaucoup plus naturelle</i> » (Entrevue #6)

L'analyse du tableau 19 montre que la gouvernance intégrée et collaborative des risques encourage une démarche collective et concertée au sein des organisations. Cette dynamique se manifeste à travers les trois étapes du processus de gestion des risques (identification, évaluation et traitement), en engageant divers niveaux de gestion grâce aux compétences combinées.

À l'étape de l'identification, la mobilisation collective des connaissances permet de détecter et d'anticiper plus efficacement les risques émergents [# 1, #3, #5]. Cette collaboration nécessite une coordination au niveau organisationnel, qui favorise l'échange d'informations et la création d'espaces de travail collaboratifs entre les équipes, ainsi qu'une orientation stratégique, qui met en valeur ces connaissances partagées pour établir

des priorités en matière de prévention. Selon un participant : « *Quand tout le monde met son expertise en commun, on identifie les risques beaucoup plus tôt* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, le croisement des expertises internes et externes améliore considérablement l'analyse et la hiérarchisation des risques [# 2, #4, #7]. Cette étape mobilise les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau organisationnel structure et intègre les apports des différents acteurs, alors que le niveau stratégique utilise ces analyses enrichies pour renforcer la qualité et la précision des décisions. Un participant souligne l'importance de cette contribution en déclarant : « *Le regard croisé des équipes internes et des partenaires améliore énormément la qualité de l'évaluation* » (Entrevue #4).

Enfin, au stade de la mise en œuvre, la collaboration entre les différents acteurs dans l'élaboration de solutions adaptées facilite la coordination des actions et renforce la cohésion au sein de l'organisation [# 1, #2, #6]. Cette étape implique les niveaux organisationnel et opérationnel. Le niveau organisationnel définit le cadre et coordonne la construction collective des solutions, tandis que le niveau opérationnel les applique avec une plus grande appropriation, ce qui rend l'intervention plus fluide et efficace. Cette dynamique est illustrée par un participant qui affirme : « *Quand les solutions sont construites ensemble, leur mise en œuvre devient beaucoup plus naturelle* » (Entrevue #6).

Ce changement de paradigme rejoint les travaux de Renn (2008), qui défend une prise de décision collective en matière de risques. Dans ce modèle, la transparence des informations, la diversité des informations mobilisées deviennent un maillon important. Il s'agit, entre autres, d'anticiper davantage les risques, de renforcer la prise de décision et d'assurer une meilleure acceptabilité sociale pour les projets technologiques et environnementaux.

4.8.3 Vers une gestion proactive

L'analyse des entretiens met en lumière un changement profond de la façon d'aborder la gestion des risques. Alors que les approches classiques reposent sur une logique réactive, l'IA ouvre la voie à une gestion prédictive et proactive à travers une anticipation des dangers. Ce changement vient renforcer les travaux des auteurs, comme Reason (1997) et Amalberti (2001) ; ils défendent la construction de systèmes tournés vers la résilience plutôt que défensives. Cette dynamique est illustrée par les propos d'un répondant :

« Avant, on réagissait aux incidents. Maintenant, on veut les prévenir, les voir venir »
(Entretien #2).

Cette transition est particulièrement observable grâce à la mise en œuvre graduelle de capteurs intelligents, de tableaux de bord alimentés par des algorithmes d'apprentissage automatique et de systèmes de surveillance basés sur l'apprentissage machine, tout en améliorant ainsi la capacité des organisations à gérer un risque avant sa matérialisation.

Dans cette analyse, les résultats sont présentés selon différents niveaux de gestion. Le niveau stratégique concerne les décisions globales et à long terme. Le niveau organisationnel se réfère à la structuration interne, à la coordination des acteurs et à l'adaptation des processus. Le niveau opérationnel correspond aux actions concrètes mises en œuvre sur le terrain et à la gestion quotidienne des risques. Le tableau 20 illustre ce cheminement et met en évidence les changements spécifiques de l'IA dans une approche préventive :

Tableau 20 : Apports de l'IA pour une gestion proactive

Processus de gestion des risques	Description	Numéros d'entrevue	Niveaux de gestion concernés	Citations représentatives
Identification	Détection anticipée des anomalies grâce à des capteurs intelligents et systèmes prédictifs.	[# 1, #3, #4, #6]	Organisationnel, Opérationnel	<i>« Les systèmes prédictifs nous alertent avant même que le problème arrive » (Entrevue #3)</i>
Évaluation	Modélisation prédictive des risques et estimation de probabilité et d'impact avant leur survenue.	[# 2, #5, #7]	Stratégique, Organisationnel	<i>« La modélisation prédictive nous aide à prévoir les risques qui pourraient arriver ainsi que leur ampleur » (Entrevue #5)</i>
Traitement	Mise en œuvre anticipée d'actions correctives, adaptation en temps réel et optimisation des processus.	[# 1, #2, #6, #8]	Stratégique, Organisationnel, Opérationnel	<i>« Grâce à l'IA, on peut agir avant que le risque se matérialise et ajuster nos actions en temps réel » (Entrevue #6)</i>

L'analyse du tableau 20 montre que l'intégration de l'intelligence artificielle favorise une gestion proactive des risques. Elle permet aux organisations de passer d'une logique essentiellement réactive à une logique d'anticipation des événements. Cette dynamique est visible à travers les trois phases du processus de gestion des risques : identification, évaluation et traitement. Elle implique différents niveaux de direction en fonction des technologies utilisées.

À l'étape de l'identification, l'utilisation de capteurs intelligents et de systèmes prédictifs permet de détecter précocement les anomalies et de renforcer considérablement la vigilance organisationnelle et opérationnelle [# 1, #3, #4, #6]. Le niveau organisationnel régit l'intégration de ces systèmes dans les procédures existantes, tandis que le niveau opérationnel s'appuie sur ces alertes anticipées pour repérer les signaux faibles avant qu'ils ne s'aggravent.

Cette contribution est illustrée par un participant affirmant : « *Les systèmes prédictifs nous alertent avant même que le problème arrive* » (Entrevue #3).

Lors de l'évaluation, la modélisation prédictive des risques permet d'estimer la probabilité et l'ampleur des événements avant leur survenue, ce qui soutient une prise de décision stratégique plus éclairée [# 2, #5, #7]. Cette étape sollicite les niveaux stratégique et organisationnel. Le niveau stratégique oriente les priorités de prévention et optimise les plans d'intervention à partir des résultats des modèles prédictifs. Quant au niveau organisationnel, il structure les données nécessaires à ces simulations. Un participant a bien résumé cette contribution en disant ceci : « *La modélisation prédictive nous permet de prévoir les risques qui pourraient survenir ainsi que leur ampleur* » (Entrevue #5).

Enfin, lors de la phase du traitement, l'IA facilite la mise en œuvre anticipée de mesures correctives tout en permettant une adaptation en temps réel lors de l'évolution des situations [# 1, #2, #6, #8]. Cette étape mobilise simultanément les niveaux stratégiques, organisationnels et opérationnels. Le niveau stratégique définit les orientations d'intervention proactive, le niveau organisationnel coordonne les ajustements de processus, et le niveau opérationnel applique concrètement ces actions sur le terrain, en ajustant les interventions au fur et à mesure des informations fournies par les systèmes intelligents. Comme l'explique un participant : « *Grâce à l'IA, on peut agir avant que le risque se matérialise et ajuster nos actions en temps réel* » (Entrevue #6).

Ces résultats mettent en évidence le fait que l'intelligence artificielle transforme la gestion des risques en un processus plus préventif et réactif, capable de minimiser les répercussions et d'améliorer la sécurité globale des opérations. Ces conclusions s'alignent sur les travaux de Reason (1997) et d'Amalberti (2001). Pour Reason (1997), la sécurité organisationnelle repose sur la capacité à identifier les « *défaillances latentes* » avant qu'elles ne se manifestent, en s'appuyant sur une vigilance constante et des mécanismes de défense successifs. Amalberti (2001) met de l'avant que les organisations doivent développer une

capacité d'adaptation et de résilience en anticipant les imprévus et en ajustant en continu leurs pratiques pour atteindre un niveau de sécurité « *ultra-sûr* ».

CHAPITRE 5

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le chapitre précédent révèle une dynamique complexe et variée dans l'intégration de l'IA dans la gestion des déchets au Québec. Le présent chapitre a pour but de mettre en évidence les principales relations entre l'analyse thématique et les cadres théoriques présentés dans la revue de littérature, tout en mettant en lumière les retombées potentielles pour la recherche et la pratique professionnelle ainsi que les limites de cette étude. Cette discussion vise également à répondre aux questions de recherche de l'étude, en particulier l'analyse des perceptions des acteurs du secteur, la compréhension des changements dans les pratiques de gestion des risques liés à l'IA et l'identification des avantages et défis associés à son utilisation.

5.1 CORRESPONDANCE ENTRE LES THÉMATIQUES ET LES SOUS-QUESTIONS DE RECHERCHE

Les quatre thématiques sur lesquelles s'est basée l'analyse des données recueillies permettent d'apporter des éléments de réponse, complets ou partiels à l'une ou plusieurs des sous-questions de recherche formulées antérieurement.

Les thèmes abordés, tels que « *Perceptions des acteurs face à l'intelligence artificielle* » ou encore « *Changements dans les pratiques de gestion des risques* », se situent dans la logique interprétative du projet. Ils permettent de comprendre en profondeur les mécanismes par lesquels les acteurs expriment, perçoivent et évaluent l'intégration de l'IA dans le secteur des déchets. La thématique portant sur « *Avantages et défis de l'IA dans la gestion des déchets* » est complémentaire de celle sur les changements pratiques, car elle permettra de comparer les bénéfices et obstacles perçus par les acteurs avec les impacts concrets observés dans la gestion des risques. Les aspects liés à l'influence transformative

globale de l'IA permettent de relier les perceptions individuelles, les changements pratiques et les avantages/défis identifiés. Ils offrent ainsi une vue d'ensemble de l'impact de l'IA sur le secteur des déchets. Ces thèmes ont joué un rôle transversal dans l'analyse, chacun éclairant une dimension spécifique de la question générale de cette recherche. Le Tableau 21 présente cette correspondance.

Tableau 21: Correspondance entre thématiques et sous-questions de recherche

Thématique de recherche	Sous-question(s) de recherche associée	Justification
Perceptions des acteurs face à l'intelligence artificielle	Comment les différents acteurs (entreprises, municipalités, consultants) perçoivent-ils l'utilisation de l'IA dans la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec ?	Cette thématique explore les points de vue subjectifs des acteurs, permettant de comprendre comment l'IA est perçue et quelles attentes ou inquiétudes elle suscite. Elle éclaire la dimension humaine et organisationnelle de l'acceptation de l'IA.
Changements dans les pratiques de gestion des risques	Quels changements concrets dans les pratiques de gestion des risques sont observés pour donner suite à l'intégration de l'IA dans le secteur des déchets ?	Cette thématique examine l'effet direct de l'IA sur les méthodes et procédures utilisées pour gérer les risques. Elle permet de relier les perceptions à des transformations pratiques et opérationnelles.
Avantages et défis de l'IA dans la gestion des déchets	Quels sont les principaux avantages et défis associés à l'utilisation de l'IA dans la gestion des risques du secteur des déchets ?	Cette thématique identifie les bénéfices tangibles (efficacité, précision, prévention) et les obstacles (coût, compétences, acceptation) liés à l'intégration de l'IA, offrant une vue complète sur son impact stratégique et opérationnel.
Influence transformative globale de l'IA	Dans quelle mesure l'IA transforme-t-elle globalement la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec ?	Cette thématique synthétise les perceptions, les changements pratiques et les avantages/défis pour évaluer l'effet global et la portée transformative de l'IA dans la gestion des risques.

Ce dialogue entre les données recueillies et la littérature scientifique sur la gestion de projets permettra de mettre en lumière les similitudes, les tensions, mais aussi les apports de notre étude dans le champ de la gestion des risques et des déchets au Québec. Cela nous permettra de répondre à notre question de recherche, qui est : « *Comment l'intelligence artificielle transforme-t-elle qualitativement la gestion des risques dans le secteur des déchets au Québec en influençant les perceptions, pratiques, avantages et défis perçus par les acteurs ?* ».

5.2 ANALYSE DES PERCEPTIONS DES ACTEURS IMPLIQUÉS DANS LE SECTEUR DES DÉCHETS

L'analyse des données recueillies montre que la perception de l'IA au sein du secteur des déchets varie considérablement selon les catégories d'acteurs. Leur rôle dans l'organisation et leur exposition aux technologies numériques influencent également leur perception. Les gestionnaires municipaux, les dirigeants d'entreprises privées et les consultants environnementaux ne partagent pas une vision homogène de l'IA : chacun la perçoit à travers le prisme de ses priorités, de ses contraintes et de ses expériences professionnelles. Cette diversité de points de vue constitue à la fois une contribution pratique, puisqu'elle reflète les réalités terrain et une contribution théorique, car elle illustre la manière dont les cadres existants peuvent être mobilisés pour analyser des contextes organisationnels réels.

Les responsables municipaux voient surtout l'intelligence artificielle comme un outil stratégique pour l'élaboration de plans et la prévention d'incidents. Dans les centres de tri et de récupération, où ils font face à une augmentation du volume, à la présence de matières dangereuses, telles que les batteries au lithium, ainsi qu'à la pression citoyenne pour une meilleure performance environnementale, l'IA est perçue comme un levier permettant d'améliorer la fiabilité des opérations et la sécurité des installations. Ces observations rejoignent celles d'Akter et al. (2018) et de Bourbeau et al. (2025), qui considèrent l'IA

comme un instrument d'optimisation des décisions stratégiques et de gestion des risques complexes.

Selon la norme ISO 31000 (ISO, 2018), cette perception correspond à la dimension « *leadership et engagement* », car les dirigeants municipaux voient l'IA comme un moyen de diriger la gestion des risques vers une vision plus proactive et structurée. Les répondants interrogés illustrent bien ce phénomène : par exemple, un directeur de centre de tri déclare que l'IA permet de réduire les incidents d'explosions de batteries, ce qui correspond directement aux exigences réglementaires de prévention.

Les dirigeants d'entreprises privées, pour leur part, mettent l'accent sur les avantages opérationnels de l'IA. Ils soulignent sa capacité à réduire les erreurs humaines, à améliorer la détection d'anomalies et à renforcer la productivité des installations grâce à des systèmes automatisés de tri optique et de reconnaissance d'images. Les répondants interrogés considèrent souvent l'IA comme une solution immédiate au manque de main-d'œuvre et à la nécessité d'accroître les rendements à moindre coût. Cette vision correspond aux recherches de Bareither et al. (2013) et de Cui et al. (2020) montrant que la numérisation et l'automatisation peuvent améliorer l'efficacité des procédés industriels et réduire la fluctuation inhérente à l'intervention humaine.

Cette approche pratique correspond également à une contribution théorique, puisqu'elle s'inscrit dans le modèle sociotechnique, selon lequel les technologies influencent et redéfinissent les routines quotidiennes. Dans les entreprises analysées, plusieurs opérateurs ont confirmé que les systèmes optiques intelligents réduisent les erreurs humaines, ce qui rend les tâches moins pénibles et plus sûres.

Les consultants en environnement adoptent, pour leur part, une vision plus analytique de l'IA. Ils mettent en évidence son potentiel pour révolutionner la gestion des données volumineuses générées par les systèmes de collecte, de classement et de traitement des ordures. Les informations recueillies par les capteurs, les balances et les systèmes de suivi

GPS restent souvent sous-exploitées en raison du manque d'intégration entre les plateformes. Selon Fang et al. (2023) et LeCun et al. (2015), l'intelligence artificielle permet de centraliser et d'interpréter ces données, ce qui améliore la compréhension systémique des flux, soutient les décisions et renforce la transparence.

Cette dynamique est cohérente avec la théorie des compétences dynamiques de Teece (2007), qui énonce qu'une organisation prospère est capable de collecter, de métamorphoser et de réorganiser ses ressources et informations pour générer un avantage concurrentiel. De nombreux consultants mettent en évidence que les données sont déjà présentes dans les entreprises, mais que seule l'IA leur permet de se transformer en un véritable catalyseur stratégique.

En général, les avis exprimés montrent que l'IA n'est pas considérée comme une alternative à l'être humain, mais bien comme un outil supplémentaire qui accroît l'efficacité, la sécurité et la collaboration. Cette constatation est corroborée par les recherches de Huang et Rust (2018) et de Mazzucchi (2018), qui décrivent l'IA comme un catalyseur de l'intelligence collective et non comme un facteur de substitution.

Ces résultats correspondent également au principe d'amélioration continue d'« *ISO 31000* », car les acteurs considèrent l'IA comme un moyen de renforcer l'apprentissage organisationnel plutôt que de remplacer les ressources humaines.

Il est manifeste que des divergences de point de vue existent entre les différents échelons hiérarchiques, ce qui met en évidence un écart entre les aspirations stratégiques et les capacités opérationnelles. Cette constatation souligne l'importance d'un appui accru envers les acteurs de terrain. Cette situation illustre parfaitement le concept de « maturité numérique », où les dirigeants sont convaincus du potentiel de l'IA, mais où les contraintes techniques et humaines limitent son adoption. L'analyse des entreprises confirme que ce manque d'harmonisation représente un défi majeur pour la transition numérique dans le secteur québécois des déchets.

5.3 CHANGEMENTS DANS LES PRATIQUES DE GESTION DES RISQUES CAUSÉS PAR L'INTÉGRATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les résultats montrent clairement que l'IA révolutionne la gestion des risques à toutes les étapes du processus, conformément aux approches décrites dans le cadre de référence ISO 31000 (ISO, 2018). Cette transformation se manifeste particulièrement dans trois dimensions : l'identification, l'évaluation et le traitement.

Dans la phase d'identification, les systèmes de vision artificielle et les capteurs intelligents, associés à des algorithmes prédictifs, permettent une détection précoce des anomalies et des incidents potentiels. Dans le contexte québécois, où les centres de tri sont confrontés à des risques d'incendie récurrents causés par des objets explosifs ou des batteries mal triées, cette capacité constitue une avancée majeure. Les outils d'analyse en temps réel, en lien avec les travaux de Fang et al. (2023) et de Bourbeau et al. (2025) contribuent à réduire la dépendance à la vigilance humaine et à accroître la sécurité. Cette capacité accrue d'identification correspond directement au premier pilier d'ISO 31000 : comprendre le contexte et les sources de risques. Dans les entreprises étudiées, certains superviseurs estiment que des dispositifs intelligents auraient pu contribuer à réduire la probabilité de ces incidents grâce à des détecteurs intelligents plutôt qu'à des humains.

Au niveau de l'évaluation, les technologies d'IA permettent de modéliser des scénarios, d'identifier les risques en fonction de leur importance, ainsi que de prévoir les impacts. Elles s'appuient pour ce faire sur des séries chronologiques et sur des indicateurs clés. Cette approche quantitative, fondée sur la donnée, rejoint les recommandations d'Akter et al. (2018) et de l'ISO (2018), qui soulignent la pertinence d'une gestion des risques axée sur la prévision et l'analyse systémique plutôt que sur la réaction à l'incident. L'évaluation gagne ainsi en structure et en objectivité grâce à des algorithmes capables de déceler des corrélations invisibles à l'œil humain. Ces observations renforcent l'idée que l'IA permet de passer d'un raisonnement intuitif à un raisonnement probabiliste, ce qui constitue un changement majeur dans les organisations rencontrées.

Enfin, dans la phase de traitement, les outils d'IA favorisent l'introduction de la maintenance prédictive, laquelle consiste à anticiper les défaillances d'équipements avant qu'elles ne surviennent. L'entretien des convoyeurs, compacteurs et systèmes optiques est optimisé, réduisant les interruptions de service et les coûts d'immobilisation. Ces résultats sont en ligne avec les travaux de Monticolo et al. (2020) et de Morello et al. (2016), qui démontrent que l'entretien soutenu par l'intelligence artificielle est un élément clé des organisations proactives et résilientes. Dans plusieurs entreprises interrogées, les gestionnaires reconnaissent que les arrêts d'urgence et les pannes imprévues représentent des pertes financières majeures, ce qui explique l'intérêt croissant pour les solutions de maintenance prédictive.

L'ensemble de ces constats confirme que l'intégration de l'IA conduit à une réorganisation complète de la gestion des risques, qui passe d'une logique réactive à une logique prédictive et adaptative. De plus, elle favorise une approche collaborative, où les données, les outils et les acteurs interagissent de manière plus intégrée. Cette évolution correspond à la littérature sur les organisations apprenantes, démontrant que l'IA n'est pas seulement un outil technique, mais un levier structurant qui redéfinit les modèles décisionnels et organisationnels.

5.4 AVANTAGES ET DÉFIS LIÉS À L'UTILISATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intégration de l'IA dans la gestion des risques présente plusieurs avantages. Les participants évoquent l'amélioration de la sécurité, l'optimisation de la gestion des déchets et l'appui à la prise de décisions stratégiques (Wang et al., 2023). Dans des domaines à haut risque, tels que les incendies, les blessures, la contamination croisée et l'encombrement des installations, l'intelligence artificielle émerge comme une solution concrète et durable pour réduire les dangers et améliorer les conditions de travail. Elle permet également d'identifier des possibilités de valorisation des déchets, notamment la production de biogaz ou de biochar, et d'encourager des pratiques circulaires favorisant ainsi l'optimisation des flux de déchets (Geissdoerfer et al., 2017)

Cette dynamique crée de nouveaux modèles économiques dans lesquels la gestion des déchets ne se limite plus à un enjeu environnemental, mais devient aussi un levier de création de richesse.

Cependant, plusieurs défis persistent et freinent une intégration fluide des technologies d'IA dans les organisations. En effet, le manque de compétences techniques constitue un défi majeur, puisque de nombreuses sociétés ne possèdent pas l'expertise pour comprendre, créer ou entretenir les outils d'IA. Cette contrainte crée une dépendance envers des fournisseurs externes et ralentit l'assimilation interne des technologies. À cela s'ajoutent les coûts élevés d'implantation, qui représentent une barrière importante. Ils le sont encore plus pour les petites organisations. Elles doivent prévoir des investissements considérables, notamment pour l'achat de nouveaux équipements, l'adaptation des infrastructures et la formation du personnel. La résistance au changement constitue également un défi important. Certains employés s'inquiètent que l'automatisation modifie ou remplace leurs tâches, ce qui suscite des craintes quant à la stabilité de leur emploi. On a observé ce phénomène dans les entreprises rencontrées, où plusieurs employés de ligne exprimaient une crainte de remplacement, tandis que les gestionnaires insistaient plutôt sur le rôle d'aide de l'IA. Enfin, les questions éthiques liées à la responsabilité des décisions automatisées compliquent également l'adoption. Selon Makridakis (2017) et Mazzucchi (2018), il est toujours difficile de déterminer qui est responsable lorsqu'un système intelligent se trompe ou provoque un incident, ce qui incite les organisations à être prudentes face à ces technologies. Le défi de l'adaptation au changement est également important : certains employés s'inquiètent que l'automatisation modifie ou remplace leurs tâches, tandis que les gestionnaires insistent plutôt sur le rôle d'assistance de l'IA. Dans ce contexte, le décalage observé entre les perceptions des employés et celles des gestionnaires montre l'importance d'une communication claire et d'un accompagnement structuré. Cela est conforme aux recommandations de l'ISO 31000.

Ces constats mettent en évidence la nécessité d'un leadership approprié et d'une stratégie organisationnelle structurée, incluant des programmes de formation continue et un

cadre réglementaire clair, afin d'assurer une adoption efficace, responsable et durable de l'IA (Bourbeau et al., 2025 ; Huang et Rust, 2018). Dans les entreprises étudiées, l'absence d'un discours unifié sur l'IA limite encore son adoption. Une stratégie numérique intégrée semble donc essentielle afin d'harmoniser les perceptions et d'aligner les pratiques.

De manière générale, les résultats montrent que l'IA transforme la gestion des risques à différents niveaux. Sur le plan technologique, elle met à jour les instruments de détection, d'évaluation et de suivi, permettant une identification plus rapide et précise des anomalies et des risques émergents (LeCun et al., 2015 ; Gulshan et al., 2016). Sur le plan organisationnel, elle redéfinit les rôles et responsabilités des acteurs et favorise une meilleure coordination des actions (Zoogah, 2016 ; Ahmad et al., 2020). Sur le plan culturel, elle encourage une approche proactive fondée sur les données, favorisant des décisions éclairées et la prévention des risques (Bourbeau et al., 2025 ; Masselot, 2022). Selon la théorie des capacités dynamiques (Teece, 2007), ces transformations traduisent la capacité des organisations à identifier, intégrer et reconfigurer leurs ressources et compétences pour tirer parti des innovations technologiques, améliorer leurs processus et renforcer leur apprentissage organisationnel. L'IA devient ainsi un levier stratégique qui mobilise simultanément technologie, structures organisationnelles et culture, permettant aux organisations du secteur des déchets d'anticiper, de s'adapter et de réagir efficacement aux risques. Ainsi, l'IA ne constitue pas un simple outil opérationnel : elle représente un moteur de transformation organisationnelle capable de renouveler en profondeur les pratiques, la structure décisionnelle et les perceptions des acteurs, répondant pleinement aux objectifs spécifiques de cette recherche (Bourbeau et al., 2025 ; Fang et al., 2023). Cette interprétation démontre que l'IA peut devenir, pour le secteur québécois des déchets, un levier stratégique permettant de moderniser les opérations, de renforcer la résilience et de bâtir des organisations apprenantes en phase avec les défis contemporains.

5.5 CONTRIBUTIONS THÉORIQUES

Cette étude propose plusieurs avancées dans les domaines de la gestion des risques et de l'intégration de l'IA dans les entreprises.

Tout d'abord, les résultats élargissent le cadre ISO 31000 (ISO, 2018) en démontrant que l'IA fonctionne comme un catalyseur transversal, affectant simultanément l'identification, l'évaluation et la traitement des risques. Les données issues du terrain révèlent que l'IA renforce la capacité des organisations à anticiper les menaces, à détecter plus rapidement les anomalies et à ajuster leurs mesures préventives en temps réel. Cette dynamique rejoint les perspectives de Reason (1997) et d'Amalberti (2001) sur l'importance des mécanismes de prévention dans les systèmes à risque, tout en illustrant concrètement comment l'intégration des technologies numériques peut améliorer la fiabilité des processus et soutenir une culture proactive de gestion des risques. En ce sens, l'intelligence artificielle ne se limite pas à un outil technologique. Elle se transforme en catalyseur qui active les ressources, les compétences et les routines organisationnelles pour accroître la résilience et l'efficacité globale des systèmes de gestion des risques.

Deuxièmement, l'étude confirme la contribution du modèle sociotechnique, qui montre que l'introduction de l'IA entraîne des ajustements simultanés dans les dimensions humaines, techniques et organisationnelles. Les résultats démontrent que l'intelligence artificielle ne se limite pas à un simple outil automatisé. Elle transforme les routines de travail, redéfinit les rôles et responsabilités et encourage de nouvelles formes de collaboration et de communication. Cette constatation confirme les conclusions de Trist et Emery (1981) selon lesquelles il existe une interaction étroite entre la technologie et l'organisation dans la transformation des milieux de travail. Elle montre également comment une innovation technologique peut entraîner des changements systémiques, exigeant ainsi un ajustement des compétences des individus et une adaptation des procédés organisationnels afin d'en tirer le meilleur parti.

Troisièmement, les résultats confirment la théorie des capacités dynamiques (Teece, 2007) en démontrant que les entreprises du secteur des déchets développent une compétence stratégique inédite : la capacité à tirer de la valeur des données opérationnelles. Grâce à l'intelligence artificielle, les données issues des capteurs, des systèmes de suivi et des balances peuvent être transformées en connaissances exploitables, améliorant ainsi la planification, la détection des anomalies et la prise de décision. Cette mutation correspond à la philosophie des compétences agiles, qui énonce qu'une entreprise prospère doit être capable de saisir les occasions qui se présentent, de modifier ses habitudes de travail et de réaffecter ses ressources pour rester pertinente dans un paysage en constante évolution. Cette constatation est en harmonie avec les travaux de Fang et al. (2023), qui montrent que l'IA accélère et améliore les procédures d'analyse et d'adaptation. Ils soulignent également l'importance d'un apprentissage organisationnel continu pour intégrer les données dans les processus décisionnels. Par conséquent, l'IA ne se limite pas à automatiser des tâches, elle devient un outil stratégique qui renforce la capacité d'adaptation et la résilience des entreprises face aux imprévus et aux risques émergents.

Finalement, cette étude nourrit la recherche sur les entreprises apprenantes en démontrant que l'IA favorise l'apprentissage continu et la prise de décision proactive. Ce constat est en accord avec celui de Senge (1990), selon qui les organisations performantes sont celles qui sont en mesure d'adapter leurs pratiques en fonction des informations émergentes et des risques évolutifs.

5.6 CONTRIBUTIONS PRATIQUES

Cette recherche présente des avantages pratiques concrets pour les gestionnaires, les décideurs publics et les organisations du secteur des déchets.

Tout d'abord, les résultats indiquent que l'intelligence artificielle renforce la sécurité opérationnelle en contribuant à la réduction des incendies, des erreurs humaines et des événements impliquant des matières dangereuses. Concrètement, l'automatisation des

systèmes de tri et l'utilisation de la vision artificielle permettent une détection plus précoce des anomalies, telles que la présence de batteries au lithium ou de substances inflammables, limitant ainsi les situations à haut risque. Ces conclusions corroborent les études de Bareither et al. (2013) et de Gulshan et al. (2016), qui démontrent que l'automatisation intelligente améliore la fiabilité des environnements industriels en réduisant la dépendance aux interventions humaines dans des contextes complexes et incertains.

Deuxièmement, la recherche met en évidence plusieurs leviers d'action organisationnels facilitant l'implantation de l'IA. Les résultats montrent que, pour réduire la résistance au changement et favoriser l'appropriation des nouvelles technologies, une communication interne claire, des programmes de formation adaptés et un accompagnement structuré des équipes sont essentiels. Ces éléments aident à tranquilliser les employés quant au rôle complémentaire de l'IA et à renforcer leur engagement dans la transformation numérique. Ces constats correspondent aux principes du leadership en transformation numérique énoncés par Huang et Rust (2018) ainsi que par Ahmad et al. (2020), qui mettent de l'avant l'importance de la gestion humaine du changement, en plus de celle de la performance technologique, dans le processus d'adhésion des acteurs.

Troisièmement, l'étude fournit des indicateurs concrets pour optimiser la performance opérationnelle. Selon les entreprises sondées, l'IA a permis d'améliorer l'efficacité du tri, de réduire les interruptions de service et de diminuer les coûts liés aux pannes inattendues. Plus spécifiquement, les outils de maintenance prédictive permettent de détecter les dysfonctionnements potentiels des équipements et d'intervenir avant qu'ils n'entraînent des perturbations dans le déroulement des activités. Ces résultats corroborent ceux de Morello et al. (2016) et de Monticolo et al. (2020), qui mettent de l'avant l'importance d'une analyse prédictive basée sur les données pour accroître la productivité et la fiabilité des systèmes industriels.

Enfin, les constats liés aux défis d'intégration notamment le manque de compétences internes, les coûts d'implantation élevés et les enjeux éthiques soulignent la nécessité de

programmes publics de soutien à l'innovation et de mécanismes de gouvernance adaptés. Les répondants indiquent que, sans encadrement stratégique et réglementaire, l'adoption de l'IA peut accentuer les inégalités organisationnelles et générer de nouvelles formes de risques. Ces observations s'alignent sur les recherches de Makridakis (2017) et de Mazzucchi (2018), qui insistent sur l'importance de mettre en place un cadre de gouvernance solide afin d'assurer une utilisation responsable, transparente et durable des systèmes intelligents.

5.7 LIMITES

Cette étude présente certaines limites, comme c'est le cas pour la majorité des recherches qualitatives en sciences sociales. Il est donc important de les préciser afin de mieux situer la portée et la solidité des résultats obtenus (Thietart, 2014).

Premièrement, dans le contexte québécois, la rareté de la littérature scientifique portant précisément sur l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion des risques dans le secteur des déchets constitue un enjeu majeur. Cette absence de travaux comparables a limité les possibilités d'établir des liens directs avec d'autres études empiriques. Bien qu'elle constitue une limite théorique, cette lacune met aussi en évidence l'originalité et la pertinence du sujet. Elle montre que ce dernier est digne d'être approfondi par des études futures.

Selon Thietart (2014), la qualité d'une recherche qualitative dépend largement de la précision de l'instrument de collecte. Dans cette étude, certains participants ont exprimé des difficultés à comprendre des notions comme « gestion des risques » ou « intelligence artificielle ». Malgré le prétest du guide d'entretien et les ajustements réalisés, il est possible que certaines réponses aient été influencées par leurs perceptions personnelles ou par une compréhension partielle des concepts abordés. Ce type de variation est courant dans les recherches portant sur des thématiques technologiques, où les niveaux de familiarité peuvent différer considérablement entre les acteurs de terrain.

Troisièmement, la taille de l'échantillon, composé de neuf entrevues, demeure limitée. Cela restreint la généralisation des résultats et confine la portée de l'étude à la réalité québécoise. Bien que les profils interrogés proviennent de secteurs variés (public, privé et municipal), une extension de la recherche à d'autres provinces ou à d'autres catégories d'acteurs impliqués dans la chaîne de gestion des déchets permettrait d'obtenir des perspectives comparatives plus larges et d'enrichir la compréhension du phénomène. Cette limite est d'ailleurs fréquente en recherche qualitative, où les échantillons sont volontairement restreints pour privilégier une analyse approfondie plutôt que la représentativité statistique (Leung, 2015).

Bien que les verbatims aient été traités et codés à l'aide d'un logiciel, l'analyse thématique reste un processus interprétatif. Les décisions liées au codage, au regroupement des thèmes et à la formulation des résultats reposent en partie sur la subjectivité du chercheur. Malgré les précautions méthodologiques appliquées pour assurer la rigueur, il est impossible d'éliminer complètement cette dimension. Toute approche qualitative comporte une limite intrinsèque, comme le soulignent Braun et Clarke (2006). Cette limite est en même temps une richesse, car elle permet une interprétation subtile et adaptée aux circonstances des propos recueillis.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de recherche réalisé dans le domaine de la gestion des déchets au Québec s'est intéressé à la manière dont l'intelligence artificielle a un impact sur la gestion des risques. L'intelligence artificielle connaît une émergence comme une technologie clé dans une situation où les organismes sont attaqués par des pressions environnementales, économiques et sociales de plus en plus croissantes. Elle est capable de transformer en profondeur les processus de prise de décision, opérationnels et organisationnels.

Huit thématiques clés sont finalement dégagées après l'analyse des neuf entrevues qualitatives effectuées chez les gestionnaires, les ingénieurs, les experts en IA et les responsables municipaux. De ces entrevues, l'IA est majoritairement perçue comme étant un appui à l'optimisation, à l'anticipation et au pilotage intelligent des risques. Elle permet de renforcer la traçabilité des déchets, d'automatiser quelques activités critiques, de simuler les scénarios capables de provoquer des crises et de produire des données en temps réel pour renforcer les décisions stratégiques.

L'étude passant d'une approche réactive à une gouvernance proactive, intégrée et ancrée dans une dynamique territoriale a permis de mettre en évidence une transition progressive des pratiques de gestion des risques. L'IA a facilité cette transformation qui rejoint le prolongement de la théorie contemporaine de Mazzucchi (2018). Elles appellent à une vision systémique des risques, basée sur la résilience organisationnelle, la participation des parties prenantes et l'intelligence collective.

Toutefois, malgré leur potentiel, l'adoption massive des technologies de l'intelligence artificielle n'est pas sans limites à cause de plusieurs facteurs : une maturité numérique encore faible, les outils méconnaissables, des coûts d'implantation jugés élevés, des résistances au changement, les compétences internes insuffisantes. Ces défis, bien traités dans les recherches concernant la diffusion de l'innovation de Monticcolo et al. (2020), mettent en exergue l'importance d'un soutien technique, financier et institutionnel à tous les

niveaux de gouvernance. De surcroît, par rapport aux interventions de l'État et des municipalités, les acteurs rencontrés expriment leur attente, notamment en matière d'élaboration des cadres réglementaires, de financement et de mutualisation des savoirs. Il est donc judicieux de mettre en place des politiques publiques capables de favoriser des écosystèmes d'innovation à la fois durables, collaboratifs et ancrés dans les réalités locales.

En somme, ce mémoire constitue une première participation empirique sur un sujet qui n'est pas encore trop abordé dans la littérature : l'influence de l'intelligence artificielle sur la gestion des risques dans le domaine des déchets. Il met en exergue non seulement des tensions, des promesses, mais aussi des processus d'apprentissage organisationnel riches en informations. Cette étude ouvre ainsi la porte à des perspectives de recherche futures, par exemple sur la comparaison entre régions en intégrant la voix des citoyens. Ceci permet de mieux cerner les conditions d'un déploiement à la fois éthique, inclusif et efficace de l'IA.

L'intelligence artificielle représente en quelque sorte un levier de changement significatif et ne doit pas être perçue comme une solution miracle. Tout ceci est possible si elle est bien pensée dans une logique d'adaptation continue, de dialogue entre les secteurs et d'innovation responsable.

ANNEXES

Guide d'entretien

Section I. Contexte Professionnel

1.1. Pourriez-vous décrire brièvement ce que vous faites comme travail actuellement et vos principales responsabilités au sein de votre travail ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

1.2. Depuis combien de temps travaillez-vous dans le secteur de la gestion des déchets?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Section 2. Perceptions de l'Intelligence Artificielle (IA)

2.1. Pouvez-vous nous décrire, en quelques mots, ce que l'intelligence artificielle représente pour vous ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.2. Avez-vous des connaissances sur des applications d'IA spécifiques dans le secteur des déchets ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Section 3. Pratiques Actuelles en Matière de Gestion des Risques

3.1. Quels sont les risques que vous rencontrez dans votre travail au quotidien ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.2. Comment gérer-vous ces risques?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.3. Quelles sont les principales difficultés que vous rencontrez face aux situations à risque dans votre travail ?

.....
.....

- Avez-vous des moyens pour les repérer à l'avance?

.....
.....

- À quel point cela peut poser un problème ?

.....
.....

- Existe-t-il des façons de limiter ou réduire les conséquences ?

.....
.....

- Comment faites-vous pour rester attentif à ces situations ?

.....
.....

3.4. Comment pensez-vous que l'IA pour aider dans la gestion des risques dans chacune de ces étapes:

.....
.....

- Avez-vous des moyens pour les repérer à l'avance?

.....
.....

- À quel point cela peut poser un problème ?

.....
.....

- Existe-t-il des façons de limiter ou réduire les conséquences ?

.....
.....

- Comment faites-vous pour rester attentif à ces situations ?

.....
.....

3.5. Votre organisation utilise-t-elle déjà des technologies d'IA pour la gestion des risques ? Si oui, pourriez-vous décrire leur utilisation et leur impact ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.6. Si l'IA n'est pas utilisée dans votre organisation, existe-t-il des discussions autour de son intégration ? Si oui, pouvez-vous nous en parler davantage ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.7. Quelles difficultés identifiez-vous dans l'utilisation de l'IA pour la gestion des risques dans le secteur des déchets ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Section 4. Perspectives et Attentes vis-à-vis de l'Intégration de l'IA

4.1. Quelles seraient, selon vous, les principales raisons pour lesquelles certaines organisations pourraient hésiter à adopter l'IA dans votre secteur?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.2. Quels types de formations et de supports pourraient faciliter l'adoption et l'intégration de l'IA au sein des organisations de votre secteur ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.3. Comment voyez-vous l'évolution du rôle de l'IA dans votre secteur d'activité au cours des prochaines années ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Section 5. Autres Commentaires

5.1. Avez-vous des recommandations pour les autres travailleurs de votre secteur pour ce qui est de l'intégration de l'IA dans la gestion des risques ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

5.2. Connaissez-vous des personnes ou des experts qui pourraient également partager leur expérience ou leurs connaissances sur ce sujet ? Si oui, pourriez-vous nous fournir leurs noms et leurs coordonnées, avec leur accord ?

.....
.....
.....
.....

Nous vous remercions sincèrement pour votre temps et vos réponses très instructives. Vos contributions sont précieuses pour cette recherche. Si vous le souhaitez, nous vous tiendrons informé(e) des avancées de cette étude. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions ou des informations complémentaires à partager.

**FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (FIC)
CONCERNANT LA PARTICIPATION DES REPRÉSENTANTS DE
MUNICIPALITÉS, AUX PROFESSIONNELS D'ENTREPRISES
PRIVÉES EN GESTION DES DÉCHETS ET AUX CONSULTANTS
EN ENVIRONNEMENT AU QUÉBEC.**

1 TITRE DU PROJET

INFLUENCE TRANSFORMATIVE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE SUR LA GESTION
DES RISQUES DANS LA GESTION DES DÉCHETS AU QUÉBEC

2 RESPONSABLE(S) DU PROJET DE RECHERCHE

2.1 Responsable

3 Responsable du projet

BAGRI Abdel Chakif, étudiant en maîtrise à l'Université de Québec à Rimouski, Unité
départementale des sciences de la gestion

3.1 Direction de recherche

Directrice de recherche : Yan Castonguay, Docteur en Philosophie (PhD) en Gestion – Innovation,
Unité départementale des sciences de la gestion (Lévis), UQAR

3 FINANCEMENT

Ce projet ne bénéficie d'aucune source de financement

4 CONFLIT D'INTÉRÊT

Ce projet de recherche ne présente aucun conflit d'intérêts apparent ou potentiel.

5 PRÉAMBULE

Nous sollicitons votre participation au projet de recherche en titre, en tant que représentants de municipalités, professionnels d'entreprises privées en gestion des déchets et consultants en environnement au Québec. Avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Ce formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles et à demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair lors de votre entretien avec un membre de l'équipe de recherche. Ce dernier prendra le temps de lire avec vous le présent document. Enfin, si vous désirez participer à ce projet, votre consentement

sera recueilli par la signature de ce formulaire.

6 NATURE, OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

6.1 Description du projet de recherche

Description du projet de recherche

Ce projet vise à étudier l'impact de l'intelligence artificielle (IA) sur la gestion des risques dans le domaine de la gestion des déchets au Québec. L'objectif principal est de comprendre comment l'IA transforme les pratiques des différents acteurs, notamment les municipalités, les entreprises privées et les consultants en environnement. L'étude explorera les perceptions des avantages et des limitations de l'IA, les contraintes actuelles dans la gestion des déchets, ainsi que les attentes et recommandations pour une intégration optimale de ces technologies. Les données seront collectées à travers des entretiens semi-directifs avec des participants clés, et une analyse thématique sera réalisée à l'aide du logiciel NVivo pour identifier les principaux thèmes et sous-thèmes en lien avec les objectifs de recherche. Les résultats permettront de dégager des pistes pour améliorer l'adoption de l'IA dans la gestion des risques liés aux déchets, contribuant ainsi à des pratiques plus efficaces et innovantes dans ce domaine.

6.2 Objectif(s) spécifique(s)

1. Comprendre les changements dans les pratiques de gestion des risques engendrés par l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans le secteur des déchets.
2. Identifier les avantages et les défis liés à l'utilisation de l'IA dans la gestion des risques associés à la gestion des déchets.
3. Analyser les perceptions des différents acteurs impliqués dans la gestion des déchets, notamment les entreprises, les municipalités et les consultants en environnement.

6.3 Déroulement

La participation à cette recherche implique une série d'activités réparties en plusieurs étapes, décrites ci-dessous :

Étape	Description	Durée estimée	Lieu
Recrutement	Contact initial par courriel ou téléphone pour inviter les participants sélectionnés.	Environ 15 minutes	À distance
Entrevue individuelle	Entretien semi-directif axé sur trois thèmes principaux : perceptions de l'IA, pratiques actuelles, et attentes/recommandations. L'entretien sera enregistré (audio/vidéo) avec consentement.	Environ 60 minutes par entrevue	En ligne (Zoom/Teams) ou en personne selon les préférences du participant.
Validation des résultats	Envoi des principales conclusions au participant pour vérification et commentaires éventuels.	15 à 30 minutes	Par courriel

Nombre de rencontres : Une entrevue individuelle par participant, avec une séance optionnelle pour validation.

Nombre de participants : Entre 10 et 20 représentants de municipalités, d'entreprises privées en gestion des déchets, et de consultants en environnement.

Enregistrement : Les entrevues seront enregistrées (audio et/ou vidéo) pour transcription et analyse, avec un stockage sécurisé sur la plateforme de l'UQAR.

Thèmes abordés lors des entrevues :

1. **Perceptions de l'IA :** Avantages, limites et impacts perçus sur la gestion des risques.
2. **Pratiques actuelles :** Méthodes et contraintes dans la gestion des déchets.
3. **Attentes et recommandations :** Propositions pour optimiser l'intégration de l'IA.

Toutes les activités respecteront les normes éthiques et de confidentialité, et aucune tâche supplémentaire ni examen clinique ne sera requis.

7 AVANTAGES, RISQUES ET/OU INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

- La participation à ce projet permettra aux participants de contribuer à une meilleure compréhension des impacts de l'intelligence artificielle (IA) sur la gestion des risques dans le domaine des déchets. Bien que les participants ne reçoivent pas d'avantages directs, leurs contributions pourraient influencer positivement les pratiques dans le secteur en identifiant des leviers pour une adoption optimale de l'IA, bénéficiant ainsi à la collectivité.
- Les risques liés à cette étude sont minimes. Toutefois, certains participants pourraient ressentir une gêne à répondre à des questions concernant leurs pratiques professionnelles ou percevoir une légère anxiété liée à l'enregistrement des entrevues.
- Pour minimiser ces inconforts, les participants auront la possibilité de refuser de répondre à des questions spécifiques ou d'interrompre leur participation à tout moment, sans conséquences. Les enregistrements et données collectées seront anonymisés pour préserver la confidentialité.
- Les participants devront consacrer environ 60 à 90 minutes pour une entrevue, dans le cas d'une entrevue en personne, un déplacement pourrait être nécessaire.
- Toutes les données collectées seront stockées de manière sécurisée sur la plateforme de l'UQAR, et les participants pourront demander la suppression de leurs informations à tout moment. Aucun risque physique, psychologique ou économique significatif n'est anticipé.

8 CONFIDENTIALITÉ, CONSERVATION DES DONNÉES ET DIFFUSION

8.1 Confidentialité

Dans le cadre de ce projet, les données collectées incluront des renseignements identificatoires tels que le nom, le prénom, l'organisation et la fonction des participants. Ces données seront dépersonnalisées par l'attribution d'un code alphanumérique unique à chaque participant. Toutefois, tant que la clé de codage (associant les codes aux informations identificatoires) sera conservée, une identification indirecte restera possible, mais uniquement par les membres autorisés de l'équipe de recherche.

La clé de codage sera conservée de manière sécurisée pour une durée minimale de 7 ans ou jusqu'à ce qu'une décision soit prise pour sa destruction plus tôt. Pendant la période de conservation, les données seront codées, ce qui signifie qu'elles ne seront pas encore anonymisées.

Une fois la clé de codage détruite, les données deviendront irrévocablement anonymisées, rendant toute identification impossible, y compris pour l'équipe de recherche. La destruction de la clé de codage interviendra soit après la période minimale de conservation, soit dès qu'elle ne sera plus nécessaire pour l'analyse ou une utilisation secondaire autorisée.

Les données collectées pourraient être conservées pour une utilisation secondaire ultérieure, dans le cadre d'études conformes aux objectifs initiaux du projet. Ces données secondaires, bien qu'anonymisées après la destruction de la clé de codage, resteront protégées et respecteront les principes éthiques.

La confidentialité des données sera rigoureusement assurée, conformément aux lois et règlements applicables dans la province de Québec, ainsi qu'aux règlements et politiques de l'Université du Québec à Rimouski. Cette approche garantit que les renseignements identificatoires seront protégés tout au long du processus de recherche et que la destruction des données ou leur anonymisation s'effectuera en respectant les engagements éthiques du projet.

8.2 Conservation

Les données collectées dans le cadre de ce projet seront conservées conformément aux normes éthiques et légales, ainsi qu'aux politiques de l'Université du Québec à Rimouski. Dans un premier temps, elles seront codées : chaque participant sera identifié par un code unique, sans lien direct avec son identité. La liste associant les codes aux identités des participants sera conservée séparément dans un endroit sécurisé et ne sera accessible qu'au chercheur principal.

Les participants auront le droit d'accéder aux données les concernant tant qu'elles n'auront pas encore été anonymisées. Pour ce faire, ils pourront soumettre une demande écrite en mentionnant leur code de

participant. Les données leur seront fournies sous une forme compréhensible, comme un résumé de leurs réponses ou contributions. Une fois les données anonymisées, tout lien entre les participants et leurs données sera définitivement supprimé, et il ne sera plus possible d'y accéder individuellement.

Après l'analyse, les données seront anonymisées. Cela signifie que toute information permettant d'identifier les participants sera supprimée, garantissant ainsi leur confidentialité. Les données anonymisées pourront être conservées pour des recherches futures, dans le respect des objectifs initiaux et des normes éthiques.

Les documents non numériques seront détruits de manière sécurisée, tandis que les données numériques seront effacées de façon irréversible après une période de conservation de cinq ans, conformément aux politiques institutionnelles.

8.3 Diffusion

Les résultats de cette recherche seront présentés dans le cadre de mon mémoire de maîtrise. Ils pourraient également être diffusés lors de conférences scientifiques ou publiés dans des revues académiques spécialisées. Afin de préserver la confidentialité des participants, toutes les données seront anonymisées avant leur diffusion. Ainsi, aucune information permettant d'identifier directement ou indirectement les participants ne sera incluse dans les publications ou les présentations. Un résumé des principaux résultats sera disponible pour les participants qui en feront la demande. Pour recevoir ce résumé, ils pourront indiquer leur adresse courriel dans l'espace prévu à cet effet, situé après la section de signature de ce formulaire. Cette adresse sera utilisée exclusivement à cette fin et ne sera associée à aucune donnée recueillie dans le cadre de l'étude.

8.4 Clause de divulgation

La confidentialité est assurée à l'intérieur des limites prescrites par les lois québécoises et canadiennes.

9 PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous avez le droit de ne pas répondre à une ou plusieurs questions. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet, et ce, sans qu'il y ait de préjudices. En cas de retrait, les données recueillies seront détruites de façon sécuritaire selon les modalités en vigueur à l'UQAR au moment du retrait. Enfin, toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai par courriel en précisant les

coordonnées fournies dans le formulaire, telles qu'une adresse courriel, un numéro de téléphone ou une adresse postale, pour que le participant puisse facilement communiquer avec le chercheur responsable du projet

10 INDEMNITÉ COMPENSATOIRE

Aucune rémunération ou compensation n'est offerte dans le cadre de cette recherche.

11 PERSONNES-RESSOURCES

Pour toute question d'ordre éthique concernant votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec :

- Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski aux coordonnées suivantes :
 - Par courriel : cer@uqar.ca
 - Par téléphone - Secrétariat du décanat de la recherche : [418-723-1986](tel:418-723-1986) poste 1540 (ligne sans frais : 1-800-511-3382)
 - Par la poste : **Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAR**, 300, allée des Ursulines, C.P. 3300, succ. A, Rimouski (Québec), G5L 3A1
- Le Chercheur : **BAGRI Abdel Chakif**, Étudiant en maîtrise, futur doctorant au Québec
 - Par courriel : baga0002@uqar.ca

Par téléphone : [438-978-8580](tel:438-978-8580)

- Le Directeur de recherche : Yan **CASTONGUAY**, PhD Management- Innovation
 - Par courriel : yan_castonguay@uqar.ca
 - Par téléphone : [418 833-8800](tel:418-833-8800), poste 3279

12 REMERCIEMENT

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude et nous vous remercions d'y participer.

13 CONSENTEMENT DU PARTICIPANT

- Je consens à ce que les données recueillies soient utilisées dans le cadre d'un autre projet de recherche ayant reçu au préalable une approbation éthique.
- Je consens à ce que l'entretien soit enregistré préciser audio et/ou vidéo et transcrit intégralement.
- Dans le cadre du projet intitulé « influence transformative de l'intelligence artificielle sur la gestion des risques dans la gestion des déchets au Québec », j'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement et je comprends suffisamment bien le projet pour que mon consentement soit éclairé. Je

suis satisfait des réponses à mes questions et du temps que j'ai eu pour prendre ma décision. Je consens donc à participer à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées. Je comprends que je suis libre d'accepter de participer et que je pourrai me retirer en tout temps de la recherche si je le désire, sans aucun préjudice ni justification de ma part. Une copie signée et datée du présent formulaire d'information et de consentement m'a été remise.

Nom et signature du participant

Date

Je souhaite recevoir par courriel un court résumé des résultats de la recherche

L'adresse électronique à laquelle je souhaite recevoir ce court résumé est la suivante :

Signature et engagement du chercheur responsable du projet

Je confirme avoir moi-même, ou un membre autorisé de l'équipe de recherche, expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, répondu aux questions qu'il a posées et lui avoir clairement indiqué qu'il pouvait à tout moment mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice. Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée au participant à cette recherche.



Le 23 janvier 2025

À l'attention de :

Abdel Chakif Bagri
Unité départementale des sciences de la gestion - Rimouski

Titre : Influence transformative de l'intelligence artificielle sur l'approche de gestion des risques dans la gestion des déchets au Québec

Projet : 2025-685

Objet : Approbation éthique de votre projet de recherche

Bonjour,

Votre projet de recherche a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains par les membres du sous-comité délégué à l'évaluation des demandes soumises au Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (CER-UQAR) ainsi que moi-même, à titre de présidente de ce comité. Nous sommes heureux de vous annoncer qu'un certificat d'éthique peut vous être délivré pour votre projet de recherche, à risque minimal, intitulé : Influence transformative de l'intelligence artificielle sur l'approche de gestion des risques dans la gestion des déchets au Québec.

Un certificat d'approbation éthique qui atteste de la conformité de votre projet de recherche à la [Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains](#) de l'UQAR est émis en date du 23 janvier 2025. Vous pouvez dès maintenant débiter vos activités de recherche.

Prenez note que ce certificat est valide jusqu'au **23 janvier 2026**.

Selon la [Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains](#), il est de la responsabilité des chercheurs d'élaborer des projets de recherche qui respectent l'ensemble des principes éthiques et d'assurer le respect et la protection des droits des personnes qui participent à la recherche. Vous devrez obtenir le renouvellement de votre approbation éthique avant l'expiration de ce certificat. De plus, vous devez signaler tout incident significatif dès qu'il survient et soumettre à l'approbation du CER-UQAR, toute modification dans le déroulement d'une activité qui touche la nature de la participation des personnes.

Enfin, puisque votre demande d'approbation pourrait être liée à un financement, le Décanat de la recherche est mis en copie conforme.

Dans le cadre de l'Entente pour la reconnaissance des certificats d'éthique des projets de recherche à risque minimal, il est de votre responsabilité d'informer vos cochercheurs provenant de l'externe, s'il y a lieu, afin qu'ils puissent obtenir reconnaissance et/ou certification éthique de leur propre CÉR.

En vous souhaitant le meilleur des succès dans la réalisation de votre recherche, veuillez recevoir nos salutations distinguées.

Le CER-UQAR
Janie Bérubé, Ph.D
Présidente du Comité d'Éthique de la Recherche - UQAR (CER-UQAR)
Professeure Unité départementale des sciences de la gestion
cer@uqar.ca

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (CER-UQAR), certifie, conjointement avec la personne titulaire de ce certificat, que le présent projet de recherche prévoit que les êtres humains qui y participent seront traités conformément aux principes de l'Énoncé de politique des trois Conseils : Éthique de la recherche avec des êtres humains ainsi qu'aux normes et principes en vigueur dans la Politique d'éthique avec les êtres humains de l'UQAR (C2-D32).

Projet # : 2025-685

Titre du projet de recherche : Influence transformative de l'intelligence artificielle sur l'approche de gestion des risques dans la gestion des déchets au Québec

Chercheur principal à l'UQAR

Abdel Chakif Bagri,
Unité départementale des sciences de la gestion - Rimouski

Direction de recherche

En provenance de l'UQAR: Yan Castonguay

Financement : Aucun

Date d'approbation du projet : 23 janvier 2025

Date d'entrée en vigueur du certificat : 23 janvier 2025

Date d'échéance du certificat : 23 janvier 2026

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

-
- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, veuillez remplir le formulaire **F9 - Fin de projet**.
 - Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, veuillez remplir le formulaire **F8 - Modification de projet**.
 - Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAR lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.

Janie Bérubé

Signé le 2025-01-23 à 07:08

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmad, S., Sohal, A. S., et Cox, J. W. (2020). Leading well is not enough: A new insight from the ethical leadership, workplace bullying and employee well-being relationships. *European Business Review*, 32(2), 159–184. <https://doi.org/10.1108/EBR-08-2018-0149>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Akter, T., Quevauviller, P., Eisenreich, S. J., et Vaes, G. (2018). Impacts of climate and land use changes on flood risk management for the Schijn River, Belgium. *Environmental Science et Policy*, 89, 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.07.002>
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., et Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625–2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>
- Aljohani, A. (2023). Predictive Analytics and Machine Learning for Real-Time Supply Chain Risk Mitigation and Agility. *Sustainability*, 15(20), 15088. <https://doi.org/10.3390/su152015088>
- Amalberti, R. (2001). *La conduite des systèmes à risques*. Presses Universitaires de France.
- Amin, N. A. S., et Talebian-Kiakalaieh, A. (2018). Reduction of CO2 emission by INCAM model in Malaysia biomass power plants during the year 2016. *Waste Management*, 73, 256-264. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.019>
- Arena, M., Arnaboldi, M., et Azzone, G. (2010). The organizational dynamics of Enterprise Risk Management. *Accounting, Organizations and Society*, 35(7), 659-675. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2010.07.003>
- Arévalo, P., et Jurado, F. (2024). Impact of Artificial Intelligence on the Planning and Operation of Distributed Energy Systems in Smart Grids. *Énergies*, 17(17), 4501. <https://doi.org/10.3390/en17174501>
- Bareither, C. A., Wolfe, G. L., McMahon, K. D., et Benson, C. H. (2013). *Microbial diversity and dynamics during methane production from municipal solid waste*. *Waste Management*, 33(10), 1982–1992. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.013>

- Boisot, M. H., et Canals, A. (2004). Data, information and knowledge: Have we got it right? *Journal of Evolutionary Economics*, 14(1), 43–67. <https://doi.org/10.1007/s00191-003-0181-9>
- Bourbeau, L., Dupuis, M. et Tremblay, Y. (2025). *L'innovation responsable dans la gestion des déchets : Perspectives québécoises*. Presses de l'Université du Québec.
- Braun, V., et Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brynjolfsson, E., et McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton et Company.
- Cakir, O., Yilmaz, O., et Kizildag, D. (2022). Ethical leadership supports safety voice by increasing risk communication. *Safety and Health at Work*, 13 (1), 72–78.
- Chalapathy, R., et Chawla, S. (2019). *Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.03407>
- Chandola, V., Banerjee, A., et Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Comput. Surv.*, 41(3), 15:1- 15 h 58. <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>.
- Chebel-Morello, B., Nicod, J.-M., et Varnier, C. (2016). *From prognostics and health systems management to predictive maintenance 2: Knowledge, reliability and decision*. Wiley-ISTE.
- Commission d'enquête sur les déchets du Québec. (1990). *Les déchets dangereux au Québec : Une gestion environnementale : Rapport présenté au ministre de l'Environnement du Québec*. Publications du Québec.
- Commission européenne. (2008). *Directive 2008/98/CE sur les déchets*. Journal officiel de l'Union européenne.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- Cui, X., Yu, J., et Wang, H. (2020). Regulatory challenges in hazardous waste management: A global review. *Waste Management*, 105, 1–12.
- Delen, D., et Ram, S. (2018). *Research challenges and opportunities in business analytics*. *Journal of Business Analytics*, 1(1), 2–12. <https://doi.org/10.1080/2573234X.2018.1507324>

- Denis, J., Guillemette, F. et Luckerhoff, J. (2019). Introduction : les approches inductives dans la collecte et l'analyse des données. *Approches inductives*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.7202/1060042ar>
- Diaz et al. (2007). *Compost Science and Technology*. <https://shop.elsevier.com/books/compost-science-and-technology/diaz/978-0-08-043960-0>
- Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives (Text with EEA Relevance), CONSIL, EP, 312 OJ L (2008). <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2019). *National Inventory Report 1990–2017 : Greenhouse gas sources and sinks in Canada*. Gouvernement du Canada.
- Eurostat. (2025). *Waste statistics*. Consulté 28 novembre 2025, à l'adresse https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E. H., Rooney, D. W., et Yap, P.-S. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 1959-1989. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>
- Feng, G., He, J., et Polson, N. G. (2018). *Deep Learning for Predicting Asset Returns* (No. arXiv:1804.09314). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.09314>
- Ferronato, N., et Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Gagnon, M. (2021). *Acceptabilité sociale des nouvelles technologies : enjeux et perspectives*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., et Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghadimi, P., Wang, C., et Lim, M. K. (2019). Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.005>

- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., et Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- Glaser, B. G., et Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Aldine.
- Gouvernement du Québec. (2024). *Appel de projets d'innovation collaborative en IA et technologies quantiques*. Ministère de l'Économie et de l'Innovation.
- Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., et al. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, 316(22), 2402-2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
- Huang, M.-H., et Rust, R. T. (2018). Artificial Intelligence in Service. *Journal of Service Research*, 21(2), 155-172. <https://doi.org/10.1177/1094670517752459>
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 31000 : 2018— Risk management. Guidelines*. ISO.
- Ivorra, L., Cardoso, P. G., Chan, S. K., Cruzeiro, C., et Tagulao, K. A. (2021). Can mangroves work as an effective phytoremediation tool for pesticide contamination? An interlinked analysis between surface water, sediments and biota. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126 334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126334>
- Johnson, D. G., et Verdicchio, M. (2025). *The sociotechnical entanglement of AI and values*. *AI et Society*, 40(1), 67–76. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01852-5>
- Kollmuss, A., et Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239-260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Kumar, A., Thakur, A. K., Gaurav, G. K., Klemeš, J. J., Sandhwar, V. K., Pant, K. K., et Kumar, R. (2023). A critical review on sustainable hazardous waste management strategies: A step towards a circular economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(48), 105030-105055. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29511-8>
- Kurzweil, R. (1992). *The Age of Intelligent Machines*. MIT Press.
- Kvale, S., et Brinkmann, S. (2015). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (3 rd ed.). Sage Publications.
- Le Ray, J. (2013). Organisation du management du risque et traitement des risques. *Techniques de l'Ingénieur*. Consulté 28 novembre 2025, à

l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/systeme-de-management-du-risque-42626210/organisation-du-management-du-risque-et-traitement-des-risques-g9210/>

- LeCun, Y., Bengio, Y., et Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Leung, L. (2015). Validity, reliability, and generalizability in qualitative research. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 4(3), 324-327. <https://doi.org/10.4103/2249-4863.161306>
- Lewin, K. (1947). *Frontiers in group dynamics: Concept, method and reality in social science; social equilibria and social change*. Human Relations, 1(1), 5–41. <https://doi.org/10.1177/001872674700100103>
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R., Colón, J., Ponsá, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., Williams, L., et Spencer, N. (2017). *Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe*. Energy, 141, 2013–2044. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>
- Marina Fischer-Kowalski et Helmut Haberl. (2007). *Socioecological Transitions and Global Change*. <https://www.elgaronline.com/edcollbook/9781847203403.xml>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>
- Masselot, C. (2022). *L'intelligence territoriale : Mise à jour*. Consulté le 1er octobre 2025, sur <https://cyrilmasselot.org/intelligence-territoriale-mise-a-jour/>
- Mazzucchi, N. (2018). Les implications stratégiques de l'intelligence artificielle. *Revue internationale et stratégique*, N° 110(2), 141-152. <https://doi.org/10.3917/ris.110.0141>
- Mila. (2025). *Mila—Quebec Artificial Intelligence Institute*. Consulté 28 novembre 2025, à l'adresse <https://mila.quebec/en>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., et Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis : A methods sourcebook* (3 rd ed.). Sage Publications.

- Monticolo, D., Lahoud, I., et Barrios, P. C. (2020). *OCEAN: A multi agent system dedicated to knowledge management*. *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100124>
- Murray, A., Skene, K., et Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Nash, J. (1951). Non-Cooperative Games. *Annals of Mathematics*, 54(2), 286-295. <https://doi.org/10.2307/1969529>
- OCDE. (2018). *L'innovation responsable : Un cadre pour la gouvernance de l'innovation*. Éditions OCDE. <https://www.oecd.org/fr/themes/innovation-responsable.html>
- OCDE/Eurostat. (2018). *Manuel d'Oslo 2018 : Lignes directrices pour le recueil, la communication et l'utilisation des données sur l'innovation* (4e éd.). OCDE. https://www.oecd.org/fr/publications/2018/10/oslo-manual-2018_g1g9373b.html
- Office for Human Research Protections (OHRP). (2010). *Federal policy for the protection of human subjects ("Common Rule")*. U.S. Department of Health et Human Services. <https://www.hhs.gov/ohrp/>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research and evaluation methods: Integrating theory and practice* (4 th ed.). Sage Publications.
- Pires, A., Martinho, G., et Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033-1050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). (2013). *Integrated Waste Management Systems*. UNDP Publications.
- Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (6e éd.). PMI.
- Qian, L., Zhao, R., et Liu, H. (2022). Artificial intelligence for predictive risk analysis in complex industrial systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 109, 104653
- Radio-Canada Info. (2023). *Les dangers de l'intelligence artificielle : entrevue avec Yoshua Bengio* [Vidéo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VYrcXTckP2s>
- Ragaert, K., Delva, L., et Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>

- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.
- Recyc-Québec. (2021). *Bilan 2021 de la gestion des matières résiduelles au Québec*. <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2021-complet.pdf>
- Remn, O. (2008). *Risk governance: Coping with uncertainty in a complex world*. Earthscan.
- Russell, S. J., et Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence : A modern approach* (3 rd ed.). Pearson.
- Saldaña, J. (2009). *The coding manual for qualitative researchers*. Sage Publications.
- Samuel, A. L. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210-229. <https://doi.org/10.1147/rd.33.0210>
- Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*. Wiley.
- Schade, A., Melzer, M., Zimmermann, S., Schwarz, T., Stoewe, K., et Kuhn, H. (2024). Plastic Waste Recycling—A Chemical Recycling Perspective. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 12(33), 12270-12288. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c02551>
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (4^e éd.). Jossey-Bass.
- Schyns, Z. O. G., et Shaver, M. P. (2021). *Mechanical recycling of packaging plastics: A review*. *Macromolecular Rapid Communications*, 42(3), e2000415. <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. (2010). *Cadre stratégique de gestion du risque*. Ottawa, Canada : Gouvernement du Canada.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Doubleday.
- Simon, H. A. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- Statistique Canada. (2022). *Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) Canada 2022*. <https://www.statcan.gc.ca/>
- Susskind, R., et Susskind, D. (2015). *The Future of the Professions: How Technology Will Transform the Work of Human Experts*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198713395.001.0001>

- Sutton, R. S., et Barto, A. G. (1998). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT Press. Taylor et Francis
- Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill. <http://archive.org/details/integratedsolidw0000tcho>
- Technologique, I. Q. (s. d.). *iCRIQ. Investissement Québec — accompagnement technologique*. Consulté 25 juillet 2025, à l'adresse <https://innovation.investquebec.com/icriq>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities : The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Thiétart, R.-A. (dir.). (2014). *Méthodes de recherche en management* (4e éd.). Dunod.
- Tremblay, P., et Lafleur, S. (2023). *L'impact de l'intelligence artificielle sur le bien-être organisationnel*. Québec : Éditions Gestion.
- Trist, E. L., et Emery, F. E. (1981). The causal texture of organizational environments. In F. E. Emery (Ed.), *The emergence of a new paradigm in organization development* (pp. 89–104). University of Michigan.
- Université du Québec à Rimouski. (2025, 24 juillet). *Soutien à la rédaction — Guides de rédaction et canevas*. Bibliothèque UQAR. <https://biblio.uqar.ca/soutien-a-la-redaction/canevas>
- Vezzoli, C., et Manzini, E. (2008). *Design for Environmental Sustainability*. Springer.
- Wang, Z., Chen, Z., et An, C. (2023). Improving solid waste management in remote First Nations communities through inventory-theory-based optimization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 51(1), 27-46. <https://doi.org/10.1139/cjce-2023-0320>
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., et Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436-458. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.001>
- Zhang, X., Khalili, M. M., Tekin, C., et Liu, M. (2019). *Group retention when using machine learning in sequential decision making: The interplay between user dynamics and fairness*. In *Advances in Neural Information Processing Systems 32* (pp. 15243–15252). <https://neurips.cc/virtual/2019/poster/14426?utm>
- Zoogah, D. B. (2016). *Strategic followership: How followers impact organizational effectiveness*. Springer.

