

**Titre:** Développement d'un cadre méthodologique de planification stratégique vers une roadmap sectorielle : le cas de la mobilité aérienne avancée au Canada  
**Title:**

**Auteur:** Jérémy Laplante  
**Author:**

**Date:** 2024

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Laplante, J. (2024). Développement d'un cadre méthodologique de planification stratégique vers une roadmap sectorielle : le cas de la mobilité aérienne avancée au Canada [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie.  
**Citation:** <https://publications.polymtl.ca/62498/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/62498/>  
**PolyPublie URL:**

**Directeurs de recherche:** Fabiano Armellini, & Isabelle Deschamps  
**Advisors:**

**Programme:** Génie industriel  
**Program:**

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

**Développement d'un cadre méthodologique de planification stratégique vers  
une roadmap sectorielle : le cas de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada**

**JÉRÉMY LAPLANTE**

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Décembre 2024

# **POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

## **Développement d'un cadre méthodologique de planification stratégique vers une roadmap sectorielle : le cas de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada**

présenté par **Jérémy LAPLANTE**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

**Martin TRÉPANIER**, président

**Fabiano ARMELLINI**, membre et directeur de recherche

**Isabelle DESCHAMPS**, membre et codirectrice de recherche

**Denis FAUBERT**, membre

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de recherche, Fabiano Armellini, et à ma codirectrice, Isabelle Deschamps, pour leurs conseils éclairés, leur encadrement adapté et leur soutien constant tout au long de cette recherche. Leur confiance en mon potentiel et leur conviction inébranlable envers mes capacités ont été une source inestimable de motivation. Leur expertise, leur engagement et leur disponibilité ont joué un rôle essentiel dans la réussite de ce projet.

Mes remerciements vont également à tous les experts et participants aux entrevues Delphi qui ont généreusement partagé leur temps et leurs connaissances. Leur contribution a enrichi considérablement cette recherche et a permis d'ancrer les résultats dans des réalités pratiques et stratégiques, en offrant des perspectives variées et nuancées.

Je tiens à dédier ces remerciements à ma femme, dont le soutien sans relâche, les encouragements constants et l'amour infailible ont été ma boussole tout au long de cette aventure. À ma famille et à mes proches, merci pour votre patience, votre compréhension et votre confiance, qui m'ont permis de traverser les moments les plus exigeants avec sérénité et détermination.

Merci à toutes et à tous d'avoir rendu cette expérience aussi enrichissante et mémorable.

## RÉSUMÉ

Ce mémoire propose une méthodologie de planification stratégique sectorielle pour le développement de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) au Canada, un secteur marqué par une forte réglementation et une complexité multidimensionnelle. En mobilisant la *Design Research Methodology* (DRM), enrichie par l'intégration de la méthode Delphi adaptée et du cadre S-PLAN, cette recherche vise à aligner les perspectives technologiques, réglementaires, et socio-économiques pour établir une feuille de route sectorielle robuste et adaptable.

Dans un premier temps, la recherche explore les cadres réglementaires existants et les défis technologiques spécifiques au secteur des systèmes d'aéronefs télépilotés (RPAS), en se basant sur deux études réalisées en collaboration avec le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Ces analyses initiales ont permis d'identifier des lacunes clés dans les infrastructures, la normalisation des systèmes de communication, et l'intégration des RPAS dans l'espace aérien civil. Ces constats ont servi de fondement pour développer une méthodologie axée sur la collaboration entre acteurs publics et privés.

En deuxième lieu, cette méthodologie a été appliquée dans un cadre exploratoire à travers la méthode Delphi, engageant un panel d'experts diversifiés pour valider et prioriser les thématiques stratégiques essentielles. La complémentarité entre Delphi, avec sa perspective ascendante (« bottom-up »), et S-PLAN, avec sa structuration descendante (« top-down »), a permis de combler l'écart entre connaissances granulaires et objectifs stratégiques à long terme.

Les résultats de cette recherche aboutissent à une proposition de roadmap sectorielle organisée selon les Niveaux de Maturité de la Mobilité Aérienne (AML), couvrant les horizons à court, moyen et long terme. Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'un cadre réglementaire agile, d'une acceptation sociale renforcée et d'une collaboration accrue entre les parties prenantes.

Ce mémoire contribue à la littérature en démontrant l'applicabilité et la transférabilité d'une méthodologie intégrative dans des environnements complexes. Il offre également des outils pratiques pour guider les décideurs publics et privés, tout en ouvrant des perspectives pour des recherches futures dans d'autres secteurs réglementés tels que l'énergie ou la santé.

## ABSTRACT

This master thesis presents a sectoral strategic planning methodology for the development of Advanced Air Mobility (AAM) in Canada, a sector characterized by stringent regulations and multidimensional complexity. Leveraging the Design Research Methodology (DRM), enriched by the integration of an adapted Delphi method and the S-PLAN framework, this research aims to align technological, regulatory, and socio-economic perspectives to establish a robust and adaptable sectoral roadmap.

The study begins by exploring existing regulatory frameworks and identifying specific technological challenges in the Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) sector, based on two studies conducted in collaboration with the National Research Council Canada (NRC). These preliminary analyses revealed critical gaps in infrastructure, standardization of communication systems, and RPAS integration into civilian airspace. These findings laid the groundwork for a methodology focused on fostering collaboration between public and private stakeholders.

Subsequently, this methodology was applied in an exploratory setting using the Delphi method, engaging a diverse panel of experts to validate and prioritize essential strategic themes. The complementarity between Delphi's bottom-up perspective and S-PLAN's top-down structuring bridged the gap between granular insights and long-term strategic objectives.

The results culminated in a sectoral roadmap proposal organized according to Advanced Air Mobility Maturity Levels (AMLs), covering short-, medium-, and long-term horizons. The findings underscore the need for agile regulatory frameworks, enhanced social acceptance, and strengthened stakeholder collaboration.

This thesis contributes to the academic literature by demonstrating the applicability and transferability of an integrative methodology in complex environments. It also provides practical tools to guide public and private decision-makers while opening avenues for future research in other regulated sectors, such as energy or healthcare.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT.....	V
TABLE DES MATIÈRES .....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XIII
LISTE DES ANNEXES.....	XV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Définitions des notions clés.....	1
1.2 Contexte général.....	4
1.2.1 Les défis de l'innovation dans des secteurs en transformation réglementés .....	4
1.2.2 Émergence accélérée de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) .....	5
1.2.3 La collaboration internationale et le rôle du Canada.....	7
1.2.4 Le mandat du CNRC : un point de départ pour la recherche .....	8
1.2.5 L'importance des méthodologies de planification stratégique adaptées .....	9
1.3 Problématique.....	10
1.3.1 Limites des méthodologies actuelles de planification stratégique sectorielle .....	10
1.3.2 Les défis d'un alignement stratégique dans le secteur canadien du AAM.....	12
1.3.3 Objectifs de la recherche et identification des besoins .....	12
1.4 Questions de recherche.....	14
1.5 Livrables de la recherche.....	15
1.6 Contributions attendues.....	16

1.7	Structure du mémoire .....	18
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....		20
2.1	Blocages réglementaires freinant l'innovation dans les secteurs émergents.....	20
2.1.1	Cadres réglementaires rigides et défis d'adaptation.....	20
2.1.2	Tensions entre régulation et innovation dans la Mobilité Aérienne Avancée .....	21
2.2	Méthodologie de recherche par le design (DRM) .....	22
2.3	La planification stratégique .....	23
2.3.1	Méthodologies de planification stratégique .....	24
2.3.1.1	Cadre S-PLAN .....	24
2.3.1.2	Méthode Delphi.....	25
2.3.1.3	Outil pratique : Modèle en V.....	26
2.3.2	Limites des méthodologies actuelles.....	28
2.4	Méthodologie pour la construction de consensus dans la planification stratégique : combinaison de Delphi et S-PLAN.....	29
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....		31
3.1	Cadre méthodologique .....	31
3.2	Description détaillée de la méthodologie proposée.....	32
3.2.1	Phase 1 : clarification de la recherche .....	34
3.2.2	Phase 2 : étude descriptive I .....	35
3.2.3	Phase 3 : étude prescriptive .....	37
3.2.3.1	Méthode Delphi adaptée.....	38
3.2.4	Phase 4 : étude descriptive II.....	44
3.2.4.1	Application du cadre S-PLAN .....	45
3.2.5	Intégration des méthodes Delphi et S-PLAN.....	47
3.3	Collecte de données.....	49



3.4	Considérations éthiques et limites méthodologiques .....	49
CHAPITRE 4 DÉMARCHES DE RECHERCHE PRATIQUE .....		51
4.1	Sommaire Rapport 1 du CNRC: Drone Cargo Delivery Study (1/2) –Canadian Regulatory Framework and Requirements Assessment (National Research Council Canada, Forth.) .....	51
4.2	Sommaire exécutif du Rapport 2 du CNRC: Drone Cargo Delivery Study (2/2) – Technical Gaps Assessment and Roadmapping (National Research Council Canada, Forth.) .....	57
CHAPITRE 5 ARTICLE 1: A SECTORAL STRATEGIC ROADMAPPING FRAMEWORK FOR COMBINING REGULATORY AND INDUSTRY PERSPECTIVES: THE CASE OF ADVANCED AIR MOBILITY IN CANADA .....		64
	Abstract: .....	66
5.1	Introduction.....	66
5.2	Literature review .....	67
5.2.1	Regulatory Challenges in Emerging Sectors.....	67
5.2.2	Strategic Roadmapping: Concepts and Applications .....	68
5.2.3	Methodologies for Consensus Building in Strategizing: Combining Delphi and S- PLAN .....	69
5.2.4	Possible Directions for Research.....	71
5.3	Research Background: Prior studies about the status of AAM in Canada.....	72
5.3.1	Canadian Regulatory Framework and Requirements Assessment.....	74
5.3.1.1	Regulatory Landscape in Canada.....	74
5.3.1.2	Specific Technological Challenges: Closing the Gaps .....	76
5.3.2	General Technological Gaps Assessment and Technological Roadmapping .....	77
5.4	Research Methodology.....	79
5.4.1	The Delphi Method: Expert Opinion and Consensus Building.....	80

5.4.2	Strategic roadmapping: The S-PLAN Framework.....	81
5.4.2.1	Step 1: Define Strategic Landscape .....	82
5.4.2.2	Step 2: Select Value Elements .....	82
5.4.3	Broadening the Scope of Roadmaps: Integration of Delphi Insights into S-PLAN framework .....	83
5.4.3.1	Improvements to Step 1: Define Strategic Landscape Influenced by Delphi .....	83
5.4.3.2	Improvements to Step 2: Select Value Elements Influenced by Delphi .....	83
5.4.3.3	An Iterative and Adaptive Integration of S-Plan framework and Delphi insights ..	83
5.4.4	Data Collection Procedures.....	84
5.5	Findings and discussion .....	85
5.5.1	Strategic Insights from the Delphi Process .....	85
5.5.2	Alignment with AAM Maturity Levels (AMLs).....	86
5.5.3	Dependency of the evolution of AAM landscape on the Regulatory Context.....	87
5.5.4	Methodological Complementarity: Integrating Bottom-Up and Top-Down Approaches.....	87
5.6	Main Results and Limitations .....	88
5.6.1	Practical Results: Strategic Sectoral Roadmap for AAM in Canada .....	88
5.6.2	Methodological Results: Towards a New Sectoral Strategic Roadmapping Framework .....	89
5.6.3	Limitations .....	90
5.7	Conclusions .....	92
CHAPITRE 6	RÉSULTATS PRATIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES ET DISCUSSION .....	100
6.1	Résultats pratiques : Contenu du projet de recherche .....	100
6.1.1	Synthèse des résultats de la méthode Delphi adaptée via un consensus .....	101

6.1.2	Proposition de thématiques stratégiques sectorielles .....	102
6.1.3	Impact de la nouvelle proposition de réglementation de Transports Canada pour les opérations BVLOS.....	104
6.2	Résultats méthodologiques : Contenant du projet de recherche .....	105
6.2.1	Méthodologie de planification stratégique sectorielle proposée pour des environnements fortement réglementés .....	105
6.2.2	Complémentarité méthodologique : Intégration des approches « <i>bottom-up</i> » et « <i>top-down</i> »,.....	106
6.2.3	Réflexions méthodologiques : Surprises et apprentissages.....	107
6.3	Limites de la recherche .....	108
CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		111
7.1	Contributions pratiques et méthodologiques.....	111
7.2	Réponses aux questions de recherche .....	113
7.3	Recommandations pour les recherches futures .....	114
RÉFÉRENCES.....		117
ANNEXES.....		124

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Structure complète du guide d’entrevue utilisé lors de la phase de préparation en anglais.....	41
Tableau 4.1 : Cas d’utilisation spécifique au Canada : Combler les lacunes technologiques (Source : Drone Cargo Delivery Study (1/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC).....	55
Tableau 4.2 : Principaux domaines technologiques et opérationnels à prioriser pour le développement du AAM au Canada (source : Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC <sup>1</sup> ).....	58
Tableau 4.3 : Roadmap technologique et réglementaire simplifiée pour le secteur AAM au Canada (2023-2035).....	61
Table 5.1 : Simplified Technological and Regulatory Roadmap for the AAM Sector in Canada (2023–2035) (source: Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), National Science Library - NRC Publications Archive.).....	78
Table 5.2 : AAM Maturity Levels (AMLs) and Sectoral Strategic Themes and Tactical Insights	86
Tableau A.1 : Résumé détaillé des entrevues avec les experts .....	124
Tableau B.2 : Detailed summary of relevant low consensus level strategic topics .....	126

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Modèle en V simplifié (SAE International, 2023).....	27
Figure 3.1 : Les phases successives de la méthodologie DRM appliquées à la recherche .....	32
Figure 3.2 : Les cinq étapes méthodologiques structurées par le cadre DRM.....	33
Figure 3.3 : Les étapes de la méthode Delphi – Préparation, conduite et analyse .....	39
Figure 3.4 : Cadre S-PLAN avec le modèle de roadmap stratégique de l'Université de Cambridge (IfM Engage - University of Cambridge, 2021).....	46
Figure 3.5 : Intégration de la méthode Delphi adaptée et du cadre S-PLAN dans le cadre de recherche en cinq étapes.....	48
Figure 4.1 : Modèle canadien des opérations BVLOS pour la livraison de fret par RPAS .....	52
Figure 5.1 : BVLOS RPAS Cargo Delivery Operations Development Process .....	75
Figure 5.2 : Delphi Method Phases – Preparing, Conducting, and Analyzing for Roadmap Development .....	80
Figure 6.1 : Rappel du cadre méthodologique de planification stratégique sectorielle en 5 étapes .....	100

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

3P	The Pilot, The Product, The Procedures ; Le Pilote, Le Produit, Les Procédures
AAM	Advanced Air Mobility ; Mobilité Aérienne Avancée
AC	Advisory Circular ; Circulaire Consultatif
AML	Advanced Air Mobility Maturity Levels ; Niveaux de Maturité de la Mobilité Aérienne Avancée
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight ; Au-Delà de la Ligne de Visée Visuelle
CARs	Canadian Aviation Regulations ; Règlement de l'Aviation Canadien
CNS	Communication, Navigation, Surveillance
CONOPS	Concepts of Operations ; Concepts d'Opérations
DAA	Detect and Avoid ; Détection et Évitement
DRM	Design Research Methodology ; Méthodologie de Recherche par le Design
EASA	European Union Aviation Safety Agency ; Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
ENAC	École Nationale de l'Aviation Civile
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing ; Aéronef Électrique à Décollage et Atterrissage Verticaux
FAA	Federal Aviation Administration ; Administration Fédérale de l'Aviation
IAM	Integrated Air Mobility ; Mobilité Aérienne Intégrée
ICAO	International Civil Aviation Organization ; Organisation de l'Aviation Civile Internationale
IFAR	International Forum for Aviation Research ; Forum International pour la Recherche en Aviation
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems ; Autorités Conjointes pour la Réglementation des Systèmes Télépilotes

MBSE	Model-Based Systems Engineering ; Ingénierie des systèmes basée sur les modèles
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems ; Systèmes d'Aéronefs Télépilotes
SFOC	Special Flight Operations Certificate ; Certificat Spécial d'Opérations Aériennes
SORA	Specific Operations Risk Assessment ; Évaluation des Risques pour des Opérations Spécifiques
SMS	Safety Management System ; Système de Gestion de la Sécurité
UAM	Urban Air Mobility ; Mobilité Aérienne Urbaine
UTM	Unmanned Traffic Management

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A RÉSUMÉ DÉTAILLÉ DES ENTREVUES AVEC LES EXPERTS.....	124
ANNEXE B DETAILED SUMMARY OF RELEVANT LOW CONSENSUS LEVEL STRATEGIC TOPICS.....	126



## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

### 1.1 Définitions des notions clés

Dans un environnement moderne en rapide évolution technologique, l'intégration des systèmes d'aéronefs télépilotés (RPAS) et de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) représente une opportunité de transformation majeure. Ces innovations promettent de réinventer les modes de transport, particulièrement dans des environnements urbains et des zones éloignées, tout en répondant à des défis complexes liés aux cadres réglementaires, à l'acceptabilité sociale et aux avancées technologiques.

Dans le cadre de ce mémoire, plusieurs notions clés doivent être clarifiées afin d'assurer une compréhension cohérente des concepts abordés tout au long du document. Ces notions, bien que familières dans les domaines de l'aéronautique et de la planification stratégique, sont ici précisées pour leur application spécifique au secteur de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM).

#### Systèmes d'aéronefs télépilotés (RPAS)

Les systèmes d'aéronefs télépilotés (RPAS - Remotely Piloted Aircraft Systems) incluent un aéronef télépiloté, une station de contrôle au sol et un système de communication assurant le lien entre les deux. Ces systèmes sont utilisés dans divers contextes professionnels et commerciaux, tels que la surveillance, la collecte de données, ou la livraison de fret. Ce mémoire s'intéresse particulièrement aux RPAS conçus pour des missions complexes, comme les opérations au-delà de la ligne de vue visuelle (BVLOS - *Beyond Visual Line of Sight*), essentielles à des applications avancées telles que la livraison de fret en zones éloignées.

#### Mobilité Aérienne Avancée (AAM)

La Mobilité Aérienne Avancée (AAM - *Advanced Air Mobility*) désigne une évolution majeure des transports aériens, basée sur l'intégration de technologies innovantes, notamment les drones de fret lourd et les aéronefs électriques à décollage et atterrissage verticaux (eVTOL). Ces solutions visent à transformer la mobilité des biens et des personnes, particulièrement dans les environnements urbains et les zones difficiles d'accès. Ce mémoire considère la Mobilité Aérienne

Avancée comme une progression naturelle des applications RPAS, marquant une transition vers des systèmes de transport plus autonomes et interconnectés.

### Lien entre RPAS et AAM

Les RPAS constituent une étape fondatrice vers la Mobilité Aérienne Avancée. En servant de banc d'essai pour valider des technologies et des cadres réglementaires dans des scénarios de faible complexité, comme la livraison de fret rural, les RPAS posent les bases nécessaires au développement de la Mobilité Aérienne Avancée. Cette transition graduelle permet d'accroître la maturité technologique et opérationnelle, facilitant ainsi l'intégration sécurisée et progressive d'applications de la Mobilité Aérienne Avancée, comme le transport de passagers et de charges lourdes.

### Technologies habilitantes

Les technologies habilitantes regroupent des innovations essentielles au déploiement des RPAS et de la Mobilité Aérienne Avancée. Parmi ces technologies figurent les systèmes de navigation autonome, les communications sécurisées, les systèmes de gestion du trafic aérien non habité (UTM - Unmanned Traffic Management), et les batteries à haute densité énergétique. Ces innovations permettent de surmonter les défis techniques, accélérant ainsi l'adoption commerciale et opérationnelle de ces systèmes.

### Acceptabilité sociale

L'acceptabilité sociale désigne le niveau de soutien ou de tolérance des citoyens et des communautés envers une innovation technologique. Dans le cas des RPAS et de la Mobilité Aérienne Avancée, cela inclut des préoccupations telles que la sécurité, la confidentialité des données, les nuisances sonores et l'impact environnemental. L'acceptabilité sociale est déterminante pour garantir une intégration harmonieuse de ces technologies dans les environnements urbains et ruraux.

## Planification stratégique vs. Planification stratégique sectorielle

La planification stratégique consiste à définir les objectifs à long terme d'une organisation et à mobiliser les ressources pour les atteindre. Elle s'applique généralement à un contexte interne spécifique. En revanche, la planification stratégique sectorielle adopte une perspective plus large, tenant compte des dynamiques, des priorités et des défis propres à un secteur d'activité, comme celui des RPAS et de la Mobilité Aérienne Avancée. Ce mémoire explore une approche sectorielle, visant à aligner les priorités technologiques, réglementaires et économiques pour guider le développement du secteur canadien des RPAS.

## Roadmap stratégique sectorielle

Une roadmap stratégique sectorielle est un outil de planification structuré qui guide le développement d'un secteur en intégrant des perspectives technologiques, économiques, réglementaires et sociales. Contrairement aux feuilles de route technologiques centrées sur l'innovation technique, les feuilles de route sectorielles offrent une vision holistique, permettant de coordonner les priorités à court, moyen et long terme des parties prenantes. Ce mémoire propose une méthodologie pour établir les bases d'une telle roadmap dans le contexte de la livraison par RPAS au Canada.

## Niveaux de maturité de la Mobilité Aérienne Avancée (AML)

Les Niveaux de Maturité de la Mobilité Aérienne Avancée (AML - *Advanced Air Mobility Maturity Levels*) sont un cadre structuré qui catégorise le développement progressif de la Mobilité Aérienne Avancée en phases (Goodrich, 2021). Ces niveaux s'étendent des opérations de faible complexité et risques limités, comme les démonstrations technologiques (AML 1), aux systèmes pleinement autonomes et intégrés dans des environnements urbains denses (AML 3). Ce mémoire s'appuie sur le cadre AML pour structurer et prioriser les étapes de développement stratégique dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada.

Maintenant que les principaux concepts ont été définis, nous pouvons aborder le contexte général de ce travail de recherche, en mettant en lumière les enjeux, les objectifs et les méthodologies qui structurent cette étude.

## **1.2 Contexte général**

### **1.2.1 Les défis de l'innovation dans des secteurs en transformation réglementés**

L'innovation dans les secteurs en transformation réglementaire représente un défi majeur. Ces secteurs, tels que le médical, l'intelligence artificielle (IA) ou encore la mobilité, doivent naviguer entre des avancées technologiques rapides et des cadres réglementaires en constante évolution, visant à protéger la société tout en favorisant le progrès. Bien que ces transformations soient nécessaires pour s'adapter à des technologies émergentes, elles peuvent également ralentir l'adoption et le déploiement de solutions innovantes.

Dans le domaine médical, par exemple, les dispositifs innovants doivent passer par des processus de validation longs et coûteux avant de pouvoir être mis sur le marché. Aux États-Unis, ces étapes incluent des essais cliniques rigoureux et une conformité stricte aux normes de sécurité et d'efficacité imposées par des organismes tels que la FDA (Food and Drug Administration). Le programme de qualification des outils de développement de dispositifs médicaux (Medical Device Development Tools), décrit dans un document publié par la FDA en 2023, illustre bien cette complexité (Food and Drug Administration (FDA), 2023). Ce programme vise à faciliter le développement et l'évaluation des dispositifs médicaux en introduisant un cadre structuré et prévisible pour la collecte et l'analyse des données nécessaires à la prise de décision réglementaire. Bien que ces exigences garantissent des dispositifs fiables et sûrs pour les patients, elles représentent également une barrière importante, en particulier pour les start-ups qui manquent souvent des ressources nécessaires pour répondre à ces attentes strictes.

L'intelligence artificielle (IA), quant à elle, évolue dans un environnement caractérisé par un vide réglementaire partiel, ce qui crée des défis uniques. Si certains pays, comme les États-Unis et l'Union européenne, s'efforcent d'élaborer des cadres législatifs pour encadrer l'utilisation de l'IA dans des applications sensibles comme la santé et la finance, l'absence d'un cadre normatif global complique l'adoption responsable de cette technologie. Cela soulève des questions majeures en

matière de gouvernance, de transparence et de responsabilité, tout en alimentant des débats éthiques sur les principes qui devraient guider une société exploitant l'IA de manière sécurisée et équitable (Floridi & al., 2018). Les efforts de régulation, bien que nécessaires, peinent parfois à suivre le rythme du progrès technologique, créant un déséquilibre entre l'innovation rapide et la gestion des risques (Roca, Vaishnav, & Morgan, 2021; Blind, 2010).

Ces exemples montrent que les secteurs en transformation réglementaire posent des défis particuliers à l'innovation. Dans un contexte où les technologies évoluent rapidement, des méthodologies stratégiques adaptées doivent être développées pour permettre une adoption efficace, en tenant compte à la fois des exigences sociétales et des impératifs de sécurité. La transition vers des cadres plus flexibles et collaboratifs pourrait atténuer ces tensions et accélérer le déploiement de solutions innovantes dans ces secteurs (Ranchordas & Vinci, 2024).

### **1.2.2 Émergence accélérée de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM)**

Un exemple concret des tensions entre innovation rapide et réglementation rigide se trouve dans le secteur émergent de la Mobilité Aérienne Avancée. Ce secteur englobe l'utilisation de nouveaux types d'aéronefs, comme les drones cargo et les véhicules à décollage et atterrissage verticaux (eVTOL), pour offrir des solutions de transport sûres, rapides et respectueuses de l'environnement. L'émergence de la Mobilité Aérienne Avancée est alimentée par des avancées technologiques dans des domaines comme l'électrification, l'automatisation et la gestion de trafic aérien de faible altitude. Des organisations de recherche mondiale, telles que l'Initiative for Future Aviation Research (IFAR), collaborent activement pour résoudre les défis liés à ces avancées technologiques et favoriser une intégration harmonieuse dans les systèmes de transport existants (IFAR, 2023).

Les RPAS ont joué un rôle de précurseur en validant des technologies et des cadres réglementaires. Cependant, l'AAM étend ce paradigme en incluant des systèmes transportant des passagers et des charges lourdes, impliquant des défis supplémentaires tels que l'infrastructure, la sécurité, et l'acceptabilité sociale.

Bien que cette recherche s'appuie principalement sur les RPAS, elle repose sur l'hypothèse que, d'ici 2035, les premières applications majeures du AAM se concentreront sur le transport de fret plutôt que de passagers. Cette priorité découle des risques accrus associés à la vie humaine,

nécessitant des exigences de certification et de sécurité plus strictes et une infrastructure plus avancée. Les résultats de cette recherche, axés sur les cadres technologiques et réglementaires pour les drones cargo sous le AAM, offrent donc une base essentielle pour soutenir ces premières étapes de développement, tout en laissant place à des travaux futurs qui approfondiront les spécificités liées au transport de passagers.

Ces RPAS, qui représentent un sous-secteur clé de la Mobilité Aérienne Avancée, se développent rapidement grâce à leur capacité à répondre à des besoins logistiques spécifiques, notamment dans les régions éloignées ou mal desservies. Cependant, leur adoption à grande échelle est freinée par des défis réglementaires. Par exemple, l'intégration sécurisée de ces aéronefs dans l'espace aérien civil nécessite la mise en place de règles sur la détection et l'évitement, les exigences de certification, et la gestion des risques liés à leur exploitation. Le régulateur de l'espace aérien au Canada, Transports Canada, aborde ces enjeux dans son document « *Drone Strategy to 2025* », en identifiant les prochains pas nécessaires pour garantir une intégration sécurisée des drones dans l'espace aérien canadien (Transport Canada, 2021).

Le développement de la Mobilité Aérienne Avancée s'effectue à des rythmes différents à travers le monde. Aux États-Unis, la Federal Aviation Administration (FAA), régulateur de l'espace aérien américain, joue un rôle central dans la structuration de ce secteur émergent. Dans son document intitulé « *Advanced Air Mobility (AAM) Implementation Plan* », la FAA identifie des priorités claires pour intégrer les technologies de l'AAM dans le système aérien américain, tout en mettant l'accent sur la sécurité, l'efficacité et la durabilité (Federal Aviation Administration (FAA), 2023). Ce plan décrit une approche progressive où des cadres réglementaires et opérationnels sont développés en parallèle avec des initiatives pilotes, permettant ainsi une adoption maîtrisée des eVTOLs et autres solutions de l'AAM. Cette démarche montre l'engagement des États-Unis à devenir un leader global dans ce domaine en encourageant l'innovation tout en répondant aux défis réglementaires.

Au Canada, le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée est également prometteur. Avec des atouts géographiques comme ses vastes étendues peu peuplées et des infrastructures aériennes déjà bien développées, le pays se positionne comme un leader potentiel dans ce domaine. De plus, le Canada est l'hôte de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), l'agence spécialisée des Nations Unies responsable de l'uniformisation de la réglementation de l'aviation civile mondiale,

et bénéficie d'un écosystème riche en entreprises innovantes dans les technologies aériennes, telles que les fabricants d'eVTOLs. Le *Canadian Advanced Air Mobility Consortium* (CAAM), une organisation nationale dédiée à promouvoir l'intégration sécurisée et durable de la Mobilité Aérienne Avancée, joue un rôle clé dans cette dynamique. Comme le souligne le « *Vancouver Advanced Air Mobility White Paper* » (CAAM, 2020) et le « *Toronto Advanced Air Mobility White Paper* » (CAAM, 2021), ces éléments font du Canada un terrain idéal pour développer des approches de la Mobilité Aérienne Avancée tout en testant des modèles réglementaires innovants. Ainsi, le développement de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada et ailleurs illustre bien les tensions entre des cadres réglementaires traditionnels et l'innovation rapide. Ces défis posent la question de la mise en œuvre de méthodologies de planification stratégique pour accompagner cette transition.

### **1.2.3 La collaboration internationale et le rôle du Canada**

Le Canada se positionne comme un acteur clé dans l'émergence de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) grâce à son expertise en aéronautique et à ses atouts géographiques uniques. En accueillant l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), l'agence spécialisée des Nations Unies responsable de l'uniformisation de la réglementation de l'aviation civile mondiale, le pays affirme son rôle de hub international pour l'innovation dans ce domaine. De plus, ses vastes territoires peu peuplés et son écosystème riche en entreprises spécialisées, telles que les fabricants d'eVTOLs, font du Canada un terrain idéal pour expérimenter des approches novatrices et tester des modèles réglementaires.

Dans ce contexte, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) joue un rôle de premier plan en collaborant avec des organisations internationales telles que la NASA, l'International Forum for Aviation Research (IFAR), et des partenaires nationaux comme le *Canadian Advanced Air Mobility Consortium* (CAAM). En partenariat avec le CAAM et l'industrie, le programme de Mobilité Aérienne Intelligente (IAM) du CNRC s'inscrit dans une dynamique collaborative visant à surmonter les défis technologiques et réglementaires associés à l'intégration des RPAS et des eVTOLs dans l'espace aérien canadien (National Research Council Canada, 2024). Ce programme collabore étroitement avec Transport Canada pour l'élaboration de la nouvelle réglementation et du plan d'implémentation du AAM, tout en alignant les priorités canadiennes avec les meilleures pratiques internationales et les besoins spécifiques du secteur national.

Ces collaborations témoignent de la volonté du Canada de s'affirmer comme un leader global dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée, en harmonisant ses efforts avec ceux des acteurs internationaux pour construire un écosystème sûr, durable et compétitif.

#### **1.2.4 Le mandat du CNRC : un point de départ pour la recherche**

En 2022, le CNRC a mandaté notre équipe de recherche de la Polytechnique Montréal d'effectuer une veille approfondie pour évaluer les exigences technologiques et réglementaires des Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), un sous-secteur clé de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM), dans le contexte canadien. Ce projet, intitulé « *CAAM Cargo Delivery Technical and Regulatory Requirements and Roadmap* », avait pour objectifs:

- Définir les exigences de performance pour des cas d'utilisation spécifiques, comme la livraison de matériel médical;
- Réaliser une analyse des lacunes technologiques actuelles (« *gap analysis* ») pour les drones commerciaux disponibles;
- Développer une roadmap pour guider le développement des technologies nécessaires.

Les résultats de cette analyse ont révélé que les approches technologiques seules ne suffisent pas pour soutenir l'émergence d'un secteur aussi complexe que la Mobilité Aérienne Avancée. Une planification stratégique plus large est nécessaire pour inclure des dimensions réglementaires, économiques, sociales et infrastructurelles (Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ), 2022).

C'est dans ce cadre que s'inscrit ma recherche, qui vise à compléter la demande du CNRC par une approche méthodologique innovante. En mettant en œuvre une méthodologie multidimensionnelle, ce mémoire contribuera à établir un cadre méthodologique de planification stratégique pour l'émergence, et le déploiement plus efficace du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada, tout en offrant des résultats concrets pour les praticiens et des contributions théoriques pour les chercheurs.



### 1.2.5 L'importance des méthodologies de planification stratégique adaptées

Dans des secteurs fortement réglementés comme la Mobilité Aérienne Avancée, l'élaboration de stratégies sectorielles repose sur des méthodes de planification stratégique capables de structurer des roadmaps intégrant des dimensions technologiques, réglementaires, sociales, économiques et infrastructurelles (Geum, Farrukh, & Lee, 2023). Parmi ces méthodes, le processus menant à une roadmap stratégique, appelé le *roadmapping* stratégique, se distingue comme une approche clé, permettant de traduire les planifications stratégiques en outils concrets pour aligner les perspectives des parties prenantes et établir des priorités. Cette méthode, sur laquelle se base cette recherche, joue un rôle central dans la planification à court, moyen et long terme, particulièrement dans des environnements complexes où l'innovation rapide et les contraintes réglementaires nécessitent une coordination rigoureuse et une vision partagée.

Une méthodologie notable est le S-PLAN, développé par l'Université de Cambridge (IfM Engage - University of Cambridge, 2021). Cet outil permet d'explorer rapidement un contexte stratégique, en identifiant des priorités clés et en proposant une vision structurée à court, moyen et long terme. Phaal et ses co-auteurs ont démontré son utilité dans divers contextes industriels, notamment pour aligner les besoins technologiques et les opportunités de marché dans des environnements dynamiques (Phaal & al., 2004). En permettant une visualisation claire des interdépendances entre les domaines stratégiques, le S-PLAN facilite l'identification des options d'innovation tout en soutenant la prise de décisions collaborative.

La planification par scénarios est une autre approche largement utilisée, offrant une perspective prospective en imaginant plusieurs futurs possibles pour un secteur donné. Bradfield et ses co-auteurs ont montré comment cette méthode, en structurant les incertitudes et en favorisant les discussions entre parties prenantes, permet aux décideurs d'anticiper des risques et opportunités (Bradfield & al., 2005). Sa souplesse en fait un outil de choix pour des environnements en évolution rapide comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée.

Parmi les outils complémentaires à la planification stratégique, le *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) se distingue comme une méthode structurée pour gérer les systèmes complexes. Initialement conçu pour le domaine de l'ingénierie des systèmes, le MBSE repose sur des modèles pour soutenir la conception, la validation et la gestion technique. Dans des secteurs

comme la Mobilité Aérienne Avancée (AAM), cette méthodologie s'avère particulièrement utile pour coordonner les interactions entre fabricants, opérateurs et régulateurs.

Cependant, le MBSE présente certaines limites lorsqu'il s'agit d'orienter des priorités stratégiques multidimensionnelles. Par exemple, bien qu'il facilite la gestion des aspects techniques et opérationnels, il ne répond pas directement aux exigences plus larges de planification stratégique intégrée, comme celles abordées par des cadres tels que le S-PLAN ou la méthode Delphi. Les initiatives de la NASA sur la Mobilité Aérienne Avancée, qui utilisent le MBSE pour structurer des systèmes techniques, illustrent son rôle de complément opérationnel plutôt qu'une solution stratégique globale (NASA, 2022). Cette complémentarité en fait néanmoins un outil précieux pour renforcer l'exécution des plans stratégiques.

Ces méthodologies, différentes dans leurs approches, sont essentielles pour structurer des planifications stratégiques menant à des plans stratégiques intégrés dans des secteurs émergents complexes comme la Mobilité Aérienne Avancée. Elles offrent aux acteurs publics et privés des outils leur permettant de collaborer efficacement, réfléchir ensemble en prenant en compte de nombreux paramètres, d'identifier conjointement des priorités et de naviguer de concert dans un environnement complexe en mutation constante, faisant face à de nombreuses contraintes et nouveautés. En intégrant des perspectives *bottom-up* et *top-down*, cette recherche répond aux besoins d'adaptation aux conditions uniques du Canada tout en s'alignant sur des standards internationaux.

## **1.3 Problématique**

### **1.3.1 Limites des méthodologies actuelles de planification stratégique sectorielle**

Les méthodologies existantes de planification stratégique sectorielle, dont celles citées ci-dessus, utilisant le *roadmapping* stratégique et les scénarios, sont essentielles pour structurer l'émergence de secteurs nouveaux et complexes comme la Mobilité Aérienne Avancée. Ces approches permettent de relier les perspectives réglementaires, technologiques, économiques et sociales afin de proposer des trajectoires cohérentes pour le développement de ces industries. Cependant, leur

mise en œuvre dans des environnements fortement réglementés et dynamiques, comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée, met en lumière plusieurs limites.

Le format collaboratif du S-PLAN, développé par l'Université de Cambridge, peut introduire des biais ou limiter la représentativité des résultats lorsque les points de vue des parties prenantes divergent, comme l'ont noté Phaal, Farrukh et Probert (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007). Ces ateliers, bien qu'efficaces pour rassembler des idées, s'avèrent parfois inadéquats dans des contextes où les acteurs n'ont pas de visions alignées. De plus, cette méthode manque souvent de profondeur opérationnelle pour transformer les priorités identifiées en actions concrètes, ce qui représente un obstacle majeur dans des environnements complexes comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée. Ces limites montrent que le S-PLAN, malgré sa pertinence pour une réflexion initiale, nécessite d'être complété par des outils plus adaptés à l'opérationnalisation des stratégies. Au-delà de la planification stratégique à haut niveau, souvent visée par les organisations réglementaires et gouvernementales, les industriels du secteur privé veulent des outils de planification éclairant leur prise de décision afin d'établir des plans d'actions, financiers, commerciaux et technologiques, concrets (Phaal, Farrukh, & Probert, 2010).

De manière similaire, la planification par scénarios, bien qu'excellente pour anticiper les risques et identifier des opportunités dans des environnements incertains, présente également des lacunes. Miller et Waller (Miller & Waller, 2003) soulignent que cette méthodologie ne fournit souvent pas un cadre clair pour convertir les scénarios en plans d'action concrets et coordonnés. Cette limite est particulièrement prononcée dans des secteurs comme la Mobilité Aérienne Avancée, où la rapidité d'évolution des technologies et des cadres réglementaires exige des réponses stratégiques précises et bien coordonnées.

En complément des méthodologies stratégiques présentées, le MBSE est également considéré comme un outil pertinent dans la gestion des interactions complexes entre fabricants, opérateurs et régulateurs. Cependant, comme mentionné précédemment, le MBSE reste limité à l'aspect technique et opérationnel, sans répondre directement aux besoins d'intégration stratégique dans des environnements complexes. Bien qu'utilisé avec succès dans des projets pilotes, comme ceux de la NASA, il est encore à un stade expérimental pour des applications à grande échelle, nécessitant des ajustements pour s'adapter aux priorités multidimensionnelles des secteurs émergents (NASA, 2022).

Ces limitations, qu'il s'agisse d'un manque de cadres opérationnels ou de biais méthodologiques, soulignent la nécessité d'une approche intégrée combinant les forces de ces outils tout en répondant aux exigences uniques de la Mobilité Aérienne Avancée. Ces défis seront approfondis dans les prochaines sections, notamment en lien avec les spécificités du secteur canadien.

### **1.3.2 Les défis d'un alignement stratégique dans le secteur canadien du AAM**

Dans le contexte du secteur canadien de *l'Advanced Air Mobility* (AAM), les défis liés à la fragmentation des efforts et à l'émergence rapide des technologies soulignent l'urgence d'un alignement stratégique clair. Ce secteur se distingue par l'introduction rapide de nouveaux systèmes tels que les drones cargo et les eVTOL, qui offrent des solutions innovantes pour le transport de biens et de personnes. Cependant, ces avancées technologiques se heurtent à des cadres réglementaires initialement conçus pour des technologies aéronautiques traditionnelles, rendant leur intégration particulièrement complexe.

Au-delà des aspects réglementaires, le secteur AAM au Canada doit également relever des défis techniques et organisationnels. Les innovations technologiques progressent rapidement, mais leur adoption reste limitée en raison d'un manque de coordination et de priorisation entre les acteurs. Les enjeux économiques, sociaux et infrastructurels, souvent sous-estimés, représentent pourtant des obstacles majeurs à l'émergence du secteur. Ces freins, combinés à une absence de consensus sur les priorités stratégiques, ralentissent le développement harmonieux de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada.

Une méthodologie stratégique adaptée à ces particularités devient donc indispensable. Elle permettrait d'établir une vision commune entre les parties prenantes publiques et privées, en identifiant les thématiques critiques à aborder en priorité. En facilitant un dialogue constructif entre l'industrie et les régulateurs, une telle approche pourrait répondre aux besoins spécifiques du secteur canadien tout en garantissant une intégration harmonieuse des innovations dans le cadre réglementaire existant.

### **1.3.3 Objectifs de la recherche et identification des besoins**

À titre d'objectif général, cette recherche vise à répondre aux défis identifiés en proposant une approche méthodologique innovante, soit concevoir, en intégrant et bonifiant les méthodologies actuelles, un nouveau cadre stratégique permettant de structurer une planification

multidimensionnelle intégrant non seulement les aspects réglementaires et technologiques, mais également les dimensions sociales, économiques et infrastructurelles souvent négligées.

Un sous-objectif fondamental de cette recherche, qui se veut une contribution face aux secteurs industriels innovateurs freinés par la réglementation, est d'examiner le décalage persistant entre l'évolution rapide des technologies et la lenteur des ajustements réglementaires, et de proposer des méthodologies de planification intégrée, visant à réduire ces écarts et mieux synchroniser les évolutions technologiques et réglementaires. En tenant compte de ce décalage, le cadre méthodologique proposé devra être suffisamment flexible pour s'adapter à un environnement dynamique, tout en assurant une adoption progressive et sécurisée des innovations.

Ce cadre méthodologique se veut le plus générique possible, soit potentiellement applicable aux secteurs industriels faisant face à de multiples changements technologiques, commerciaux, réglementaires, etc. Mais pour les fins de ce mémoire, notre cas d'usage concret qui nous servira à développer pour démontrer sa pertinence et son efficacité dans un secteur complexe et effervescent, sera le contexte particulier du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée

Donc, à titre d'objectif spécifique et appliqué, cette recherche vise à utiliser une démarche de planification stratégique afin de produire les bases d'une roadmap du développement du secteur industriel de la Mobilité Aérienne Avancée, soit identifier les thématiques prioritaires qui freinent l'émergence de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada. Ces priorités seront déterminées par une analyse approfondie, associée à une consultation des parties prenantes, afin de garantir qu'elles reflètent les besoins réels du secteur. En mettant en lumière ces thématiques, l'objectif est de fournir une base solide pour aligner les efforts des acteurs publics et privés et faciliter leur collaboration dans la mise en œuvre de solutions adaptées.

Ces objectifs, méthodologiques et pratiques, en combinant une approche méthodologique et une planification des priorités stratégiques sectorielles, constituent la base de cette recherche appliquée. Ils guideront nos travaux, en vue de poser les fondations pour une étude-terrain approfondie, appliquée dans la pratique, des défis spécifiques du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée, en orientant les efforts vers des solutions concrètes et d'impact. Par ailleurs, bien que cette recherche soit centrée sur le contexte particulier de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada, la méthodologie développée pourrait être appliquée à d'autres secteurs confrontés à

des environnements réglementaires similaires, où les technologies évoluent rapidement et où des enjeux non technologiques complexes doivent également être pris en compte.

## 1.4 Questions de recherche

Les questions de recherche suivantes guident ce mémoire et structurent l'analyse des problématiques identifiées précédemment :

- *Comment concevoir une méthodologie de planification stratégique sectorielle adaptée aux environnements fortement réglementés, tout en tenant compte des dimensions technologiques, réglementaires, économiques, sociales et infrastructurelles?*

Cette question vise à développer une approche intégrée pour répondre aux besoins spécifiques des secteurs où la réglementation rigide coexiste avec des innovations rapides et multidimensionnelles.

- *Comment cette méthodologie peut-elle être appliquée au secteur émergent du AAM au Canada, afin de prioriser les thématiques stratégiques et de faciliter un alignement entre les acteurs publics et privés?*

Cette question explore l'applicabilité de la méthodologie dans un contexte canadien spécifique, où la collaboration entre les parties prenantes est essentielle pour lever les barrières à l'émergence du secteur.

- *Quels sont les résultats et enseignements clés d'une application pilote de cette méthodologie dans le cadre d'un cas d'usage canadien?*

Cette dernière question se concentre sur la validation et l'évaluation des retombées de l'approche proposée, en examinant comment elle permet de répondre aux besoins des parties prenantes et de soutenir le développement stratégique du secteur.

## 1.5 Livrables de la recherche

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du *Design Research Methodology* (DRM), conceptualisé par Blessing et Chakrabarti (Blessing & Chakrabarti, 2009), qui structure la démarche de recherche en quatre grandes phases : clarification de la recherche, étude descriptive I, étude prescriptive et étude descriptive II. Ces étapes guideront la production de livrables ciblant à la fois les praticiens et les théoriciens, en répondant aux besoins spécifiques des parties prenantes et en enrichissant le domaine de la planification stratégique.

Dans la phase de clarification de la recherche, les intrants principaux comprennent une veille approfondie de la documentation réglementaire canadienne et de l'état de l'art technologique dans le domaine des drones cargo. Ces intrants permettront d'analyser un cas d'usage concret lié à la livraison par drone cargo, répondant aux besoins identifiés dans le mandat confié par le CNRC. Les résultats de cette phase se traduiront dans un premier rapport destiné au CNRC, qui répondra aux deux premiers objectifs du mandat :

- Définir les exigences de performance pour des cas d'utilisation spécifiques, comme la livraison de matériel médical.
- Réaliser une analyse des lacunes technologiques actuelles (« *gap analysis* ») pour les drones commerciaux disponibles.

Ce livrable sera particulièrement utile pour les praticiens canadiens, en leur fournissant une analyse structurée pour orienter leurs travaux dans un contexte réglementaire strict.

Dans la phase d'étude descriptive I, les intrants incluront le premier rapport ainsi que la documentation mise à jour sur les cadres réglementaires et les avancées technologiques. Ces éléments serviront de base pour élaborer une roadmap technologique, répondant au dernier objectif du mandat :

- Développer une roadmap pour guider le développement des technologies nécessaires.

Ce travail constituera le deuxième rapport pour le CNRC, offrant un outil pratique pour les praticiens canadiens tout en ayant une pertinence pour les praticiens globaux, en raison de son applicabilité dans des contextes similaires à travers le monde.

La phase d'étude prescriptive intégrera le deuxième rapport comme intrant principal, accompagné de la méthode Delphi pour organiser des entrevues avec des experts du domaine. Cette étape visera à établir un consensus entre les acteurs publics et privés du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée, en identifiant les thématiques stratégiques clés qui freinent son développement. Ces thématiques incluront des dimensions non seulement réglementaires et technologiques, mais également sociales, éthiques, infrastructurelles et économiques. L'extrait de cette phase sera une proposition de thématiques stratégiques clés, qui constituera une fondation pour appliquer la méthodologie S-PLAN à ce secteur. Ce livrable ciblera les praticiens canadiens et globaux, en leur offrant une base pour aligner leurs efforts stratégiques et collaboratifs.

Enfin, dans la phase d'étude descriptive II, tous les travaux précédents seront consolidés pour mettre en forme la méthodologie de planification stratégique utilisée. Cette phase se traduira par un article scientifique, destiné à formaliser et partager la méthodologie novatrice développée dans ce mémoire. Cet article mettra en lumière les apports théoriques et méthodologiques, en identifiant leurs limites et en proposant des pistes pour des recherches futures. Ce livrable s'adressera principalement aux théoriciens de la gestion de l'innovation, en élargissant le cadre des méthodologies de planification stratégique appliquées à des secteurs complexes et fortement réglementés.

Ainsi, à travers ces étapes, les livrables de cette recherche contribueront à :

- *Fournir des outils pratiques et stratégiques pour les praticiens du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée.*
- *Enrichir la planification stratégique méthodologique pour les chercheurs et théoriciens.*

Ces éléments, à la fois concrets et académiques, seront approfondis et articulés dans les chapitres suivants du mémoire.

## **1.6 Contributions attendues**

Ce mémoire propose des contributions significatives qui s'inscrivent dans trois axes principaux : méthodologique, pratique et académique. En réponse aux défis spécifiques du secteur de l'*Advanced Air Mobility* (AAM) au Canada, ces contributions visent à fournir des outils, des connaissances et des perspectives novatrices pour accompagner l'émergence de ce secteur



complexe tout en enrichissant le domaine de la gestion stratégique dans des environnements fortement réglementés.

Sur le plan méthodologique, cette recherche se distingue par l'intégration structurée de la DRM (Blessing & Chakrabarti, 2009) avec des outils comme la méthode Delphi et le S-PLAN. Ce cadre méthodologique multidimensionnel et adaptatif permet d'aborder les environnements réglementés complexes en intégrant simultanément des dimensions technologiques, réglementaires, sociales, économiques et infrastructurelles. Contrairement aux méthodologies existantes, souvent limitées à un domaine spécifique, l'approche proposée introduit une vision intégrative et dynamique, particulièrement adaptée aux secteurs émergents. Elle pourra également être transposée à d'autres secteurs partageant des défis similaires.

Les livrables pratiques de cette recherche fourniront des solutions concrètes pour les acteurs du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée. Les rapports produits pour le CNRC contribueront directement à l'élaboration de stratégies et d'actions prioritaires pour les praticiens, en identifiant les lacunes technologiques, les opportunités stratégiques et les thématiques clés freinant l'émergence du secteur. Bien que ces travaux soient spécifiquement réalisés dans le contexte canadien, leurs résultats pourront également être utiles pour les praticiens internationaux du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée. En identifiant des enjeux stratégiques et des recommandations basées sur des problématiques universelles telles que la régulation, l'innovation technologique et la collaboration intersectorielle, cette recherche permettra de faciliter la collaboration entre les acteurs publics et privés tout en offrant une base solide pour une planification structurée et cohérente. Les résultats serviront également à aligner les efforts des différentes parties prenantes, en leur proposant des outils concrets pour naviguer dans un environnement en rapide évolution.

D'un point de vue académique, ce mémoire enrichit le domaine de la gestion de l'innovation en proposant un modèle méthodologique intégré qui combine rigueur académique et applicabilité pratique. L'article scientifique prévu au terme de cette recherche introduira un cadre inédit pour explorer les interactions complexes entre innovation technologique et régulation. Bien que ce cadre soit conçu et adapté au cas spécifique du Canada, il pourra être généralisé, avec certaines limites discutées plus loin dans le mémoire, pour d'autres pays opérant dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée. De plus, il pourra même être transposé à d'autres secteurs hautement réglementés confrontés à des défis similaires. En s'appuyant sur un cas concret tel que le secteur

canadien de la Mobilité Aérienne Avancée, ce mémoire contribuera ainsi à élargir les connaissances théoriques tout en offrant des applications pratiques directement exploitables. Cette double pertinence, à la fois locale et globale, positionne ce cadre comme une base structurante pour les chercheurs et praticiens intéressés par l'émergence de secteurs novateurs dans des environnements complexes.

Ces contributions, qu'elles soient méthodologiques, pratiques ou académiques, visent à transformer la manière dont les secteurs fortement réglementés abordent l'innovation et la planification stratégique. Elles seront détaillées et illustrées dans les chapitres suivants, à mesure que les résultats et les implications de cette recherche seront explorés.

## **1.7 Structure du mémoire**

Ce mémoire est structuré en sept chapitres, chacun contribuant à répondre aux questions de recherche et à atteindre les objectifs définis dans l'introduction. Chaque chapitre est conçu pour guider le lecteur à travers les étapes essentielles de cette recherche, des fondations théoriques jusqu'aux résultats pratiques et méthodologiques, en terminant par des recommandations pour les recherches futures.

Le Chapitre 2, intitulé Revue de la littérature, explore les travaux existants dans trois domaines principaux : les blocages réglementaires qui freinent l'innovation dans des secteurs fortement encadrés, les méthodologies de roadmapping utilisées pour structurer des roadmaps stratégiques, et les spécificités du secteur émergent de la Mobilité Aérienne Avancée. Cette revue identifie les lacunes des approches actuelles et souligne la nécessité de méthodologies adaptées aux environnements multidimensionnels et réglementés.

Le Chapitre 3, Méthodologie, présente le cadre méthodologique adopté dans cette recherche. Basé sur la méthodologie de recherche par le design (DRM), il explique les interrelations entre les étapes du processus, justifie l'utilisation d'outils comme le S-PLAN et la méthode Delphi, et établit la pertinence de chacun dans le contexte de cette étude. Cette méthodologie vise à combiner rigueur académique et utilité pratique pour répondre aux problématiques identifiées.

Le Chapitre 4, Démarches de recherche pratique, synthétise les résultats obtenus dans le cadre du mandat réalisé avec le CNRC. Il s'agit de deux rapports pratiques, encore non publiés, qui

répondent aux besoins actuels de cette organisation. Ces rapports incluent une analyse approfondie des exigences réglementaires et technologiques des systèmes d'aéronefs télépilotes (RPAS) au Canada, ainsi qu'une évaluation des lacunes technologiques. Ce chapitre fournit une base pratique à la recherche méthodologique et au développement stratégique.

Le Chapitre 5 présente l'article scientifique soumis pour publication dans le journal *Technological Forecasting and Social Change*. Cet article constitue le cœur de la contribution académique du mémoire, en détaillant une procédure innovante pour élaborer une roadmap sectorielle adaptée au contexte réglementaire canadien et aux besoins multidimensionnels du secteur AAM.

Le Chapitre 6, Résultats pratiques et méthodologiques, complète les travaux présentés dans l'article en fournissant des résultats supplémentaires non inclus dans la publication. Ce chapitre met en avant des éléments pertinents pour les praticiens et les chercheurs, tout en approfondissant certains aspects méthodologiques pour enrichir les contributions de cette recherche.

Enfin, le Chapitre 7, Discussion, conclusion et recommandations, analyse les résultats sous l'angle de leur pertinence, de leurs limites, et de leur potentiel applicatif. Une discussion approfondie sur les implications méthodologiques et pratiques est suivie de recommandations pour les recherches futures, visant à guider aussi bien les praticiens canadiens et globaux que les théoriciens dans leurs efforts respectifs.

## **CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE**

### **2.1 Blocages réglementaires freinant l'innovation dans les secteurs émergents**

Les cadres réglementaires jouent un rôle clé dans la sécurité et la conformité, mais leur lenteur d'adaptation face aux avancées technologiques freine souvent l'innovation. Comme discuté en section 1.2.1, des exemples issus du domaine médical, de l'intelligence artificielle (IA) et de l'aviation mettent en évidence ces tensions entre innovation et régulation. Ces secteurs démontrent comment des processus d'approbation rigides, associés à un manque d'harmonisation internationale, ralentissent l'émergence de technologies prometteuses (Veale & Zuiderveen Borgesius, 2021; Wiedemann & al., 2024).

Dans cette section, nous approfondirons ces enjeux en explorant d'autres secteurs confrontés à des problématiques similaires, tels que l'énergie, les télécommunications et les matériaux avancés, où la régulation rigide freine également le progrès technologique.

#### **2.1.1 Cadres réglementaires rigides et défis d'adaptation**

Outre les domaines précédemment évoqués, d'autres secteurs technologiques souffrent également des limites des cadres réglementaires. Dans le secteur de l'énergie, les efforts pour intégrer des solutions durables, comme les réseaux intelligents et les technologies de stockage, sont freinés par des réglementations conçues pour des infrastructures traditionnelles. Ces cadres, souvent rigides, compliquent l'expérimentation de modèles économiques innovants, tels que la production décentralisée d'énergie. Comme l'explique Nathan (2014), ces barrières réglementaires limitent la capacité des innovateurs à proposer des solutions adaptées aux besoins contemporains, ralentissant ainsi la transition énergétique.

Un autre exemple se trouve dans le domaine des matériaux avancés, où des technologies prometteuses comme les nanomatériaux et les composites ultralégers sont confrontées à des exigences réglementaires strictes avant leur intégration dans des applications industrielles ou médicales. Roca, Vaishnav et Morgan (2021) montrent que ces régulations, bien qu'elles visent à protéger la santé publique et l'environnement, ne tiennent pas toujours compte des cycles rapides d'innovation, ce qui retarde l'accès de ces matériaux au marché.

Dans les télécommunications, la montée en puissance de la 5G et de l'Internet des Objets (IoT) met également en lumière les tensions entre les régulateurs et les innovateurs. Les autorités cherchent à protéger la sécurité des données et à encadrer l'utilisation de ces nouvelles technologies, mais ces efforts, bien que nécessaires, s'accompagnent souvent d'une lourdeur administrative. Blind (2010) souligne que ces contraintes, bien qu'elles apportent une stabilité, entravent parfois l'adaptabilité nécessaire à l'évolution rapide des systèmes connectés.

Dans chaque cas, ces exemples révèlent un dilemme central : comment protéger la sécurité et l'éthique tout en permettant aux technologies de se développer et de s'adapter aux exigences du marché ? Les difficultés d'évolution des cadres réglementaires face aux besoins des secteurs innovants illustrent un déséquilibre persistant, rendant indispensable l'adoption d'approches plus flexibles et adaptatives. Dans les sections suivantes, nous examinerons comment ces défis se manifestent particulièrement dans le secteur aéronautique et la Mobilité Aérienne Avancée, où la complexité des interactions technologiques, sociales et réglementaires amplifie ces problématiques.

### **2.1.2 Tensions entre régulation et innovation dans la Mobilité Aérienne Avancée**

Dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée, les tensions entre régulation et innovation sont particulièrement marquées. Blind (2010) explique que si les normes peuvent encourager l'innovation en fixant des objectifs ambitieux, elles peuvent également freiner son développement en imposant des processus bureaucratiques lourds. Les réglementations strictes, bien qu'essentiels pour garantir la sécurité, nuisent souvent à la résilience des technologies émergentes (Roca, Vaishnav, & Morgan, 2021).

Les initiatives de bacs à sable réglementaires offrent une solution prometteuse à ce dilemme. Ces environnements contrôlés, décrits par Ranchordas et Vinci (2024), permettent de tester de nouvelles technologies tout en adaptant progressivement les normes existantes. Par exemple, Nakamura et Kajikawa (2018) montrent comment des approches adaptatives pour les drones pourraient accélérer leur intégration sécurisée dans l'espace aérien tout en répondant aux attentes en matière de sécurité publique et de confidentialité.

Au Canada, des efforts tels que les initiatives de Transports Canada et du CNRC (Conseil national de recherches du Canada) se concentrent sur des cadres comme l'AC 903-001 pour les opérations BVLOS (Transport Canada, 2021). Cependant, Sluijs et al. (2023) signalent que ces initiatives, bien qu'importantes, avancent à un rythme insuffisant pour répondre aux besoins croissants du marché. À l'international, des programmes comme la feuille de route 2035 du CRIAQ (2022) adoptent une perspective plus globale, en intégrant des solutions technologiques, économiques et sociales dans un cadre unifié.

Malgré ces efforts, l'alignement des cadres nationaux et internationaux reste un défi, intensifié par la complexité des interactions entre les parties prenantes publiques et privées. Thippavong et al. (Thippavong & al., 2018) soulignent que l'intégration des technologies de la Mobilité Aérienne Avancée nécessite une refonte des concepts de gestion de l'espace aérien, y compris la création de corridors spécifiques et de systèmes avancés de gestion du trafic aérien non habité (UTM).

En somme, le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée illustre clairement les tensions entre régulation et innovation. Pour surmonter ces défis, des approches collaboratives et adaptatives sont nécessaires, combinant des initiatives nationales ambitieuses avec une harmonisation internationale, afin de garantir un développement sûr et durable des technologies AAM.

## **2.2 Méthodologie de recherche par le design (DRM)**

La méthodologie de recherche par le design (DRM), développée par Blessing et Chakrabarti (Blessing & Chakrabarti, 2009), se distingue comme un cadre structurant pour mener des recherches dans des environnements complexes et innovants. Conçue initialement pour répondre aux besoins des projets de design industriel, la DRM a été adoptée et enrichie pour s'appliquer à des domaines variés, allant de l'ingénierie mécanique à la gestion stratégique. Ebneyamini (2022) souligne que la DRM permet d'articuler des approches exploratoires et prescriptives, facilitant ainsi une meilleure compréhension des systèmes multidimensionnels et la génération de solutions pragmatiques dans des environnements évolutifs.

Les principes sous-jacents à la DRM ont été adaptés pour répondre aux défis spécifiques de secteurs émergents. Par exemple, Hwang et al. (2021) démontrent l'efficacité de la DRM dans le contexte de la fabrication additive, en soulignant son rôle dans l'alignement des objectifs de

conception avec les ressources et contraintes spécifiques. Cette intégration a permis de développer des approches innovantes, comme l'utilisation de bases de données collaboratives pour soutenir la prise de décision dans des projets complexes.

De même, Nikolaev et Fortin (2022) mettent en évidence la pertinence de la DRM dans la prise de décision pour les systèmes d'ingénierie complexes. Leur étude montre comment l'approche émergente de la DRM peut soutenir les décisions dans des contextes marqués par une grande incertitude, en structurant des processus flexibles qui favorisent l'innovation tout en maintenant une rigueur analytique.

Ces contributions montrent que la DRM ne se limite pas à un outil de design technique, mais qu'elle constitue une plateforme idéale pour aborder des problématiques stratégiques, en combinant des dimensions technologiques, organisationnelles et sociales. Cette méthodologie offre une transition naturelle vers les approches de planification stratégique, qui partagent une ambition commune : structurer les efforts dans des environnements complexes pour garantir une vision cohérente et durable. La section suivante explore comment la planification stratégique, enrichie par des cadres méthodologiques comme le S-PLAN, peut répondre aux besoins des secteurs émergents, en particulier dans des environnements où la régulation, l'innovation et la collaboration doivent coexister harmonieusement.

## **2.3 La planification stratégique**

La planification stratégique est essentielle pour guider le développement des secteurs émergents confrontés à des environnements complexes et évolutifs (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007). Elle permet de structurer les objectifs à long terme en alignant les priorités technologiques, réglementaires et économiques sur une trajectoire claire et cohérente. Cette approche est particulièrement importante dans des secteurs comme les systèmes d'aéronefs télépilotes (RPAS) et la Mobilité Aérienne Avancée, où des innovations rapides doivent s'intégrer dans des cadres réglementaires souvent rigides.

### 2.3.1 Méthodologies de planification stratégique

Les méthodologies de planification stratégique s'appuient sur des principes visant à organiser et prioriser les efforts dans des environnements complexes. Ces cadres permettent d'aligner les dynamiques sectorielles avec des objectifs à long terme, tout en intégrant des perspectives économiques, sociales et réglementaires.

#### 2.3.1.1 Cadre S-PLAN

Le S-PLAN est une méthodologie structurée et flexible conçue pour aligner les perspectives technologiques, réglementaires et sociétales dans des environnements complexes et dynamiques. Développé par Phaal, Farrukh et Probert à l'Université de Cambridge, le S-PLAN est le résultat d'une recherche approfondie sur les méthodologies de planification stratégique adaptées aux secteurs émergents. Phaal, Farrukh et Probert (2007) définissent le S-PLAN comme un cadre en quatre étapes : (1) définir le paysage stratégique, (2) sélectionner les éléments de valeur, (3) explorer les sujets émergents, et (4) convenir d'un chemin stratégique. Ce modèle permet une planification progressive tout en intégrant des retours continus des parties prenantes.

Dans le cadre de la Mobilité Aérienne Avancée, le S-PLAN est particulièrement adapté pour structurer des roadmaps qui répondent aux besoins spécifiques des acteurs publics et privés. Park et al. (2020) montrent que cette méthodologie est idéale pour traiter des défis multidimensionnels, en intégrant des perspectives technologiques, économiques et sociales dans un cadre cohérent. Par exemple, la première étape, qui consiste à évaluer le paysage stratégique, est essentielle pour identifier les principaux obstacles réglementaires et les opportunités technologiques.

Une des forces du S-PLAN est sa capacité à évoluer avec le temps. Geum et al. (2023) expliquent que son approche itérative permet aux parties prenantes d'ajuster leurs priorités en fonction des changements dans l'environnement externe, comme les évolutions réglementaires ou les avancées technologiques. Cette flexibilité est cruciale dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée, où l'incertitude et la complexité rendent les approches traditionnelles insuffisantes.

Enfin, le S-PLAN a été appliqué avec succès dans d'autres secteurs émergents, tels que les énergies renouvelables et les véhicules autonomes, pour développer des stratégies sectorielles intégrées. Son adoption dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée offre une opportunité unique



d'aligner les innovations technologiques avec les priorités réglementaires et sociétales, soutenant ainsi un développement durable et inclusif.

### **2.3.1.2 Méthode Delphi**

La méthode Delphi est largement reconnue pour son efficacité à structurer les contributions d'experts dans des contextes caractérisés par l'incertitude et la complexité. Développée dans les années 1950 par le RAND Corporation, elle est initialement conçue pour anticiper les évolutions dans le domaine militaire. Depuis, elle a été adoptée dans divers secteurs, allant de la gestion de l'innovation aux politiques publiques, en passant par la planification stratégique dans des environnements technologiques complexes (Landeta, 2006).

La méthode repose sur un processus structuré et itératif visant à recueillir les opinions d'un panel d'experts. Cette démarche est généralement organisée en trois phases clés : préparation, conduite et analyse (Beiderbeck & al., 2021). Elle est fréquemment utilisée pour anticiper des évolutions technologiques, identifier des opportunités stratégiques, ou encore formuler des politiques publiques adaptées. Par exemple, Schmalz et al. (2021) démontrent son efficacité dans la création de scénarios pour des écosystèmes complexes, permettant d'aligner les priorités des parties prenantes sur des horizons temporels cohérents. D'autres travaux, tels que ceux de Kluge et al. (2020), montrent comment Delphi peut éclairer les politiques énergétiques, notamment pour l'adoption de technologies d'hydrogène. Leypoldt (2024) l'utilise pour prévoir des scénarios de mobilité porte-à-porte, révélant son utilité pour identifier des solutions innovantes à des défis multidimensionnels.

Dans le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée, la méthode Delphi s'avère particulièrement pertinente. Ce secteur, marqué par une interdépendance complexe entre les dimensions technologiques, réglementaires, sociales et économiques, nécessite une approche intégrative pour aligner les priorités stratégiques des parties prenantes. Schmalz et al. (2021), dans une étude appliquée au domaine de la Mobilité Aérienne Avancée, montrent comment Delphi peut anticiper les tendances clés en matière de gestion du trafic aérien non habité (UTM) et identifier les défis liés à l'intégration des drones et eVTOL dans l'espace aérien. Dans cette application, la phase initiale de Delphi met en lumière les préoccupations réglementaires et les attentes des parties prenantes publiques et privées, tandis que les itérations successives affinent les priorités stratégiques en fonction des retours collectifs.

Par ailleurs, Nakamura et Kajikawa (2018) soulignent que la méthode Delphi est particulièrement utile pour traiter les questions liées à l'acceptabilité sociale, une dimension essentielle pour l'adoption des technologies AAM. Les itérations permettent de recueillir des perspectives diversifiées, notamment sur les préoccupations éthiques, les risques perçus et les opportunités économiques.

En somme, la méthode Delphi, lorsqu'elle est intégrée à des cadres comme le S-PLAN, offre une approche robuste pour créer des roadmaps sectorielles. Elle permet de transformer des perspectives expertes en priorités stratégiques tout en maintenant une flexibilité pour répondre aux évolutions rapides du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée.

### **2.3.1.3 Outil pratique : Modèle en V**

Dans le cadre d'un secteur en rapide évolution tel que la Mobilité Aérienne Avancée, le besoin d'outils complémentaires à des méthodologies comme la méthode Delphi est primordial pour établir un portrait précis et structuré des exigences et des défis. Le modèle en V, bien connu dans le domaine de l'ingénierie des systèmes complexes, se positionne comme un outil de choix pour compléter les approches collaboratives et itératives. Tandis que Delphi recueille et structure les contributions des experts, le modèle en V offre une méthodologie rigoureuse pour relier ces insights à des processus de développement et de validation technique, garantissant ainsi que les priorités identifiées s'intègrent efficacement dans des cadres opérationnels et réglementaires.

Le modèle en V, illustré de manière simplifiée à la Figure 2.1 : Modèle en V simplifié, est une méthodologie bien établie dans le domaine de l'ingénierie aéronautique et constitue une base pour le développement et la certification des systèmes complexes (SAE International, 2023).

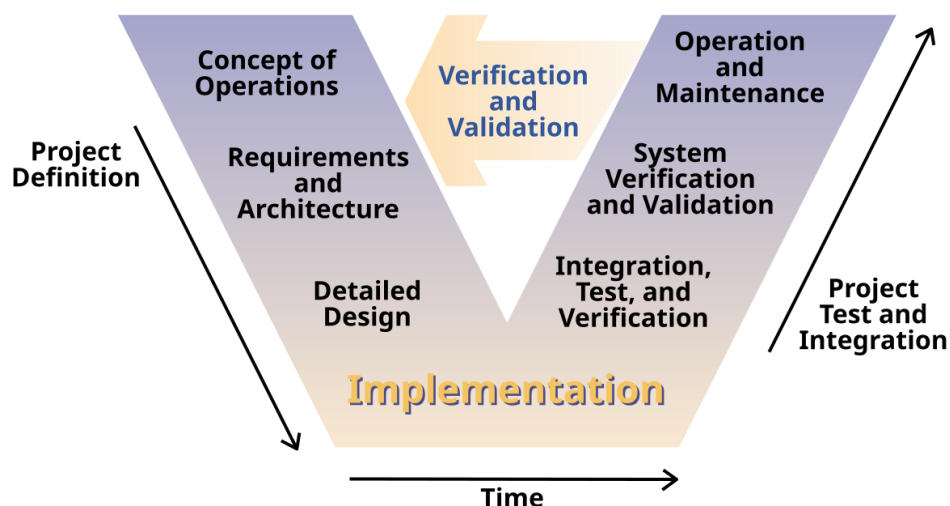


Figure 2.1 : Modèle en V simplifié (SAE International, 2023)

Cette approche repose sur un processus structuré et itératif qui favorise une collaboration étroite entre les concepteurs, les opérateurs et les régulateurs. Par exemple, Taibi et al. (2015) démontrent comment cette méthode peut être adaptée aux RPAS pour gérer des exigences de performance et de sécurité strictes, tout en maintenant une flexibilité suffisante pour intégrer des innovations émergentes. Elle est également utile pour coordonner les phases de validation et de vérification nécessaires dans des environnements multidimensionnels, notamment ceux qui impliquent une forte composante réglementaire, comme l'aéronautique et les eVTOLs (Borges, Cardoso, & Castilho, 2024).

En bref, l'intégration du modèle en V dans une démarche combinant Delphi et d'autres outils méthodologiques comme le S-PLAN enrichit la capacité à naviguer dans des environnements complexes et incertains. Il offre une structure rigoureuse pour gérer les interactions multiples entre technologies, régulations et attentes des parties prenantes, permettant ainsi de construire une roadmap sectorielle robuste et adaptable aux évolutions rapides du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée.

### 2.3.2 Limites des méthodologies actuelles

Malgré leur utilité dans des contextes variés, les méthodologies de planification stratégique actuelles présentent plusieurs limites lorsqu'elles sont appliquées à des environnements dynamiques et complexes, tels que ceux de la mobilité aérienne avancée (AAM).

D'une part, les méthodologies linéaires traditionnelles, souvent centrées sur des objectifs technologiques, tendent à négliger des facteurs critiques comme l'acceptabilité sociale ou les interactions complexes entre régulateurs et opérateurs industriels (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007). Par exemple, ces approches peinent à intégrer les dimensions sociales et économiques dans la planification stratégique, limitant leur capacité à fournir des solutions multidimensionnelles. Singireddy et Daim (2018) mettent en évidence ce problème dans leur analyse des roadmaps technologiques pour les livraisons par drones, soulignant l'importance cruciale de l'acceptabilité sociale pour garantir une adoption réussie de ces innovations.

D'autre part, dans des secteurs comme la Mobilité Aérienne Avancée, où les technologies évoluent souvent plus rapidement que les cadres réglementaires, ces méthodologies montrent une faible adaptabilité. Geum et al. (2023) soulignent que les méthodologies actuelles sous-estiment fréquemment la complexité des interactions entre les dimensions technologiques, réglementaires, sociales et économiques. Cette inadéquation réduit leur efficacité pour traiter des défis opérationnels ou pour anticiper des tendances émergentes.

Les approches centrées sur la technologie, comme celles utilisées dans l'aéronautique, ne tiennent pas suffisamment compte des dynamiques intersectorielles ou de la nécessité d'une coordination entre les parties prenantes. Par exemple, le manque d'alignement entre les priorités des régulateurs et les besoins des opérateurs industriels constitue un obstacle important à la mise en œuvre de solutions innovantes (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007). Ce décalage est particulièrement évident dans des environnements complexes comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée, où l'adoption des technologies dépend de multiples facteurs externes, notamment les attentes sociétales, les évolutions réglementaires et les avancées technologiques.

En somme, bien que les méthodologies actuelles apportent des cadres utiles pour la planification stratégique, elles nécessitent des ajustements significatifs pour répondre aux exigences des

secteurs émergents comme la Mobilité Aérienne Avancée. Une approche intégrée, combinant flexibilité et perspectives multidimensionnelles, est indispensable pour pallier ces limites.

## **2.4 Méthodologie pour la construction de consensus dans la planification stratégique : combinaison de Delphi et S-PLAN**

Dans des environnements caractérisés par une forte complexité, comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée, la combinaison de la méthode Delphi avec des cadres structurés comme le S-PLAN constitue une réponse efficace aux limites des approches traditionnelles. Tandis que la méthode Delphi offre un processus structuré pour recueillir et synthétiser les perspectives expertes dans des contextes incertains (Landeta, 2006), le S-PLAN apporte une structure rigoureuse pour traduire ces perspectives en priorités stratégiques concrètes et actionnables.

Rowe et Wright (1999) soulignent que la méthode Delphi est particulièrement utile pour identifier des tendances clés et construire un consensus éclairé parmi des parties prenantes diversifiées. Lorsqu'elle est intégrée au S-PLAN, cette méthode enrichit la planification stratégique en permettant d'explorer des perspectives « *bottom-up* », issues des experts, tout en les alignant avec une structure « *top-down* » qui garantit la cohérence stratégique (Chan & al., 2024).

Schmalz et al. (2021) démontrent que l'intégration de Delphi avec des cadres structurés est particulièrement efficace pour gérer les incertitudes et aligner les priorités des parties prenantes. Dans le contexte de la Mobilité Aérienne Avancée, cette combinaison a été utilisée pour anticiper les besoins en gestion du trafic aérien non habité (UTM) et pour définir des corridors aériens sécurisés. Ces applications montrent comment la méthode Delphi et le S-PLAN travaillent ensemble pour produire des roadmaps équilibrées et inclusives.

La combinaison de Delphi et du S-PLAN permet non seulement d'aligner les perspectives des parties prenantes, mais aussi de prioriser des thématiques critiques, telles que la durabilité, la sécurité et l'innovation technologique. Nakamura et Kajikawa (2018) soulignent que cette intégration est particulièrement pertinente pour des secteurs comme la Mobilité Aérienne Avancée, où l'interconnexion entre les dimensions sociales, économiques et technologiques est essentielle pour garantir un développement inclusif et durable.

En somme, selon la littérature, la méthode Delphi, combinée au cadre S-PLAN, constitue une approche robuste et intégrée pour la planification stratégique dans des secteurs émergents. Elle offre une structure méthodologique capable d'aligner les efforts des parties prenantes sur des objectifs stratégiques à long terme, tout en maintenant la flexibilité nécessaire pour s'adapter aux évolutions rapides des environnements complexes.

## CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

### 3.1 Cadre méthodologique

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la méthodologie de recherche par le design (*Design Research Methodology*, DRM), conceptualisée par Blessing et Chakrabarti (Blessing & Chakrabarti, 2009). Ce cadre structurant permet de progresser méthodiquement à travers les différentes phases de la recherche, de la définition des objectifs jusqu'à l'analyse des résultats. Il offre un modèle adapté aux environnements complexes, comme celui du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée étudiée dans ce projet de recherche.

L'objectif principal de cette recherche est de proposer une méthodologie de planification stratégique adaptée aux environnements fortement réglementés. Cette démarche se structure autour de deux composantes essentielles :

*Le contenu : les bases d'une roadmap sectorielle destinée à guider le développement du secteur AAM au Canada, en identifiant les thématiques stratégiques clés qui freinent son émergence.*

*Le contenant : le processus de planification stratégique, basé sur l'intégration de plusieurs outils méthodologiques comme la méthode Delphi adaptée et le cadre S-PLAN.*

Cette double finalité – proposer une approche méthodologique (le contenant) tout en fournissant des livrables concrets pour le secteur (le contenu) – garantit une contribution à la fois académique et pratique. En s'appuyant sur les phases successives de la DRM, cette recherche vise à générer des résultats exploitables pour les praticiens tout en offrant une base théorique enrichissante pour les chercheurs. Les phases du cadre DRM, ainsi que les intrants, les moyens et les extrants associés à chaque étape, sont illustrés de manière synthétique dans la Figure 3.1, offrant une vue d'ensemble de la démarche méthodologique structurée adoptée pour cette recherche.

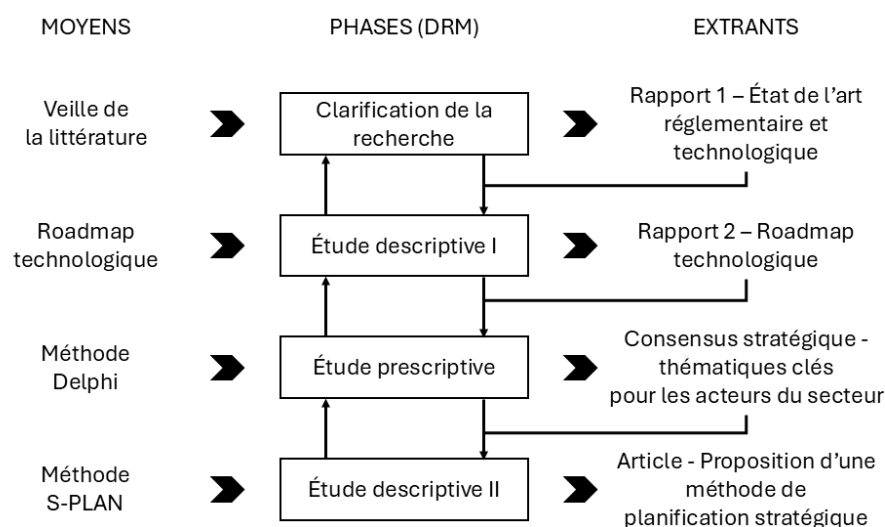


Figure 3.1 : Les phases successives de la méthodologie DRM appliquées à la recherche

Le cadre méthodologique adopté dans cette recherche a été conçu pour s’adapter à la nature évolutive et multidimensionnelle du secteur des RPAS et de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM). Chaque phase méthodologique a intégré des retours itératifs, issus des interactions avec les experts et des évolutions réglementaires, permettant une mise à jour constante des priorités stratégiques.

Par exemple, lors de l’étape prescriptive, des données réglementaires récentes publiées par Transports Canada ont nécessité une réévaluation des priorités identifiées précédemment. Ce processus itératif a permis de tester la robustesse de la méthodologie et d’intégrer des ajustements tout en alignant les livrables avec les besoins opérationnels du secteur.

Cette flexibilité méthodologique reflète une démarche agile, essentielle dans des environnements complexes où les interactions entre les parties prenantes jouent un rôle central dans la définition des résultats stratégiques.

## 3.2 Description détaillée de la méthodologie proposée

La méthodologie développée pour cette recherche est articulée autour des cinq étapes principales, alignées avec les quatre phases du cadre DRM : clarification de la recherche, étude descriptive I, étude prescriptive, et étude descriptive II. Ces étapes, conceptualisées pour répondre aux objectifs



spécifiques de ce projet, sont illustrées dans la Figure 3.2, qui présente la manière dont elles s'inscrivent dans la structure méthodologique de la DRM.

Cette méthodologie se distingue par son agilité et sa capacité d'adaptation, essentielles dans un contexte marqué par des évolutions rapides des cadres réglementaires et technologiques. L'approche itérative adoptée permet de revisiter les phases initiales lorsque d'un changement dans l'environnement, de nouvelles données ou priorités émergent, garantissant ainsi que les objectifs stratégiques restent alignés avec les besoins du secteur. En intégrant des retours continus des parties prenantes et en ajustant les priorités tout au long du processus, ce cadre analytique offre une structure opérationnalisable et flexible, adaptée à des environnements complexes et dynamiques.

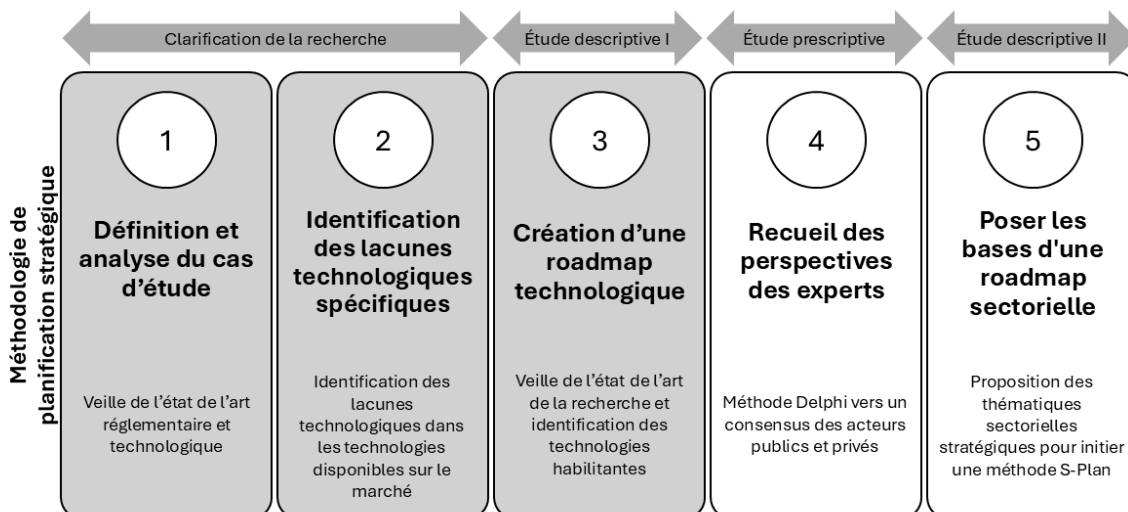


Figure 3.2 : Les cinq étapes méthodologiques structurées par le cadre DRM

Les Figures 3.1 et 3.2 offrent des perspectives complémentaires sur l'approche méthodologique adoptée dans cette recherche. La Figure 3.1 présente une vue d'ensemble des phases successives de la méthodologie DRM, soulignant les interactions itératives entre les objectifs, les intrants et les extrants de chaque phase. Cette représentation met en évidence la nature agile et interconnectée de la démarche, essentielle dans un contexte marqué par des évolutions rapides des cadres technologiques et réglementaires.

La Figure 3.2, quant à elle, affine cette perspective en détaillant les cinq étapes spécifiques de la recherche, adaptées aux besoins du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée. Elle illustre

la déclinaison opérationnelle des principes généraux présentés dans la figure 1, traduisant les concepts théoriques en un cadre pratique conçu pour répondre aux défis sectoriels identifiés.

Cette transition entre les deux figures reflète l'adaptabilité de la méthodologie employée, notamment sa capacité à intégrer des retours itératifs et à ajuster ses priorités en réponse aux nouvelles données ou exigences. Tandis que la Figure 3.1 représente une carte conceptuelle globale de la démarche méthodologique, la Figure 3.2 est une application contextualisée, alignée sur les spécificités des thématiques stratégiques étudiées dans cette recherche.

Ce lien entre les deux figures met également en lumière le rôle central de l'agilité méthodologique dans l'intégration de dimensions multiples – réglementaires, technologiques et économiques – tout au long du processus de recherche.

### **3.2.1 Phase 1 : clarification de la recherche**

La phase de clarification de la recherche représente la première étape cruciale du cadre méthodologique DRM. Elle vise à poser les fondations de cette recherche en s'attaquant aux paramètres définis par le CNRC dans le cadre d'un mandat spécifique lié à la Mobilité Aérienne Avancée. Plus précisément, cette phase se concentre sur le sous-secteur des systèmes d'aéronefs télépilotés (Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS). Ce choix découle de l'état actuel de la réglementation au Canada, qui se focalise principalement sur les RPAS, offrant une base réaliste et applicable pour l'analyse. Toutefois, ces travaux ont une pertinence directe pour le secteur élargi de la Mobilité Aérienne Avancée, car les thématiques abordées et les défis identifiés dans cette phase seront englobés et approfondis dans les étapes suivantes de la méthodologie.

L'étape 1, dédiée à la définition et à l'analyse du cas d'étude, a été guidée par les paramètres établis par le CNRC pour simuler une opération complexe impliquant le transport de cargaison médical avec des RPAS. L'objectif était de faire ressortir les principaux défis réglementaires et technologiques propres à ce sous-secteur. Pour conceptualiser cette opération, une veille approfondie de l'état de l'art a été réalisée afin de recueillir la documentation technique et réglementaire pertinente. Cette documentation a permis de définir et valider les démarches administratives et de développement opérationnelles requises pour obtenir les autorisations nécessaires, tout en dressant un portrait précis du cadre réglementaire actuel au Canada. Ce travail

a contribué à clarifier les processus administratifs et techniques et à identifier les obstacles spécifiques à la mise en œuvre pratique d'une telle opération.

L'étape 2 s'est concentrée sur l'identification des lacunes technologiques spécifiques au cas d'étude. En s'appuyant sur la veille de l'état de l'art, cette étape a permis d'identifier les technologies existantes susceptibles d'être intégrées pour garantir la faisabilité technique de l'opération simulée. Cette analyse a également permis de mettre en lumière les lacunes technologiques critiques qui pourraient limiter l'efficacité ou la sécurité de l'opération. Ces résultats ont permis de dresser un portrait des technologies disponibles et des besoins non comblés, constituant ainsi une base solide pour guider les étapes suivantes de la recherche

Les intrants de cette phase incluent principalement la documentation réglementaire et technique disponible, les spécifications fournies par le CNRC pour définir les paramètres du cas d'étude, ainsi que les données collectées lors de la veille de l'état de l'art. Les moyens utilisés ont impliqué une méthode de veille rigoureuse, l'utilisation du V-Model pour structurer et valider les processus techniques et administratifs, ainsi qu'une analyse critique des données recueillies. Les extrants de cette phase prennent la forme d'un rapport préliminaire destiné au CNRC, qui présente un portrait actuel des cadres réglementaires et technologiques pour les RPAS. Ce rapport identifie également les défis spécifiques et les lacunes technologiques associées à l'opération simulée, établissant ainsi les fondations nécessaires pour élargir l'analyse au secteur de la Mobilité Aérienne Avancée dans les étapes suivantes de la méthodologie.

### **3.2.2 Phase 2 : étude descriptive I**

Dans cette deuxième phase, correspondant à l'étude descriptive I du cadre méthodologique DRM, l'objectif principal est d'élaborer une roadmap technologique pour le secteur des RPAS. Bien que la phase précédente ait permis d'établir un portrait ciblé sur ce sous-secteur, cette étape vise à connecter ces constats à des priorités stratégiques plus larges pour le développement du secteur AAM. L'élaboration de cette roadmap représente une étape essentielle pour transposer les résultats spécifiques au sous-secteur des RPAS dans un contexte élargi et plus globalement pertinent pour la Mobilité Aérienne Avancée.

Les intrants pour cette phase incluent les résultats détaillés du premier rapport soumis au CNRC, qui décrivait les cadres réglementaires actuels, les technologies disponibles et les lacunes

spécifiques au cas d'usage. À cela s'ajoute une veille technologique mise à jour, permettant d'intégrer les avancées les plus récentes dans un domaine caractérisé par une évolution rapide. Cette veille est particulièrement importante pour tenir compte des innovations survenues depuis la phase initiale et pour s'assurer que la roadmap reflète les dernières avancées en matière de technologies de navigation, d'automatisation et de communication dans le secteur AAM.

La création de cette roadmap technologique repose sur une analyse approfondie des interactions entre les besoins technologiques spécifiques identifiés dans le cas d'étude et les exigences réglementaires qui encadrent leur mise en œuvre. Le V-Model, utilisé précédemment, joue également un rôle structurant dans cette étape, permettant de relier les exigences fonctionnelles et opérationnelles à des solutions techniques concrètes. Ce modèle garantit une rigueur analytique en facilitant une validation itérative des technologies proposées dans la roadmap, tout en structurant les recommandations en fonction de leur faisabilité à court, moyen et long terme.

Les moyens mobilisés comprennent une combinaison d'outils analytiques et d'expertise sectorielle. Les consultations informelles avec des experts, bien que non formalisées dans cette phase, enrichissent les hypothèses développées et contribuent à la validation des priorités identifiées. Ces priorités incluent des technologies qui répondent non seulement aux lacunes du cas d'étude, mais qui anticipent également les besoins émergents du secteur AAM, tel qu'il évolue au Canada et à l'international.

Le principal livrable de cette phase est un second rapport remis au CNRC. Ce rapport détaille une roadmap technologique qui met en lumière les lacunes identifiées dans les technologies actuellement disponibles tout en proposant des solutions concrètes pour y remédier. Conçu comme un outil stratégique, ce document offre une perspective structurée sur les technologies clés nécessaires au développement du secteur des RPAS, tout en établissant des connexions claires avec les priorités plus générales du secteur AAM. Ce rapport constitue une base essentielle pour orienter les développements technologiques futurs et préparer les étapes ultérieures de la méthodologie.

En intégrant les résultats du sous-secteur des RPAS dans une vision plus large, cette phase établit les fondations pour une planification stratégique qui inclura, dans les étapes suivantes, des dimensions supplémentaires comme les aspects économiques, sociaux et infrastructurels du secteur AAM.

### 3.2.3 Phase 3 : étude prescriptive

Cette troisième phase du cadre DRM marque un moment clé dans l'évolution méthodologique de cette recherche. L'objectif principal est de structurer une planification stratégique multidimensionnelle en se basant sur les résultats des phases précédentes et en intégrant les contributions d'un panel d'experts. Cette étape s'inscrit dans le prolongement des travaux sur les RPAS pour proposer une vision stratégique plus large et alignée sur les besoins du secteur AAM.

Les intrants pour cette phase incluent la roadmap technologique élaborée lors de la phase précédente, qui met en lumière les lacunes, opportunités et priorités identifiées pour le secteur des RPAS. Ces résultats sont complétés par des veilles sectorielles intégrant des dimensions réglementaires, économiques, sociales et infrastructurelles. L'objectif est de fournir une base solide pour collecter des perspectives expertes via un processus structuré et collaboratif.

Pour atteindre ces objectifs, la méthode Delphi a été utilisée comme outil central. Cette méthode, bien documentée dans des secteurs marqués par l'incertitude et la complexité, permet de recueillir et de consolider les opinions d'experts pour atteindre un consensus éclairé. Déployée en trois phases distinctes – préparation, conduite et analyse – elle structure le processus de collecte de perspectives multidimensionnelles et leur intégration dans la roadmap. Son application à des contextes complexes comme la Mobilité Aérienne Avancée a été démontrée dans la littérature (Jittrapirom, 2020; Melander & al., 2019; Liimatainen & al., 2014; Kluge, Ringbeck, & Spinler, 2020; Leypoldt, 2024) comme étant particulièrement efficace pour anticiper les tendances et aligner les perspectives des parties prenantes.

L'intégration de la méthode Delphi a permis d'exploiter pleinement les perspectives expertes pour générer une proposition de thématiques stratégiques clés. Ces thématiques représentent des recommandations concrètes pour le secteur AAM au Canada, tout en offrant des perspectives pertinentes pour les acteurs globaux. L'extrant principal de cette phase est une proposition consolidée de thématiques stratégiques clés, incluant des recommandations spécifiques pour les décideurs publics et privés.

Ces résultats établissent une base pour la phase suivante, où ces thématiques seront traduites en une planification stratégique structurée. L'impact de cette phase dépasse le cadre canadien en

offrant des éléments directement transférables à d'autres contextes nationaux ou à des secteurs fortement réglementés partageant des dynamiques similaires.

### **3.2.3.1 Méthode Delphi adaptée**

Dans cette recherche, la méthode Delphi a été spécifiquement adaptée pour répondre aux besoins d'un secteur complexe et fortement réglementé, tout en tenant compte des contraintes opérationnelles liées à un cadre accéléré de collecte de données. Ces ajustements, bien que nécessaires, ont conduit à une utilisation partielle de la méthode Delphi classique, sans en compromettre la rigueur. En effet, cette version adaptée conserve l'essence même de la méthode en structurant des cycles itératifs de consultation et d'analyse des retours d'experts.

Des outils spécifiques ont été utilisés pour recueillir et analyser les perspectives des parties prenantes de manière ciblée, comme la conception de scénarios personnalisés selon les profils des participants (industrie, régulateurs, chercheurs). Ces scénarios ont permis d'assurer une collecte d'informations pertinente et contextuelle, en s'appuyant sur des critères explicites pour mesurer le niveau de consensus, notamment la fréquence des thèmes évoqués et leur alignement avec les priorités identifiées.

Bien que la méthode Delphi pure n'ait pas été entièrement appliquée, cette adaptation garantit une intégration efficace des perspectives variées dans la roadmap sectorielle, tout en soulignant la flexibilité de l'approche pour répondre aux réalités d'un secteur en rapide évolution. Ce compromis méthodologique, loin d'affaiblir les résultats, met en évidence la capacité d'ajustement de l'outil pour répondre à des objectifs spécifiques, tout en maintenant une analyse robuste et fiable.

La méthode Delphi adaptée dans cette recherche s'articule autour de trois étapes fondamentales : la préparation, la conduite et l'analyse. Ces étapes, illustrées dans la Figure 3.3, mettent en lumière les principales activités réalisées à chaque phase et les résultats attendus, renforçant ainsi la compréhension du rôle clé de cette méthode dans la structuration et la priorisation des thématiques stratégiques pour le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM).

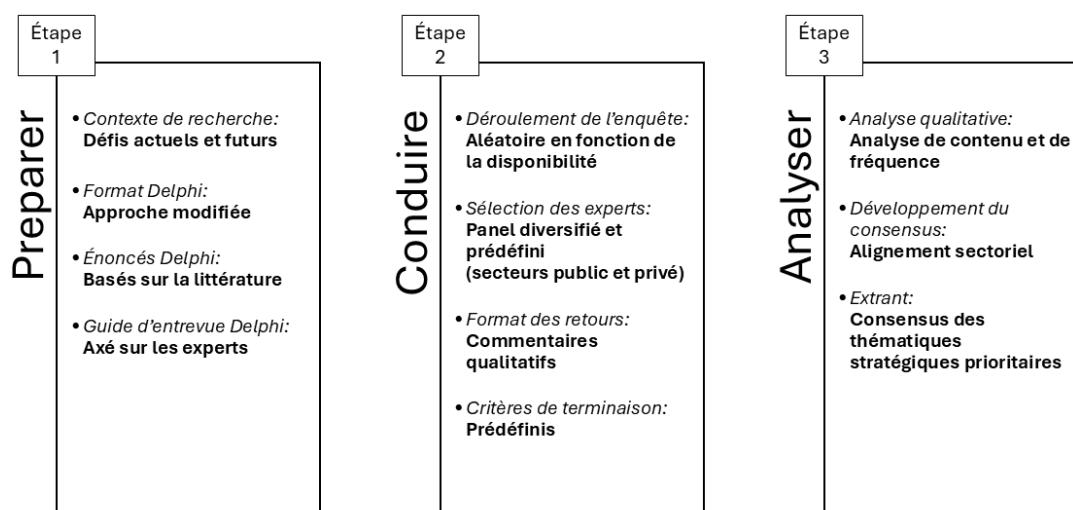


Figure 3.3 : Les étapes de la méthode Delphi – Préparation, conduite et analyse

La première étape, la préparation, a débuté par la conception d'un guide d'entrevue structuré basé sur les résultats des phases précédentes de cette recherche. Ce guide visait à recueillir les perspectives d'un panel diversifié d'experts, comprenant des directeurs stratégiques, des consultants industriels, des experts gouvernementaux, et des législateurs spécialisés dans les RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) et la Mobilité Aérienne Avancée. Les participants ont été sélectionnés pour leur expertise spécifique dans des domaines complémentaires — industrie, régulation, recherche académique et élaboration législative — afin de garantir une pluralité de points de vue sur les enjeux technologiques, réglementaires, et stratégiques du secteur.

Afin de s'adapter aux différents profils d'experts, le guide a été décliné en quatre scénarios spécifiques, chacun conçu pour refléter les responsabilités et les connaissances propres au rôle des participants. Les scénarios abordaient les thématiques suivantes : (1) les étapes nécessaires pour la commercialisation du secteur, (2) les défis technologiques, réglementaires, sociaux et éthiques, (3) les contraintes ou bloquants dans les pratiques actuelles, (4) l'importance de la collaboration intersectorielle, (5) les roadmaps technologiques et commerciales, et (6) des perspectives futures utiles pour élargir l'analyse.

Chaque scénario comportait des questions adaptées aux experts interrogés. Par exemple, les législateurs étaient invités à explorer comment les cadres réglementaires actuels influencent la commercialisation des drones et de la Mobilité Aérienne Avancée, tandis que les consultants industriels partageaient leurs observations sur les tendances des roadmaps technologiques dans ce secteur. Cette adaptation, basée sur des travaux méthodologiques précédents, tels que ceux de Rowe & Wright et von der Gracht (Gene & Wright, 1999; von der Gracht, 2012), assurait une pertinence et une profondeur dans les réponses obtenues.

Les sections de l'entrevue étaient organisées comme suit :

1. *Formalités préliminaires, pour recueillir le consentement des participants.*
2. *Contexte et expérience, afin de mieux comprendre l'expertise des participants dans le secteur.*
3. *Étapes vers la commercialisation, explorant les processus nécessaires pour intégrer le drone cargo et la Mobilité Aérienne Avancée dans le contexte commercial.*
4. *Défis et lacunes, mettant en lumière les enjeux technologiques, réglementaires, sociaux et éthiques spécifiques.*
5. *Blocages et contraintes, pour identifier les obstacles critiques dans les pratiques et réglementations actuelles.*
6. *Défis sous-estimés, pour révéler les aspects souvent négligés par les acteurs du secteur.*
7. *Importance de la collaboration, explorant les besoins et opportunités de partenariats entre l'industrie, le gouvernement et le milieu académique.*
8. *Roadmaps technologiques et commerciaux, abordant les tendances observées dans les processus stratégiques des entreprises.*
9. *Perspectives futures, pour identifier des cas d'étude internationaux pertinents et maintenir un lien avec les experts pour les prochaines étapes de la recherche.*

Le Tableau 3.1, détaille les scénarios et questions spécifiques utilisés dans le guide d'entrevue, mettant en évidence les ajustements réalisés pour chaque groupe d'experts. Cette approche garantissait une transition réfléchie entre les perspectives technologiques et réglementaires explorées dans les phases précédentes et une analyse multidimensionnelle plus large.



Tableau 3.1 : Structure complète du guide d'entrevue utilisé lors de la phase de préparation en anglais

Questions / Scenario	1: Strategy directors	2: Industry consultants	3: Government experts	4: Lawmakers in RPAS/AAM
<b>Preliminary formalities</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Have you signed the information and consent form?</li> <li>- Do you agree that I record this interview (this is purely for transcription purposes)?</li> </ul>	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1
<b>Background and experience</b>	Can you tell us a little bit about your background and experience in strategic planning or directing within companies aiming to participate in the drone delivery industry and AAM?	Can you tell us a little bit about your background and experience as a consultant in the drone delivery and advanced air mobility industry?	Can you tell us a little bit about your experience and background in research administration in aeronautics?	Can you tell us a little bit about your background and experience in the field of lawmaking and regulation for Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) and Advanced Air Mobility (AAM)?
<b>Steps to commercialization</b>	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the drone delivery industry? How does this set the stage for the advent of AAM?	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the advanced air mobility industry? How does the drone delivery industry play a role in this process?	What are the steps needed to commercialize drone delivery and advanced air mobility?	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the drone delivery industry? How does lawmaking fit into this process?
<b>Challenges and gaps</b>	From your perspective, what are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges that need to be overcome for drone delivery and advanced air mobility to become a reality?	What are some of the key technical, regulatory, ethical, and social challenges in the drone delivery and AAM sectors, based on your consulting experience, for it to become a reality?	What are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges to overcome for advanced air mobility and drone delivery to become common options?	From your perspective, what are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges that need to be overcome for drone delivery to become a reality?

Tableau 3.1 : Structure complète du guide d’entrevue utilisé lors de la phase de préparation en anglais (suite)

Questions / Scenario	1: Strategy directors	2: Industry consultants	3: Government experts	4: Lawmakers in RPAS/AAM
<b>Blockers and constraints</b>	Where do you see the most significant blockers or constraints in current drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?	Where do you observe the most significant gaps or shortcomings in the current state of drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?	Where do you see the most significant gaps in the current technologies, regulations, or practices of drone delivery and AAM from a governmental or research perspective?	Where do you see the most significant blockers or constraints in current drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?
<b>Underestimated challenges</b>	In your experience, have there been instances where companies or organizations underestimated or overlooked certain challenges or gaps in drone delivery or AAM? Could you share such experiences without disclosing confidential information?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1
<b>Importance of collaboration</b>	How important is collaboration between industry, government, and academia in addressing the technological, regulatory, ethical, and social challenges in the drone delivery and AAM industry? What resources are available to support this collaboration?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1

Tableau 3.1 : Structure complète du guide d’entrevue utilisé lors de la phase de préparation en anglais (suite et fin)

Questions / Scenario	1: Strategy directors	2: Industry consultants	3: Government experts	4: Lawmakers in RPAS/AAM
<b>Technology and commercial roadmaps</b>	How do companies in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed?	How do companies in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed in advanced air mobility?	How do organizations in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed in research administration in aeronautics?	How have companies in the drone delivery and AAM industry developed their technological and commercial roadmaps? Can you provide an example?
<b>Future insights and contact</b>	Are there any case studies outside of Canada that could be useful for my future analyses? Would you agree to stay in contact with me to complete a short survey summarizing the main points of our meeting and to receive the results of my work?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1

Ce guide méthodologique, structuré pour maximiser la flexibilité et la rigueur, s'appuyait sur des principes établis dans la littérature (Okoli & Pawlowski, 2004). Il reflétait également les meilleures pratiques dans l'élaboration de méthodologies participatives adaptées à des environnements complexes et incertains, tels que la mobilité aérienne avancée.

La deuxième étape, la conduite, a impliqué des cycles successifs d'échanges avec les experts, dans lesquels ils ont été invités à partager leurs points de vue sur des thématiques clés. Ces cycles ont permis d'examiner des défis liés aux cadres réglementaires, aux besoins technologiques, aux considérations économiques et infrastructurelles, ainsi qu'aux dimensions éthiques et sociales du secteur. Certains experts ont eu l'opportunité de réviser leurs positions à la lumière des retours collectifs, facilitant un consensus progressif et rigoureusement structuré (Landeta, 2006; Barrios & al., 2021). Cette phase itérative, caractéristique de la méthode Delphi, a été essentielle pour valider et approfondir les thématiques stratégiques proposées.

La troisième étape, l'analyse, s'est concentrée sur la synthèse des données qualitatives recueillies. Une analyse détaillée a permis d'identifier des consensus émergents sur les thématiques stratégiques prioritaires et de repérer les divergences nécessitant des recherches ou discussions futures. Ces résultats ont été priorisés en fonction de leur impact et de leur pertinence pour le développement du secteur AAM, selon les recommandations méthodologiques de Beiderbeck et al. (Beiderbeck & al., 2021). Cette étape a également intégré des approches de mesure du consensus, telles que décrites par Barrios et al. (Barrios & al., 2021) et von der Gracht (von der Gracht, 2012), pour garantir une analyse robuste et fiable.

La méthode Delphi a démontré son adaptabilité et son efficacité pour structurer une planification stratégique multidimensionnelle, alignant les perspectives des parties prenantes publiques et privées. Elle a permis de générer une proposition consolidée de thématiques stratégiques clés, directement applicables au secteur AAM au Canada, tout en offrant des perspectives transférables à d'autres contextes nationaux ou secteurs fortement réglementés.

### **3.2.4 Phase 4 : étude descriptive II**

Cette dernière phase du cadre DRM vise à poser les bases d'une roadmap sectorielle pour le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée. En s'appuyant sur les thématiques stratégiques consolidées lors des phases précédentes, cette étape intègre et structure les résultats en vue d'une planification

stratégique cohérente et adaptable. L'objectif principal est d'établir une méthodologie robuste et transférable de planification stratégique sectorielle, adaptée aux environnements fortement réglementés tels que la Mobilité Aérienne Avancée au Canada. Cependant, il est essentiel de préciser que, dans le cadre de ce travail de recherche, seules les deux premières étapes du cadre S-PLAN seront explorées et appliquées. Ces étapes permettent de poser des fondations solides pour une planification stratégique sectorielle approfondie, tandis que les étapes ultérieures sont proposées comme des prolongements possibles pour des recherches futures.

Les intrants de cette phase incluent les perspectives des experts, tirées des phases antérieures : le portrait réglementaire, la roadmap technologique et les thématiques stratégiques identifiées à l'aide de la méthode Delphi. Ces intrants sont organisés et analysés à travers le cadre méthodologique S-PLAN, une approche de planification stratégique développée pour aligner les perspectives technologiques, réglementaires et socio-économiques sur les objectifs à long terme du secteur AAM au Canada.

### **3.2.4.1 Application du cadre S-PLAN**

Le cadre S-PLAN, conçu pour structurer les processus de planification stratégique dans des environnements complexes, repose sur quatre étapes principales. Toutefois, ce travail se limite volontairement à la réalisation des deux premières étapes, qui sont critiques pour établir un cadre initial de planification stratégique sectorielle.

Cette première étape initiale établit une compréhension approfondie de l'état actuel des secteurs AAM et RPAS au Canada. En examinant les cadres réglementaires, les capacités technologiques et les exigences opérationnelles de base, cette phase crée une base solide pour le reste de la méthodologie. Les résultats des phases précédentes, notamment les lacunes technologiques et les opportunités stratégiques identifiées, sont intégrés pour dresser un portrait clair du contexte actuel (Phaal, Farrukh, & Probert, 2010; Phaal, Farrukh, & Probert, 2007).

Cette deuxième étape identifie les principaux défis sectoriels, notamment les barrières réglementaires, les lacunes technologiques et les considérations socio-économiques. Ces éléments sont essentiels pour définir une roadmap axée sur la valeur, priorisant les enjeux critiques pour le secteur de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada. Cette analyse s'appuie sur les thématiques

stratégiques définies lors de la méthode Delphi et les résultats des analyses réglementaires et technologiques (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007).

Les étapes 3 et 4 du cadre S-PLAN, respectivement intitulées Explorer les thématiques et Convenir d'un chemin stratégique, dépassent le périmètre immédiat de ce travail de recherche. Elles sont néanmoins proposées comme des prolongements futurs pour les parties prenantes du secteur, permettant de compléter et d'affiner la roadmap sectorielle au fur et à mesure de l'évolution des conditions réglementaires, technologiques et économiques. Cette approche suit les principes des roadmaps stratégiques qui alignent les priorités technologiques et commerciales (Phaal, Farrukh, & Probert, 2010). La Figure 3.4 illustre le cadre théorique complet du S-PLAN, conçu pour structurer la construction collaborative de roadmaps sectorielles. Dans cette recherche, ce cadre n'a pas été utilisé directement pour comptabiliser les résultats, mais les données générées dans les deux premières étapes pourront servir de base pour réaliser cette activité dans des travaux futurs.

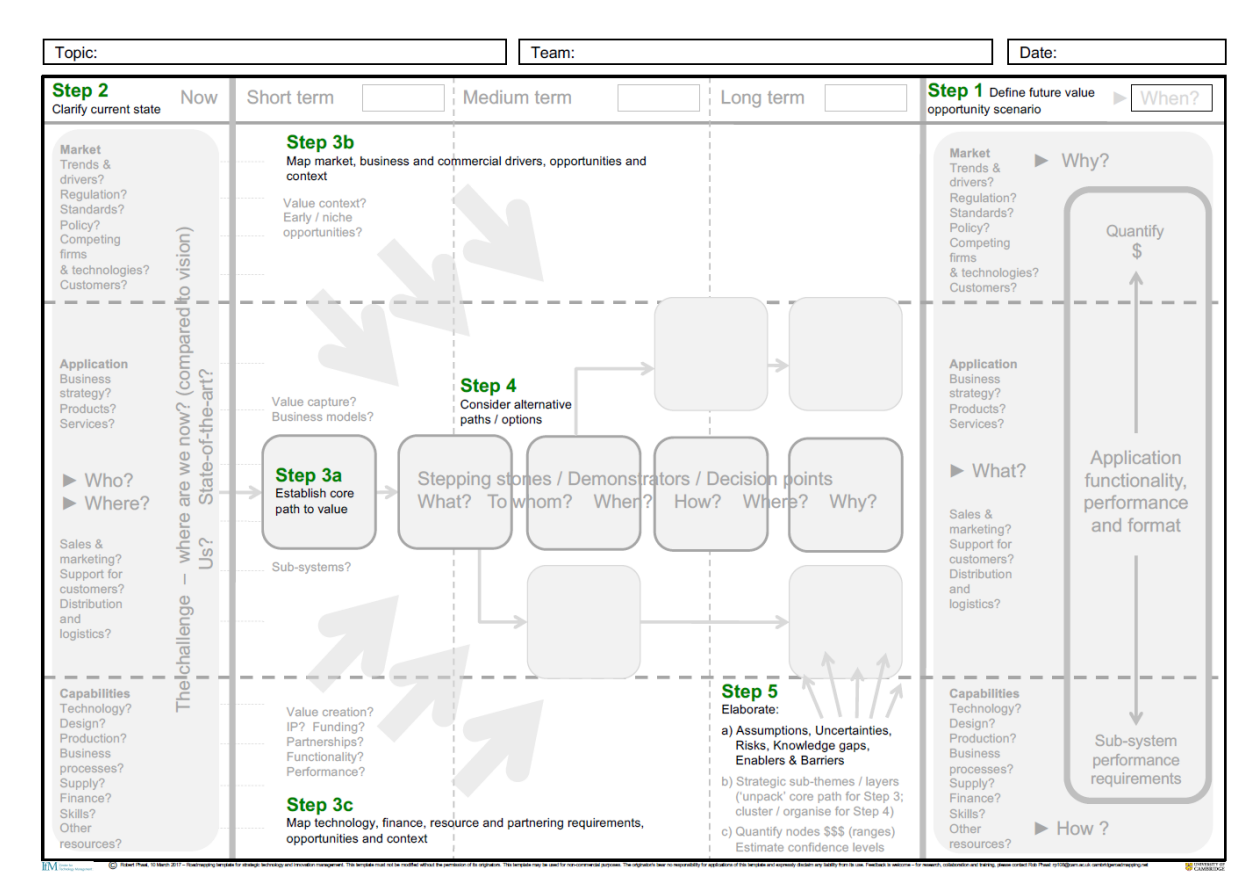


Figure 3.4 : Cadre S-PLAN avec le modèle de roadmap stratégique de l'Université de Cambridge (IfM Engage - University of Cambridge, 2021)

Les extraits de cette phase comprennent une structuration préliminaire des thématiques stratégiques clés identifiées comme prioritaires pour le secteur AAM au Canada. Ces thématiques sont présentées sous forme de recommandations pratiques pour les décideurs publics et privés, visant à guider le développement technologique, réglementaire et stratégique à court, moyen et long terme. De plus, cette phase aboutit à une consolidation méthodologique, où les données issues de la méthode Delphi sont intégrées dans le cadre S-PLAN, établissant ainsi une base robuste pour développer une roadmap sectorielle cohérente. Ces extraits, bien qu'alignés sur le contexte canadien, offrent également une perspective transférable à d'autres secteurs fortement réglementés ou à des contextes internationaux similaires, renforçant ainsi leur pertinence et leur applicabilité.

### **3.2.5 Intégration des méthodes Delphi et S-PLAN**

L'intégration des méthodologies Delphi et S-PLAN représente une étape essentielle pour structurer et consolider les résultats obtenus dans cette recherche. Ce processus combine les perspectives issues du consensus des experts avec un cadre stratégique sectoriel, permettant de définir des priorités thématiques en vue d'une planification stratégique cohérente. Cette démarche reflète une approche novatrice en matière de planification stratégique sectorielle, adaptée aux besoins des secteurs fortement réglementés tels que les RPAS et la Mobilité Aérienne Avancée.

L'extrait principal de cette phase ultime est contenu dans l'article soumis, inclus dans le chapitre 5 ci-dessous. Il présente une méthodologie innovante, intégrée, de planification stratégique sectorielle, qui se veut applicable dans divers secteurs caractérisés par des réglementations strictes et une effervescence technologique.

La Figure 3.5 illustre cette intégration méthodologique au sein des cinq étapes de recherche, dont les deux derniers objectifs font l'objet de l'article. Elle met en évidence les interactions entre les résultats des phases successives et leur rôle dans l'élaboration d'une planification sectorielle structurée. Cette représentation visuelle permet de comprendre comment les données qualitatives issues de la méthode Delphi alimentent les étapes initiales du cadre S-PLAN, en particulier dans l'identification des thématiques stratégiques et des opportunités clés.

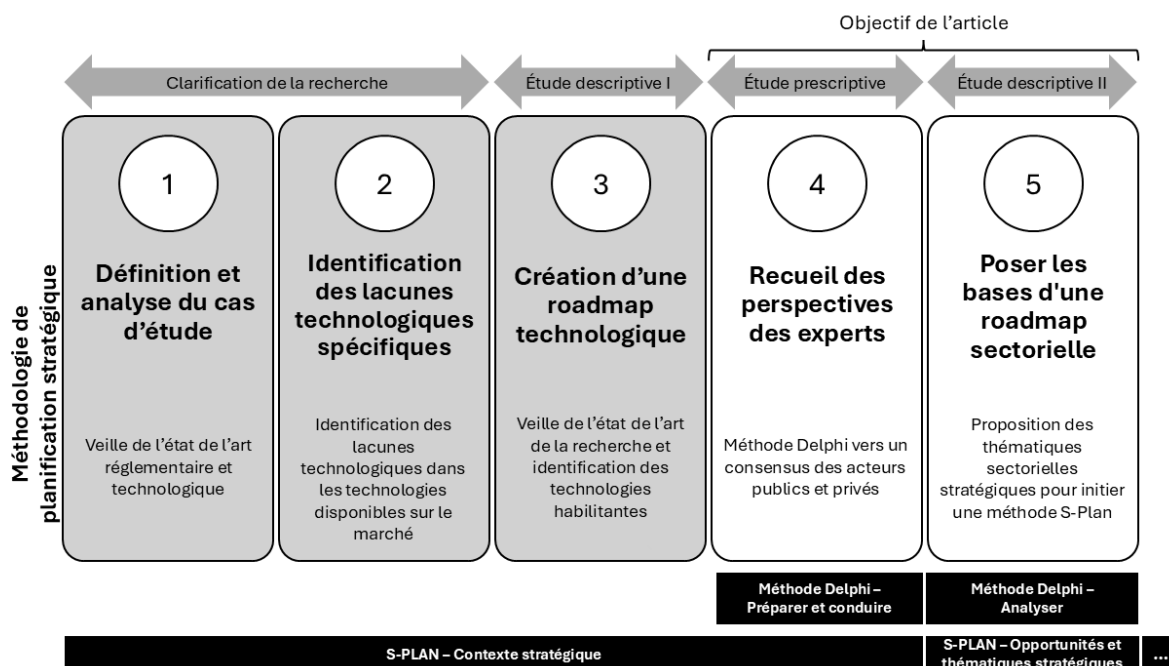


Figure 3.5 : Intégration de la méthode Delphi adaptée et du cadre S-PLAN dans le cadre de recherche en cinq étapes

Cette figure illustre également la manière dont les étapes analytiques de la méthode Delphi (préparation, conduite et analyse) se connectent directement avec les deux premières étapes du S-PLAN : définir le contexte stratégique et sélectionner les éléments de valeur. Ces interactions renforcent la cohérence et la pertinence des thématiques stratégiques définies, tout en structurant une base solide pour le développement futur d'une roadmap sectorielle.

Ce processus intégré est fondé sur les travaux de Phaal et al. (Phaal, Farrukh, & Probert, 2010), qui soulignent l'importance d'un cadre collaboratif pour aligner les priorités stratégiques avec les dynamiques d'innovation sectorielles. En appliquant ces principes, cette recherche propose une méthodologie non seulement applicable aux RPAS et à la Mobilité Aérienne Avancée, mais aussi transférable à d'autres environnements similaires.

Le succès de cette approche repose sur une synergie méthodologique où les résultats qualitatifs de Delphi complètent les cadres analytiques de S-PLAN. Cette combinaison méthodologique offre une rigueur nécessaire pour naviguer dans des environnements incertains et fortement réglementés, tout en restant suffisamment flexible pour s'adapter aux évolutions futures du secteur. Ainsi, cette intégration constitue une avancée significative dans le développement d'une planification



stratégique sectorielle appliquée à la Mobilité Aérienne Avancée, avec des implications potentielles pour d'autres industries confrontées à des défis similaires.

### **3.3 Collecte de données**

La collecte de données dans cette recherche repose sur un cadre méthodologique rigoureux, mobilisant à la fois des sources secondaires et primaires. Les données secondaires ont constitué un socle fondamental pour les premières phases de la recherche. Ces sources incluent des rapports réglementaires, des études de marché sur le secteur des RPAS et de la Mobilité Aérienne Avancée, ainsi que des études de cas comparatives tirées de contextes internationaux. Ces données, combinées aux résultats des veilles technologiques et réglementaires, ont permis d'établir une compréhension approfondie du contexte actuel, tout en identifiant les lacunes et opportunités pertinentes pour le secteur canadien.

La méthode Delphi, utilisée dans les phases ultérieures, s'est appuyée sur des données qualitatives collectées auprès d'un panel diversifié d'experts. Les entretiens structurés, conçus pour répondre aux objectifs spécifiques de la recherche, ont permis d'obtenir des perspectives multidimensionnelles sur les enjeux technologiques, réglementaires et stratégiques. La conception des guides d'entrevue a été rigoureusement élaborée pour garantir une cohérence entre les réponses obtenues et les thématiques stratégiques identifiées dans les phases initiales.

Pour assurer la robustesse des conclusions, une méthodologie de triangulation a été employée. Les données secondaires ont été confrontées aux retours des experts Delphi, permettant une validation croisée des résultats. Cette approche a permis de limiter les biais potentiels liés à des perspectives unilatérales, tout en assurant que les résultats reflètent fidèlement la réalité du secteur. La validation des données a également impliqué une analyse itérative des réponses Delphi, garantissant leur cohérence avec les objectifs globaux de la recherche.

### **3.4 Considérations éthiques et limites méthodologiques**

La dimension éthique a été un élément central de cette recherche, notamment dans l'utilisation de la méthode Delphi, qui implique la participation active d'experts du secteur. Des protocoles

éthiques stricts ont été mis en place pour garantir la confidentialité des participants. Chaque expert a reçu une information claire sur les objectifs et le cadre de la recherche, accompagnée d'un formulaire de consentement éclairé. Les réponses recueillies ont été anonymisées afin de protéger l'identité des participants et de favoriser une expression libre et non biaisée de leurs opinions.

Malgré les précautions prises, cette recherche présente certaines limites méthodologiques. Tout d'abord, la méthode Delphi, bien qu'efficace pour construire un consensus éclairé, peut introduire un biais inhérent au processus lui-même. Les participants, en ajustant leurs réponses au fil des itérations, peuvent être influencés par les réponses collectives, ce qui pourrait limiter l'expression de perspectives divergentes. Pour atténuer ce risque, une analyse qualitative approfondie a été réalisée pour identifier les consensus mais également pour mettre en lumière les divergences significatives (von der Gracht, 2012).

Une autre limite potentielle est le biais du chercheur. Lors des entrevues, il est possible que certaines perspectives des experts soient mal interprétées, ce qui pourrait entraîner des erreurs de prise de notes ou d'analyse. Cependant, pour minimiser cet impact, des critères objectifs ont été rigoureusement établis dans cette recherche, assurant ainsi une interprétation cohérente et fiable des données collectées (von der Gracht, 2012).

Enfin, cette recherche est limitée par le caractère évolutif du secteur AAM, caractérisé par des avancées technologiques et réglementaires rapides. Les résultats obtenus, bien qu'ancrés dans un cadre méthodologique robuste, nécessiteront des mises à jour périodiques pour rester pertinents. Cette limite souligne l'importance d'une itération continue de la méthodologie, notamment pour ajuster les thématiques stratégiques en fonction des changements dans l'écosystème.

## **CHAPITRE 4 DÉMARCHES DE RECHERCHE PRATIQUE**

### **4.1 Sommaire Rapport 1 du CNRC: Drone Cargo Delivery Study (1/2) – Canadian Regulatory Framework and Requirements Assessment (National Research Council Canada, Forth.)**

Le premier rapport, élaboré en collaboration avec le CNRC dans le cadre du programme de Mobilité Aérienne Intégrée (IAM), s’est concentré sur l’évaluation des cadres réglementaires et des exigences techniques pour les systèmes d’aéronefs télépilotes (RPAS) dans un scénario complexe de livraison de fret par drone. Ce rapport vise à offrir une analyse détaillée du cadre réglementaire canadien, à identifier les lacunes technologiques, et à proposer un cadre conceptuel pour guider le développement des opérations BVLOS (au-delà de la portée visuelle). L’ensemble du travail se positionne comme une étape fondamentale dans l’évolution vers une mobilité aérienne avancée (AAM), contribuant à préparer les bases d’une intégration durable et compétitive des RPAS dans l’écosystème canadien.

Les résultats obtenus dans le cadre du premier rapport ont permis de poser les bases pour identifier les lacunes technologiques critiques et les défis réglementaires spécifiques au scénario choisi. Ces données ont été intégrées dans le processus méthodologique via la méthode Delphi, servant de point de départ pour valider les priorités stratégiques et aligner les thématiques identifiées avec les besoins réglementaires et technologiques émergents.

Une première partie essentielle de ce travail a consisté à mener une veille approfondie sur l’évolution des réglementations canadiennes et leur applicabilité aux opérations BVLOS. Le Canada, pionnier en matière de régulation des RPAS, a intégré des cadres normatifs progressifs, tels que le Règlement de l’aviation canadien (CARs) et les circulaires consultatives associées, notamment les documents AC 903-001 et AC 922-001 (Government of Canada, 2022; Transport Canada, 2021; Transport Canada, 2019). Ces cadres offrent une méthodologie structurée pour évaluer les risques opérationnels à travers des approches telles que le modèle Specific Operations Risk Assessment (SORA), développé par la Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS) et actuellement appliqué par l’Agence de l’Union européenne pour la sécurité aérienne (EASA) (JARUS, 2019). Cette analyse a permis de dresser un portrait clair des outils réglementaires actuels et de leurs limites, notamment en ce qui concerne les vols BVLOS, qui

nécessitent des niveaux de conformité plus élevés pour garantir la sécurité opérationnelle. Le scénario opérationnel choisi, impliquant la livraison d'un colis de 5 kg entre l'aéroport international de Vancouver (YVR) et l'Université de Colombie-Britannique (UBC), a servi de base pour analyser les étapes pratiques et administratives nécessaires à l'obtention d'une autorisation de vol.

Un modèle itératif basé sur le concept du modèle en V est une contribution du mémoire. Il a été proposé pour structurer le processus de développement des opérations BVLOS en visualisant les rôles des acteurs privés et publics. Ce modèle, intitulé Modèle de développement des opérations BVLOS pour la livraison de fret par RPAS au Canada, illustre les étapes critiques nécessaires pour aligner les exigences techniques, réglementaires et opérationnelles. La Figure 4.1 détaille ce cadre, mettant en évidence les interactions dynamiques entre les opérateurs RPAS et les autorités réglementaires.

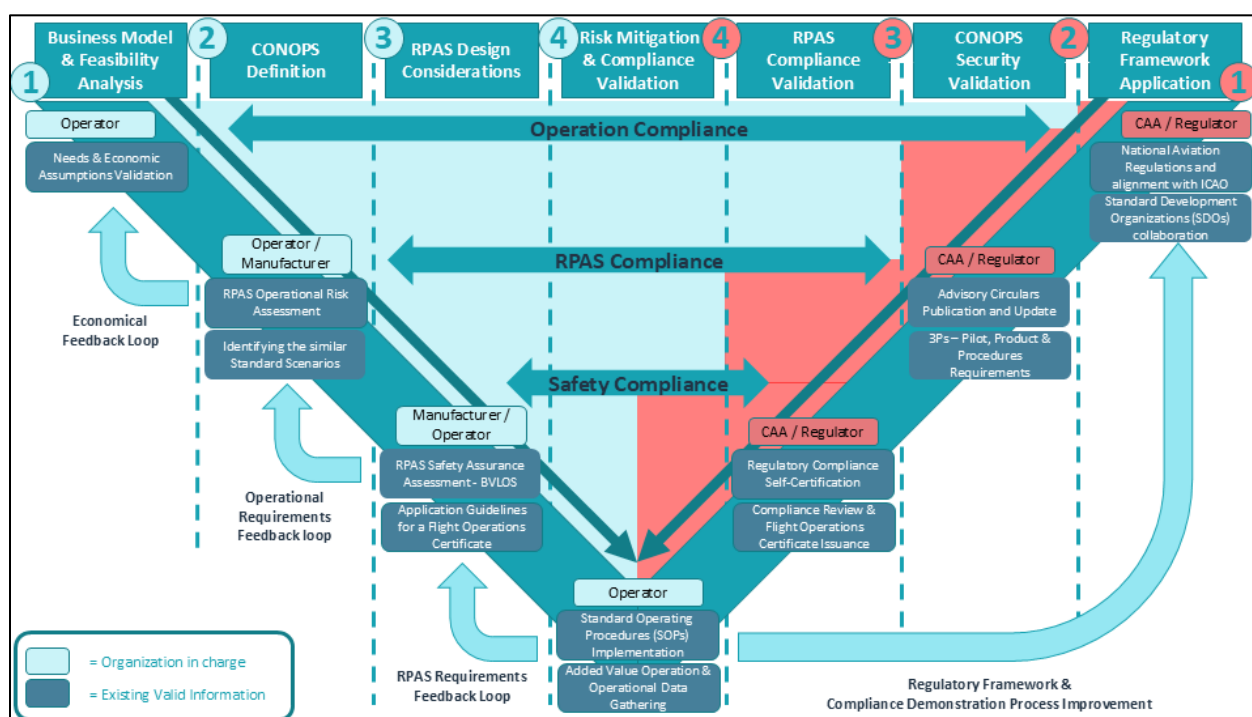


Figure 4.1 : Modèle canadien des opérations BVLOS pour la livraison de fret par RPAS

Ce cadre se compose de quatre étapes fondamentales qui impliquent une collaboration étroite entre les opérateurs et le régulateur, chacune jouant un rôle crucial pour garantir la faisabilité technique et réglementaire des opérations BVLOS. La première étape, l'identification du modèle d'affaires pour l'opérateur, est parallèle au processus d'amendement du cadre réglementaire pour le

régulateur. Du côté de l'opérateur, cette étape consiste à valider les besoins économiques et la faisabilité technique de l'opération, en utilisant des approches itératives et des expérimentations agiles pour garantir une proposition de valeur alignée sur les besoins des clients. Du côté du régulateur, cette phase implique de travailler à l'adaptation et à l'amélioration continue du cadre réglementaire en réponse aux retours de l'industrie, tout en gardant la sécurité publique au cœur des préoccupations.

La deuxième étape, l'identification et la définition des CONOPS (concepts d'opérations) par l'opérateur, est alignée avec la vérification de la faisabilité des CONOPS par le régulateur. À cette étape, l'opérateur, souvent en collaboration avec le fabricant, définit les objectifs et les limites de l'opération. Les documents comme la circulaire consultative AC 903-001 fournissent des lignes directrices essentielles pour guider ce processus, notamment via les scénarios standards proposés en annexe D (Transport Canada, 2021). Du côté de Transports Canada, l'effort est concentré sur la mise à jour et l'élaboration de documents de soutien tels que les Circulaires d'Information, destinés à faciliter le choix des opérateurs dans la définition de leurs CONOPS, tout en simplifiant, lorsque possible, le processus de développement.

La troisième étape, l'identification des considérations de conception pour l'opérateur et le fabricant, est couplée à la vérification de la conformité des systèmes RPAS par le régulateur. Dans cette phase, l'opérateur et le fabricant s'accordent sur les systèmes à implémenter et les limites de l'opération, permettant ainsi au fabricant de procéder à une auto-déclaration des performances des systèmes. Cette étape est complexe en raison de l'absence de spécifications de performance pour les opérations BVLOS dans le document AC 922-001. En parallèle, Transports Canada examine les matrices de conformité fournies avec les demandes de certificat d'opérations spécialisées (SFOC) pour valider que tous les systèmes et processus répondent aux normes de sécurité en vigueur. Ce processus est essentiel pour garantir que les exigences réglementaires et de performance sont correctement traduites en solutions opérationnelles concrètes.

Enfin, la dernière étape, la mise en œuvre de la gestion des risques et de la conformité par l'opérateur, repose sur un déploiement rigoureux de l'opération tout en assurant une documentation précise des écarts et anomalies qui pourraient survenir. Ces retours permettent d'alimenter un processus d'apprentissage continu entre les opérateurs, les fabricants et les régulateurs. Du côté du régulateur, cette étape inclut la validation finale des données soumises et

la supervision des tests opérationnels pour s'assurer que les standards établis sont respectés tout au long du cycle de vie de l'opération.

En parallèle, une évaluation approfondie des technologies disponibles a été effectuée pour examiner leur capacité à répondre aux exigences opérationnelles spécifiques de ce scénario. Des lacunes critiques ont été identifiées, telles que l'absence de systèmes fiables de détection et d'évitement (DAA) répondant aux normes BVLOS, ainsi que des défis liés à la cybersécurité, aux performances des drones dans des conditions climatiques extrêmes, et à la standardisation des architectures pour les liaisons de données. Ces lacunes présentées dans le Tableau 4.1, regroupées selon les catégories des "3P" (pilote, produit, procédures), mettent en évidence des besoins technologiques urgents qui nécessitent des solutions innovantes pour permettre l'avancement des opérations RPAS au Canada.

Le lien avec la Figure 4.1 est particulièrement important : tandis que le Tableau 4.1 détaille les lacunes technologiques, la Figure 4.1 illustre un modèle de développement opérationnel intégrant ces enjeux dans une approche structurée. Ensemble, ces deux éléments offrent une vision cohérente des défis actuels et des solutions potentielles, facilitant ainsi l'établissement de priorités stratégiques. Cette complémentarité entre l'analyse des lacunes et la structuration des étapes critiques permet de traduire les défis en actions concrètes, alignées sur les objectifs technologiques et réglementaires du secteur.

Tableau 4.1 : Cas d'utilisation spécifique au Canada : Comblent les lacunes technologiques (Source : Drone Cargo Delivery Study (1/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC<sup>1</sup>)

3P	LACUNES TECHNOLOGIQUES IDENTIFIÉS	SOLUTIONS PROPOSÉES
<b>Pilote</b>	Avertissements dans les stations de contrôle (CS) pour les opérateurs.	Développer des systèmes avancés pour alerter les opérateurs en temps réel sur les risques potentiels.
	Outils de formation simulée pour les opérateurs.	Créer des simulateurs basés sur des scénarios pour préparer les pilotes à diverses missions BVLOS.
	Environnements simulés (« <i>digital twin</i> »)	Développement d'environnements virtuels (« <i>digital twins</i> ») pour des formations réalistes et une planification des missions, permettant aux opérateurs de simuler et de pratiquer la prise de décision pour des scénarios opérationnels spécifiques.
<b>Produit</b>	Impact des dispositifs de sécurité sur la performance des RPAS	Trouver un équilibre entre l'ajout de dispositifs de sécurité et les exigences de performance des RPAS, tout en considérant l'impact des redondances et des améliorations de sécurité sur l'efficacité opérationnelle.
	Architecture de lien de données numériques pour la commande et le contrôle (C2 Link)	Standardisation de l'architecture numérique des liens de commande et de contrôle (C2) pour garantir des communications BVLOS stables, sécurisées et fiables.
	Atténuation des risques liés à la cybersécurité	Mise en œuvre de protocoles de cybersécurité avancés pour empêcher tout accès non autorisé aux systèmes RPAS, garantissant des opérations sûres et sécurisées dans les espaces aériens publics et restreints.
	Systèmes fiables de détection et évitement (DAA) de bout en bout	Développement de systèmes robustes de détection et d'évitement (DAA) répondant à toutes les exigences de performance, essentiels pour éviter les collisions dans des espaces aériens complexes.
	Multirotor vs RPAS à voilure fixe pour le transport de marchandises	Analyse des configurations multirotor et à voilure fixe des RPAS pour optimiser les performances sur des missions de livraison de fret à courte et moyenne distance.
	Opérations par temps froid	Solutions aux défis liés aux températures froides, comme les systèmes de dégivrage à faible consommation, les revêtements anti-adhérents pour la glace et une gestion thermique efficace des batteries.
	Modélisation des flux de vent en milieu urbain	Modélisation des vents urbains pour mieux comprendre et réduire leur impact sur la stabilité et la sécurité opérationnelle des RPAS dans les zones peuplées.
	Gestion du bruit près des zones habitées	Développement de stratégies de réduction du bruit pour minimiser l'impact sonore des RPAS, favorisant l'acceptation publique et la conformité réglementaire.

<sup>1</sup> Disponible : <https://nrc-publications.canada.ca/fra/accueil/> (consulté le 15 novembre 2024)

Tableau 4.1 : Cas d'utilisation spécifique au Canada : Comblent les lacunes technologiques (Source : Drone Cargo Delivery Study (1/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC) (suite et fin)

3P	LACUNES TECHNOLOGIQUES IDENTIFIÉS	SOLUTIONS PROPOSÉES
<b>Procédures</b>	Identification à distance (Remote ID)	Mise en œuvre de protocoles standardisés pour l'identification à distance (Remote ID) afin de permettre le suivi en temps réel des RPAS, favorisant la responsabilité et la sécurité dans les opérations BVLOS.
	Surveillance en temps réel (RTM)	Développement de capacités de surveillance en temps réel pour superviser dynamiquement les activités des RPAS et permettre des ajustements opportuns selon les besoins opérationnels.
	Méthodes de livraison de marchandises à distance	Développement de méthodes efficaces de livraison à distance pour assurer un transfert sécurisé et fiable des marchandises, améliorant la fiabilité des services de livraison par drone.
	Gestion proactive de la sécurité aérienne en temps réel	Création d'un système adaptable de gestion de la sécurité aérienne en temps réel (SMS) pour la gestion proactive des risques dans des conditions dynamiques de BVLOS.
	Localisation et suivi d'identité	Développement de systèmes avancés pour la localisation précise et le suivi d'identité des RPAS dans l'espace aérien, facilitant leur intégration avec le trafic aérien traditionnel.
	Fiabilité dans l'identification des dangers	Amélioration de la fiabilité dans l'identification des dangers grâce à des analyses prédictives, soutenant la réduction proactive des risques et la résilience opérationnelle dans les missions BVLOS.

Le rapport conclut ensuite en soulignant que ces lacunes technologiques et réglementaires représentent des obstacles majeurs à surmonter pour permettre une intégration réussie des RPAS dans l'espace aérien canadien. Les résultats fournissent une base essentielle pour le second rapport, qui approfondit ces conclusions en évaluant les solutions disponibles et en élaborant une roadmap stratégique pour le développement du secteur AAM au Canada.



## **4.2 Sommaire exécutif du Rapport 2 du CNRC: Drone Cargo Delivery Study (2/2) –Technical Gaps Assessment and Roadmapping (National Research Council Canada, Forth.)**

Le second rapport du CNRC approfondit les résultats du premier en mettant l'accent sur l'analyse des défis technologiques et opérationnels liés à l'industrie des RPAS dans le cadre des opérations BVLOS au Canada. En identifiant des lacunes spécifiques et en proposant des solutions concrètes, ce rapport vise à élaborer une roadmap technologique stratégique alignée avec la réglementation existante pour soutenir le développement durable de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) et des RPAS dans le contexte canadien.

Pour débiter, pour élargir la portée de la roadmap, de nouvelles perspectives issues du Forum international de recherche aéronautique (IFAR) ont été synthétisées. Cet organisme, reconnu mondialement pour favoriser la collaboration entre les principales institutions de recherche en aviation, a récemment publié un document évaluant les écarts technologiques et opérationnels dans divers secteurs de l'aviation, notamment la Mobilité Aérienne Avancée (IFAR, 2023).

En intégrant cette analyse récente de l'IFAR, nous avons cherché à aligner notre cadre d'analyse sur les dernières recherches internationales, en particulier concernant les écarts technologiques et les domaines de développement futurs dans le contexte canadien.

Le Tableau 4.2 synthétise l'évaluation de l'IFAR des principaux domaines d'intérêt technologique et opérationnel pour la Mobilité Aérienne Avancée, regroupés en deux grandes catégories techniques : Technologie et Opérationnel. Ces domaines d'intérêt nous permettent de croiser nos conclusions du premier rapport avec les perspectives globales de l'IFAR, établissant ainsi une vision complète des défis technologiques auxquels le secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée doit répondre.

Tableau 4.2 : Principaux domaines technologiques et opérationnels à prioriser pour le développement du AAM au Canada (source : Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC<sup>1</sup>)

CATÉGORIE	ÉCARTS TECHNOLOGIQUES IDENTIFIÉS	RÉSUMÉ DES POINTS CLÉS	LIEN AVEC LES 3P (THE PILOT, THE PRODUCT, THE PROCEDURES)
Technologie	1. Vue d'ensemble des véhicules	La variété des configurations de véhicules pose des défis technologiques. Les principaux facteurs incluent la sécurité des vols et le bruit.	Produit : Développement de configurations adaptées et équilibrées pour les environnements spécifiques.
	2. Propulsion et énergie	Les aéronefs VTOL (décollage et atterrissage verticaux) nécessitent une énergie élevée pour le vol stationnaire. Les systèmes hybrides-électriques ou à hydrogène présentent un potentiel futur mais sont limités par la densité énergétique.	Produit : Gestion thermique, systèmes hybrides et intégration des carburants alternatifs (hydrogène, électrique).
	3. Autonomie	Les systèmes autonomes (SA) sont essentiels pour l'extension des opérations AAM mais nécessitent une maturité technologique et réglementaire, notamment pour les rôles et responsabilités des pilotes.	Pilote : Simulateurs et outils d'entraînement pour les opérateurs. Procédures : Standards pour l'autonomie et l'intégration des RPAS dans l'espace aérien.
	4. Intégration de l'espace aérien	L'intégration efficace avec l'espace aérien existant nécessite des protocoles standardisés de partage d'intention et une adaptation régionale.	Procédures : Identification à distance (Remote ID), intégration des systèmes U-Space.
	5. Gestion de la sécurité	Une analyse prédictive de la sécurité et un reporting des incidents sont nécessaires pour l'extension des opérations UAM et la sécurité des systèmes autonomes.	Procédures : Systèmes de gestion de la sécurité en temps réel (SMS).
	6. Infrastructure	Le développement d'infrastructures, telles que les vertiports et les stations de recharge, est crucial pour l'intégration dans les environnements urbains et les réseaux électriques.	Produit : Conception de vertiports multifonctionnels et robustes.
	7. Sécurité	Les normes de cybersécurité doivent être adaptées à la Mobilité Aérienne Avancée, en intégrant l'IA et l'apprentissage automatique pour améliorer la sécurité opérationnelle.	Produit : Sécurisation des systèmes C2 et protection contre les cybermenaces.

Tableau 4.2 : Principaux domaines technologiques et opérationnels à prioriser pour le développement du AAM au Canada (source : Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), Bibliothèque scientifique nationale - Archives des publications du CNRC<sup>1</sup>) (suite et fin)

CATÉGORIE	ÉCARTS TECHNOLOGIQUES IDENTIFIÉS	RÉSUMÉ DES POINTS CLÉS	LIEN AVEC LES 3P (THE PILOT, THE PRODUCT, THE PROCEDURES)
	8. Communication, navigation, surveillance (CNS)	Les exigences CNS sont sous-développées ; des solutions uniques sont nécessaires pour l'espace aérien urbain sujet aux interférences.	Produit : Architectures de communication normalisées pour le lien C2.
	9. Tolérance aux conditions météorologiques	Les microclimats urbains impactent la stabilité des AAM ; des outils de prévision météorologique haute résolution sont nécessaires.	Produit : Intégration d'outils pour la gestion des risques climatiques et thermiques.
<b>Opérations</b>	10a. Environnement : Émissions	Bien que certains véhicules AAM soient zéro émission, les émissions sur l'ensemble de leur cycle de vie doivent être évaluées, en particulier pour les options électriques et les carburants durables.	Produit : Transition vers des technologies à faibles émissions (hydrogène, batteries).
	10b. Environnement : Bruit	La réduction du bruit est essentielle ; des normes spécifiques aux environnements urbains et ruraux sont nécessaires, ainsi que des méthodes de mesure adaptées.	Produit : Solutions techniques pour réduire les nuisances sonores des RPAS.
	11. Maintenance	Des protocoles de maintenance standardisés sont nécessaires pour les systèmes innovants comme les véhicules à hydrogène ou électriques afin de garantir la sécurité.	Produit : Développement de protocoles pour l'entretien des nouvelles technologies.
	12. Sécurité et sûreté	Les normes de sécurité UAM doivent être harmonisées internationalement, avec des procédures d'intervention d'urgence et des standards opérationnels.	Procédures : Procédures standardisées pour les interventions d'urgence.
	13. Interconnexion avec les infrastructures	De nouvelles infrastructures sont nécessaires pour soutenir la Mobilité Aérienne Avancée, en prenant en compte les impacts sociétaux et environnementaux.	Produit : Conception d'infrastructures interconnectées (vertiports, stations de recharge).
	14. Protection et sécurité des données	Des mesures de sécurité renforcées sont nécessaires pour protéger les données sensibles dans les environnements urbains.	Produit : Mise en place de protocoles de sécurité des données.

Le Tableau 4.2 révèle des défis stratégiques critiques, comme l'intégration des RPAS dans l'espace aérien existant, le développement de systèmes autonomes robustes, ou encore la gestion des infrastructures nécessaires à l'émergence d'un écosystème viable pour l'AAM. Par exemple, la complexité liée aux configurations variées des véhicules, combinée aux exigences accrues en matière de sécurité et de réduction du bruit, démontre l'importance d'aligner l'innovation technologique avec les standards opérationnels et sociétaux. De même, l'optimisation de la propulsion et des énergies alternatives, comme l'hydrogène, reflète les ambitions du secteur de minimiser son empreinte environnementale tout en augmentant ses performances.

Ces thématiques ont permis de structurer les priorités de la roadmap technologique et réglementaire présentée dans le Tableau 4.3, où les défis identifiés dans le Tableau 4.2 sont traduits en actions concrètes et jalons progressifs. Par exemple, les lacunes en matière de gestion des flux de trafic aérien et de cybersécurité sont directement abordées dans les priorités à court terme (2025) via le développement de systèmes DAA (Detect and Avoid) et la mise en œuvre de tests dans des corridors temporaires. À moyen terme (2030), l'intégration de systèmes semi-autonomes dans des environnements suburbains répond aux besoins d'expansion des opérations, tandis que le long terme (2035) projette une automatisation complète et des services commerciaux à grande échelle. Cette progression, détaillée dans le Tableau 4.3, met en lumière un cadre d'actions équilibrant innovation technologique, exigences réglementaires et besoins sociétaux. En articulant ces priorités sur un horizon temporel clair, la roadmap fournit une base stratégique robuste pour guider les parties prenantes canadiennes dans leurs efforts d'intégration de la Mobilité Aérienne Avancée tout en restant compétitifs à l'international.

Tableau 4.3 : Roadmap technologique et réglementaire simplifiée pour le secteur AAM au Canada (2023-2035)

HORIZON TEMPOREL	PRIORITÉS TECHNOLOGIQUES	ACTIONS CLÉS	ALIGNEMENT RÉGLEMENTAIRE
<b>2025 (court terme)</b>	Développement des simulateurs et outils d'entraînement pour les pilotes BVLOS.	Mettre en œuvre des tests dans des corridors temporaires sécurisés.	Intégration de la réglementation sur l'identification à distance (Remote ID) prévue pour 2025. (Sources : Canada Gazette Partie 1 : Vol. 157 (2023), Transports Canada <sup>2</sup> ; RPAS Traffic Management (RTM) System : Concept of Operations, NAV Canada <sup>3</sup> )
	Standardisation des systèmes de communication et contrôle (C2).	Déployer des vertiports temporaires pour les tests et les opérations limitées.	Préparation des exigences pour l'intégration des drones dans l'espace aérien réglementé. (Source : RPAS Traffic Management (RTM) System : Concept of Operations, NAV Canada)
	Développement initial de systèmes DAA (Detect and Avoid) et architectures de données sécurisées.	Collaborer avec Transport Canada pour valider les nouvelles exigences réglementaires.	Adoption partielle des réglementations canadiennes prévues pour 2025. (Source : Canada Gazette Partie 1 : Vol. 157 (2023), Transports Canada)
	Mise en place de plateformes numériques pour surveiller les opérations en temps réel.		Adoption continue des recommandations spécifiques pour une intégration sécuritaire dans l'espace aérien contrôlé. (Source: RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations, NAV Canada)
<b>2030 (moyen terme)</b>	Intégration de systèmes semi-autonomes pour les opérations BVLOS dans des environnements semi-urbains peu complexes.	Étendre les opérations à des corridors suburbains et interurbains dédiés.	Mise en œuvre complète de la réglementation canadienne prévue pour 2026. (Source : Canada Gazette Partie 1 : Vol. 157 (2023), Transports Canada)
	Développement d'infrastructures multifonctionnelles (vertiports adaptés aux biens et passagers).	Créer des prototypes avancés pour les vertiports électriques et à hydrogène.	Validation des systèmes de gestion U-Space pour un contrôle aérien intégré. (Source : RPAS Traffic Management (RTM) System : Concept of Operations, NAV Canada)

<sup>2</sup> Disponible : <https://canadagazette.gc.ca/rp-pr/p1/2023/2023-06-24/html/reg6-fra.html> (consulté le 15 novembre 2024)

<sup>3</sup> Disponible : <https://www.navcanada.ca/en/rpas-conops.pdf> (consulté le 15 novembre 2024)

Tableau 4.3 : Roadmap technologique et réglementaire simplifiée pour le secteur AAM au Canada (2023-2035) (suite et fin)

HORIZON TEMPOREL	PRIORITÉS TECHNOLOGIQUES	ACTIONS CLÉS	ALIGNEMENT RÉGLEMENTAIRE
	Optimisation de la gestion thermique et des batteries pour des trajets moyens.	Tester des solutions hybrides et électriques pour des services régionaux.	
	Renforcement de la cybersécurité pour protéger les réseaux BVLOS contre les intrusions.	Mener des projets pilotes pendant des événements à grande visibilité (Ex : compétitions internationales).	
<b>2035 (long terme)</b>	Développement et intégration d'aéronefs entièrement autonomes pour des opérations à haute densité dans les environnements urbains complexes.	Lancer des services commerciaux à grande échelle avec des corridors flexibles et dynamiques.	Finalisation des normes internationales pour l'autonomie complète, conforme aux protocoles de gestion intégrée du trafic.
	Adoption de systèmes propulsés par hydrogène pour les trajets régionaux et interurbains.	Construire des vertiports à haute capacité pour les opérations commerciales complexes.	Alignement des normes internationales sur la sécurité et les performances des eVTOLs.
	Automatisation complète des systèmes U-Space pour une gestion avancée des trafics aériens.	Déployer des plateformes intégrées pour planifier, superviser et optimiser les opérations à grande échelle.	
	Surveillance des impacts environnementaux des technologies sur l'ensemble de leur cycle de vie.	Réaliser des démonstrations grandeur nature pour valider la sécurité et la performance des systèmes automatisés.	

En bref, le Tableau 4.3 présente une roadmap qui traduit les priorités technologiques et réglementaires identifiées en actions concrètes réparties sur des horizons temporels clairs. Cette roadmap met en avant des jalons essentiels tels que le développement de simulateurs pour les opérateurs BVLOS à court terme, l'intégration de systèmes semi-autonomes à moyen terme, et l'automatisation complète des systèmes AAM à long terme. Ces priorités témoignent d'une approche structurée visant à répondre aux défis identifiés dans les analyses précédentes, tout en soutenant l'évolution progressive du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée.

Les points clés de cette roadmap incluent l'alignement entre innovation technologique et conformité réglementaire, l'adaptation des infrastructures pour accompagner la montée en échelle des opérations, et l'incorporation des préoccupations sociétales telles que la réduction des nuisances sonores et la transition vers des technologies durables. Ce cadre progressif fournit une vision intégrée des étapes nécessaires pour bâtir un écosystème AAM résilient et compétitif.

De plus, cette roadmap constitue un fondement crucial pour les étapes subséquentes de cette recherche. Elle servira de base méthodologique pour le déploiement de la méthode Delphi, permettant de valider et d'approfondir les priorités stratégiques identifiées avec les parties prenantes. Elle offre également un aperçu exhaustif des défis technologiques et réglementaires qui façonneront les orientations futures de la recherche, garantissant ainsi que les prochaines étapes restent alignées avec les besoins et les ambitions du secteur.

## **CHAPITRE 5     ARTICLE 1: A SECTORAL STRATEGIC ROADMAPPING FRAMEWORK FOR COMBINING REGULATORY AND INDUSTRY PERSPECTIVES: THE CASE OF ADVANCED AIR MOBILITY IN CANADA**

**Journal:** Technological Forecasting and Social Change (TFSC)

**Date de soumission:** 21 novembre 2024

**Auteurs:** Jérémy Laplante

**Co-auteurs:** Fabiano Armellini et Isabelle Deschamps

Ce chapitre présente l'article scientifique rédigé dans le cadre de cette recherche, soumis au journal *Technological Forecasting and Social Change* (TFSC), ayant pour auteur Jérémy Laplante et pour co-auteurs Fabiano Armellini et Isabelle Deschamps. Cet article constitue un livrable clé du projet, illustrant les résultats et la pertinence méthodologique dans un contexte scientifique international. Son objectif principal est de démontrer la valeur ajoutée de l'intégration de la méthode Delphi et du cadre S-PLAN, offrant ainsi une approche novatrice pour la planification stratégique sectorielle dans des secteurs émergents comme celui de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM).

Contrairement au reste du mémoire qui décrit en détail le cadre méthodologique DRM et ses différentes étapes, l'article se concentre exclusivement sur l'apport des deux méthodes combinées. En particulier, il met en lumière comment l'intégration du processus itératif et participatif de Delphi, couplé à la structure hiérarchique et phasée du S-PLAN, permet de maximiser les forces de ces deux outils méthodologiques. Cette combinaison sert à répondre aux besoins complexes des secteurs multidimensionnels et rigidelement réglementés, tout en assurant une adaptation aux priorités sectorielles canadiennes.

Cet article illustre également comment cette méthodologie intégrée peut servir de modèle pour d'autres secteurs émergents, apportant une contribution significative à la communauté scientifique en matière de méthodologies appliquées à la planification stratégique. En explorant les résultats issus de l'application des deux méthodes, l'article souligne leur complémentarité et leur potentiel pour structurer des roadmaps sectorielles robustes et flexibles.



En tant que livrable scientifique, cet article témoigne de l'ambition de cette recherche de dépasser un simple cadre applicatif pour enrichir la littérature académique et outiller les praticiens confrontés à des problématiques similaires. Cette contribution s'inscrit dans la volonté de promouvoir des approches rigoureuses et reproductibles pour la transformation stratégique de secteurs en rapide évolution.

## **Abstract:**

This paper presents a sectoral roadmap development framework-testing process for the Canadian Advanced Air Mobility (AAM) industry, to evaluate a methodology for expanding technological roadmaps into comprehensive sectoral frameworks. The procedural framework incorporates the regulatory perspective to the technological, infrastructural, social, and economic ones, using the S-PLAN framework to identify important strategies and practical actions. Insights were gathered from interviews with cross-disciplinary experts in the public (regulatory) and private (industry) sectors across the industry using the Delphi method to consolidate strategic topics and tactical insights crucial for the sector evolution. The research aims at proposing a methodology for broadening the scope of existing technological roadmaps, applying it in the case of Canada. This methodology is then illustrated in its application to establish the foundation for iterative advancements in the AAM sector, emphasizing a collaborative approach to address the identified challenges. The concluding strategic topics, classified by Advanced Air Mobility Maturity Levels, serve as foundations for the ongoing transformation of Canada's aviation landscape from its current state towards a more autonomous and expansive future. While this study focuses on the AAM sector, the framework's design offers broader applicability, providing a valuable tool for other emerging, complex, and rigidly regulated industries.

Keywords: Strategic Roadmapping, Regulatory Framework, Advanced Air Mobility (AAM), Sectoral Strategic Planning

---

## **5.1 Introduction**

The evolution of Advanced Air Mobility (AAM) marks a major shift in logistics and urban transportation. AAM provides safer, more efficient, and environmentally friendly alternatives to traditional methods. These advances are supported by improvements in battery technology, navigation systems, and communication networks, which together enable new possibilities for transportation in cities and remote areas (Straubinger, 2020; Booz-Allen and Hamilton, 2018; Fu & al., 2019; Kasliwal, Furbush, Gawron, & al., 2019).

Despite these advances, regulatory challenges remain a key obstacle. Madusanka et al. (2022) and Skjong (2009) explain that aligning new technology with safety standards can be difficult, especially in industries like aerospace where rules are strict. This issue is also seen in other fields, such as energy, where slow regulatory updates have delayed progress (Nelson, 2017), and in clean

technologies and nanotechnology, where rigid rules have limited innovation (Romasheva & Ilinova, 2019; Amutha & al., 2024). These examples show the need for flexible regulations that can adapt to fast-developing technologies.

The global regulatory environment adds further complexity. Differences between national regulations create challenges for scaling AAM technology and ensuring compatibility across borders. Wiedemann highlight how this lack of alignment makes it harder for companies to expand internationally (Wiedemann & al., 2024). Organizations like ICAO are working to develop common standards, but balancing local priorities with international goals remains a challenge, as noted by Skjong (2009).

This study addresses these issues by introducing a method to create a strategic roadmap for Canada's AAM sector. This approach combines insights from experts with advanced planning techniques to connect technical and regulatory perspectives. Instead of providing a completed roadmap, the study offers a flexible framework that can adapt to different needs and priorities while tackling complex challenges in rigidly regulated sectors.

The study integrates the Delphi method and the S-PLAN framework to identify important strategies and practical actions. Guided by the Advanced Air Mobility Maturity Levels (AMLs) framework (Goodrich, 2021), it outlines a phased strategic planning process for sector development, moving from basic operations to high-risk, autonomous systems. By focusing on regulatory flexibility, market growth, and public acceptance, this framework provides a clear path for advancing AAM in Canada and offers a model for other countries facing similar challenges.

This paper describes the methods used, the results, and how they can help Canada's AAM sector grow while contributing to global discussions in both research and industry.

## **5.2 Literature review**

### **5.2.1 Regulatory Challenges in Emerging Sectors**

Regulatory frameworks in emerging sectors often struggle to keep pace with technological advancements, creating barriers to innovation. This misalignment is particularly evident in industries such as energy, artificial intelligence, and advanced materials, where outdated or rigid regulations limit the potential of new developments (Blind, 2010; Roca, Vaishnav, & Morgan,

2021; Nathan, 2014). In the aerospace domain, these challenges are magnified by the necessity to prioritize public safety and international interoperability, both of which demand stringent regulatory oversight.

The aviation sector illustrates this tension clearly. Certification processes for new technologies, such as Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) operations in unmanned aircraft, highlight the slow adaptation of existing systems to innovation (Henderson, 2022; Andersen, Frederiksen, & al., 2020). While regulatory stability ensures safety and public trust, it can also stifle innovation by creating lengthy approval cycles. Adaptive approaches like "regulatory sandboxes" have emerged as solutions, providing controlled environments to test new technologies under flexible regulatory conditions (Ranchordas & Vinci, 2024; Ford, 2021).

The International Civil Aviation Organization (ICAO) plays a key role in addressing these regulatory challenges, offering a global platform for standardizing airspace management practices. ICAO's initiatives, such as the development of a global Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) registry and the implementation of performance-based regulations, aim to reduce regulatory fragmentation and promote a unified approach to integrating advanced technologies like AAM into global airspace systems (Yang, Chang, & Lin, 2022). Research highlights how ICAO's efforts encourage alignment between national standards and international benchmarks, fostering interoperability and collaboration across jurisdictions (Nakamura & Kajikawa, 2018).

However, balancing innovation with safety, safeguarding privacy, and managing increasingly crowded airspaces require ongoing dialogue between stakeholders. The rapid pace of technological development often outpaces regulatory updates, delaying the establishment of international standards (Gössling & Humpe, 2024). Despite ICAO's contributions, achieving harmonization while accommodating regional differences continues to be a significant challenge in the aerospace industry.

## **5.2.2 Strategic Roadmapping: Concepts and Applications**

Strategic roadmapping is an essential tool for aligning technological, regulatory, and market objectives in dynamic industries. Initially developed for the manufacturing sector, roadmapping has evolved into a versatile methodology applicable to various fields, offering structured approaches to long-term planning and coordination (Phaal & al., 2004; Geum, Farrukh, & Lee,

2023). Early roadmaps primarily focused on technological milestones, but recent developments emphasize integrating regulatory and societal perspectives to address multifaceted challenges (Park, Phaal, & al., 2020).

In the context of AAM, strategic roadmapping facilitates the alignment of innovation with regulatory and market needs. Frameworks like the S-PLAN are particularly well-suited for industries marked by complexity and rapid change. The S-PLAN framework incorporates a phased approach—assessing the strategic landscape, selecting value elements, exploring emerging topics, and agreeing on actionable pathways (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007). This iterative method enables stakeholders to refine roadmaps over time, ensuring that both immediate and long-term goals remain achievable despite shifting external conditions.

The ability to integrate diverse viewpoints makes strategic roadmapping an indispensable tool for AAM development. By fostering collaboration among regulators, industry leaders, and researchers, roadmaps provide a shared framework for navigating challenges and seizing opportunities. The inclusion of regulatory perspectives alongside technological and societal considerations ensures that the resulting plans are robust, adaptable, and actionable.

### **5.2.3 Methodologies for Consensus Building in Strategizing: Combining Delphi and S-PLAN**

Strategic planning in complex and emerging sectors often requires methodologies capable of aligning diverse stakeholder perspectives while addressing multifaceted challenges. Numerous approaches have been developed for building consensus and managing uncertainty, each offering distinct strengths depending on the context. Among these, the Delphi method and structured frameworks like S-PLAN stand out for their adaptability and effectiveness in integrating expert insights into actionable roadmaps.

The Delphi method has proven effective in various disciplines for building consensus and managing complexity in uncertain domains (Landeta, 2006). One study by Beiderbeck et al. (2021) explored the use of Delphi surveys across diverse fields, highlighting its adaptability and precision in capturing expert insights. The study emphasized three critical phases: preparing, conducting, and analyzing surveys. The preparation phase involved selecting diverse panels of experts to ensure a wide range of perspectives, crafting precise statements or questions, and defining a

systematic approach for gathering insights. During the conducting phase, the researchers employed iterative rounds of feedback, enabling participants to refine and adjust their responses based on aggregated group perspectives. The final phase involved analyzing qualitative and quantitative responses to identify emerging themes and build a robust framework for decision-making. This structured process demonstrates the method's utility in integrating varied expert opinions, particularly in sectors like Advanced Air Mobility (AAM), where multiple dimensions intersect.

Similarly, Schmalz et al. (2021) applied the Delphi method in a two-round scenario-based study, focusing on identifying future challenges and opportunities in complex mobility ecosystems. The research illustrated how iterative expert consultations could anticipate trends, address uncertainties, and align stakeholder priorities. In the first round, open-ended questions allowed experts to share broad insights, laying the groundwork for identifying key themes. The second round used these themes to develop more focused and structured questions, ensuring that the consensus reflected informed and contextualized perspectives. Schmalz et al. highlighted the value of this approach in aligning diverse viewpoints and informing actionable strategies, particularly in emerging sectors like AAM, where rapid technological advancements require constant regulatory adaptation.

The Delphi method, renowned for its iterative and consensus-driven approach, is widely recognized for its ability to incorporate expert insights into structured planning processes, making it particularly effective for addressing complex, multi-dimensional initiatives like AAM. Studies by Barrios et al. (2021) and von der Gracht (2012) highlight the method's adaptability in navigating multifaceted challenges. These works emphasize the importance of clear measurement criteria for achieving reliable consensus, which enhances the credibility and robustness of the derived insights. Barrios et al. (2021) further explore the dynamics of decision-making in Delphi studies, demonstrating how structured rounds of consultation refine strategies and prioritize goals.

Moreover, Delphi's strength in forecasting and aligning stakeholder insights with phased planning frameworks is well-documented. Rowe and Wright (1999) discuss its critical role in forecasting, noting how expert-driven consensus can anticipate trends and challenges in uncertain and rapidly evolving sectors. Additionally, the integration of Delphi insights into phased frameworks like S-PLAN aligns with broader methodological innovations that balance top-down and bottom-up approaches. Chan et al. (2024) explores the trade-offs between these methodologies, particularly

in the regulation and innovation of emerging technologies. Their study highlights how top-down frameworks offer centralized control and consistency, essential for aligning high-level strategic goals, while bottom-up approaches bring adaptability and stakeholder-driven insights to address localized challenges **Source indiquée non valide..** This duality reinforces the value of combining methods like Delphi and S-PLAN, as they complement each other by integrating granular, expert-driven inputs with a structured roadmap framework. Such an approach is particularly effective in navigating the complexities of Advanced Air Mobility (AAM), where technological advancements and regulatory frameworks must evolve in tandem to ensure scalable and sustainable implementation.

In the mobility sector, Delphi has been used to predict technological trends and identify strategic challenges. Studies have demonstrated its utility in forecasting hydrogen adoption pathways and evaluating door-to-door travel scenarios (Kluge, Ringbeck, & Spinler, 2020; Leypoldt, 2024; Jittrapirom, 2020; Melander & al., 2019; Liimatainen & al., 2014). Integrating Delphi insights into frameworks like S-PLAN enhances the roadmap's ability to address high-complexity environments by embedding expert-driven strategies into its foundational stages.

This combined methodology offers a comprehensive approach for creating sectoral roadmaps. Delphi provides the critical insights needed to define strategic priorities, while S-PLAN translates these insights into actionable pathways. Together, they offer a structured yet flexible framework for aligning regulatory, technological, and societal goals, addressing the unique challenges of AAM development.

#### **5.2.4 Possible Directions for Research**

While the methodologies discussed provide a strong foundation for addressing regulatory and strategic challenges, further research is necessary to expand the knowledge base and refine practical approaches to AAM integration. Comparative studies on regulatory frameworks, for example, could explore the socio-economic impacts of harmonized standards versus fragmented national policies. Such research would provide valuable insights into scalability and interoperability, helping countries adapt international frameworks to local contexts (Ranchordas & Vinci, 2024).

Cross-disciplinary approaches are also essential for roadmap development. Integrating perspectives from technology, regulation, economics, and social sciences would allow for a more comprehensive understanding of the factors influencing AAM adoption. This approach could guide strategic planning by balancing the fast pace of technological progress with the slower evolution of regulatory frameworks (Blind, 2010; Phaal & al., 2004).

Another area for exploration is the real-world effectiveness of ICAO standards and international cooperation models. Evaluating how these frameworks influence national policies and industry practices could identify best practices for fostering global collaboration in aviation regulation (Yang, Chang, & Lin, 2022). Comparative studies examining the implementation of ICAO standards across different regions would be particularly valuable for understanding the nuances of regulatory alignment.

In the Canadian context, further research is needed to address unique geographical and climatic challenges. Investigating how global standards can be adapted to Canada's specific needs could provide a blueprint for other countries with similar characteristics. Additionally, examining the potential integration of AAM technologies into broader smart city and IoT ecosystems would offer insights into creating more interconnected and efficient urban mobility solutions.

By addressing these areas, future studies can support the safe and effective integration of AAM technologies while contributing to global efforts to harmonize regulatory frameworks and advance strategic planning.

### **5.3 Research Background: Prior studies about the status of AAM in Canada**

Developing Advanced Air Mobility (AAM) in Canada requires balancing technological progress with strict regulations. The country's unique conditions make this process particularly demanding. Vast, sparsely populated areas, remote communities, and harsh weather create challenges that require tailored solutions (Sluijs & al., 2023). While global organizations like the International Civil Aviation Organization (ICAO) work to establish common standards, Canada must adapt these rules to its specific needs. This dual need for global alignment and local customization underscores the importance of approaches that address both international guidelines and Canada's distinct realities.



The Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) sector, an essential part of AAM, faces many of the same issues. Both RPAS and AAM depend on advancements in safety systems, airspace integration, and public trust. Research aimed at solving RPAS challenges, such as operating Beyond Visual Line of Sight (BVLOS), also supports the broader development of AAM. For this reason, the RPAS sector provides a foundation for understanding and addressing the broader challenges of AAM in Canada.

In line with these challenges, the National Research Council Canada (NRC), in collaboration with Transport Canada, NAV Canada, and the Canadian Advanced Air Mobility (CAAM) organization, has been actively supporting the efficient emergence of AAM in the country. To this end, the NRC initiated two key studies, in which we were involved, prior to the research outlined in this paper. Two reports were prepared, addressing the integration of RPAS into Canadian airspace. These reports focused on understanding regulatory and technological requirements while ensuring compliance with strict safety standards, while the strategic sectoral roadmapping aimed at in this research paper focuses on broadening the scope to include other critical perspectives, such as economic, social, and environmental dimensions, that need to be considered in sectoral strategic planning.

The first report, summarized in section 3.1, examines the specific challenges associated with BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) operations in Canada (National Research Council Canada, Forth.). It highlights the critical need for collaboration among operators, manufacturers, and regulators to define performance requirements for practical use cases, such as medical supply delivery. This report also explores how the integration of RPAS into airspace demands customized solutions tailored to Canada's unique geographic and climatic conditions.

The second report, discussed in 3.2, extends the findings by identifying current technological gaps and proposing a strategic roadmap for the sector (National Research Council Canada, Forth.). It emphasizes the importance of aligning technological advancements with regulatory frameworks to enable the safe and scalable integration of AAM technologies in Canada.

Together, these reports underscore the complexity of establishing a robust AAM ecosystem in Canada. They also highlight the need for a broader strategic planning approach that incorporates regulatory, economic, social, and infrastructural considerations to ensure the sector's successful emergence and long-term viability on a global scale. This study builds on these findings to propose

solutions that align with Canada's unique challenges while remaining consistent with international goals.

### **5.3.1 Canadian Regulatory Framework and Requirements Assessment**

The first report initiated by the National Research Council Canada (NRC) examined the challenges of integrating Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) into Canadian airspace, with a specific focus on Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) operations. To provide actionable insights, the study centered on a practical use case: the delivery of medical supplies to remote communities. This scenario was chosen because it highlighted the operational, regulatory, and technological hurdles of deploying RPAS in complex and high-stakes conditions, such as those found in Canada's vast and sparsely populated regions.

The report outlined the importance of aligning regulatory requirements with operational goals. By employing a structured framework inspired by the Systems Engineering V-Model (SAE International, 2023; Taibi, Lenarduzzi, & al., 2015), the study systematically analyzed the collaborative requirements among operators, manufacturers, and regulators to ensure safe and scalable BVLOS operations.

#### **5.3.1.1 Regulatory Landscape in Canada**

The integration of BVLOS operations into airspace required adapting established methodologies to address the unique challenges presented by stringent regulatory frameworks and operational demands. To tackle these complexities, the first NRC report employed a modified V-Model framework, traditionally used in aviation and other high-stakes industries to guide system certification and compliance (Taibi, Lenarduzzi, & al., 2015). This adaptation emphasized collaboration between operators and regulators, ensuring alignment between operational needs and regulatory expectations at each stage of development.

Developed from the Canadian regulatory framework, this modified process aligns well with international regulatory environments characterized by similar challenges, making it adaptable to other countries. Figure 5.1 illustrates this collaborative and iterative process, inspired in the V-Model (Lind, 2015), showcasing its applicability to integrating BVLOS operations into regulated airspace.

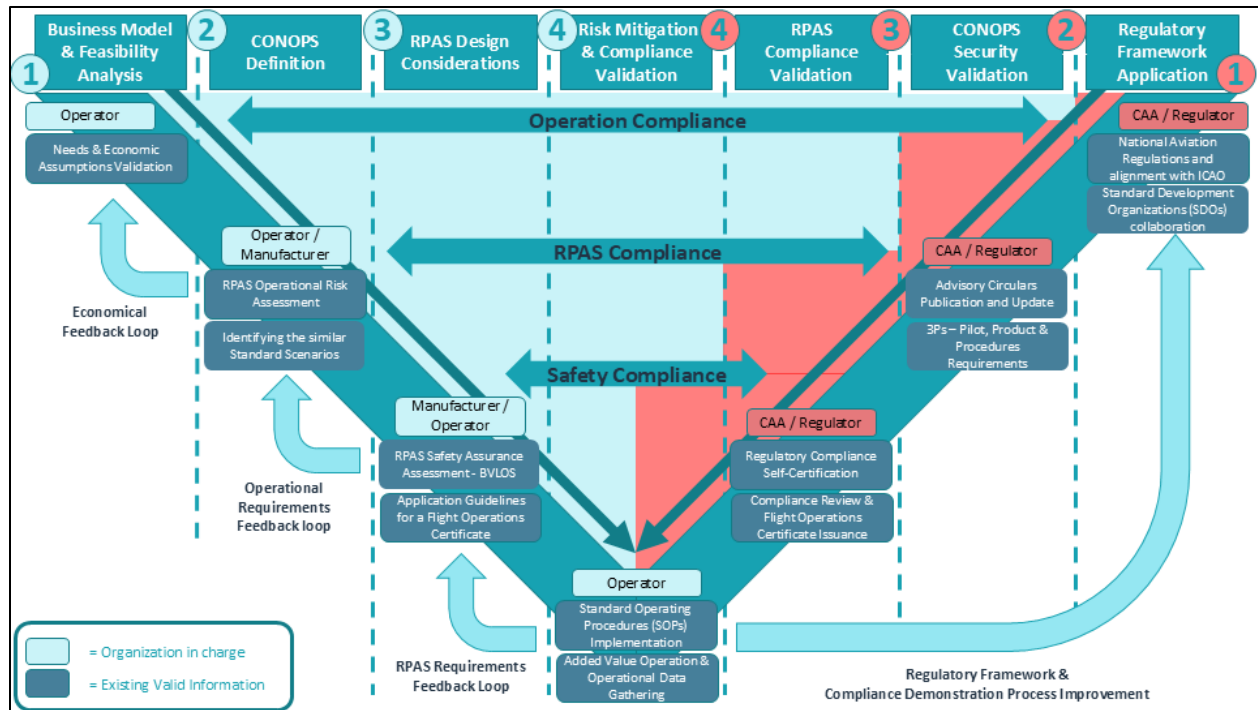


Figure 5.1 : BVLOS RPAS Cargo Delivery Operations Development Process

The modified V-Model process consists of four iterative and collaborative stages, fostering mutual understanding and continuous refinement between operators and regulators:

In the first stage, operators evaluate the feasibility of BVLOS missions, both operationally and economically. This involves refining business models through iterative feedback loops, incorporating insights from experimental data and regulatory feedback. Concurrently, regulators work to adapt and improve regulatory frameworks based on industry input, ensuring public safety remains the priority.

The second stage focuses on the development and validation of the Concept of Operations (CONOPS). Operators and manufacturers collaborate to define operational boundaries, mission objectives, and system performance requirements. These CONOPS are aligned with regulatory guidelines, such as advisory circulars like AC 903-001, which offer standardized scenarios and criteria (Transport Canada, 2021). Regulators review the feasibility of the proposed CONOPS to ensure compliance with safety standards while simplifying the approval process where appropriate.

The third stage addresses system design considerations and regulatory compliance. Operators and manufacturers align on the configuration of systems required for BVLOS missions, including

safety features and communication systems. Manufacturers conduct self-declarations of performance, which are subsequently verified by regulators through compliance matrices submitted with Special Flight Operations Certificate (SFOC) applications. This stage also addresses challenges like the absence of explicit BVLOS performance standards in some regulatory documents, highlighting the importance of adaptive collaboration.

The final stage emphasizes risk mitigation and operational validation. Operators implement comprehensive risk management strategies, identifying and addressing operational hazards while documenting anomalies for continuous improvement. Regulators validate operational data and oversee testing phases to ensure compliance with safety and performance standards throughout the operational lifecycle.

This structured process not only facilitates the integration of BVLOS operations into regulated airspace but also provides a scalable and adaptable model that can be generalized to other regulatory contexts with similar complexities.

### **5.3.1.2 Specific Technological Challenges: Closing the Gaps**

The NRC's first report identified a range of technological challenges specific to the operationalization of BVLOS missions in Canada. These challenges highlight the need for innovations in design, communication systems, and operational procedures to meet stringent safety and performance standards.

To organize and analyze these challenges, the report utilized Transport Canada's categorization of requirements into three areas: The Pilot, The Product, and Procedures. This categorization helped to clearly identify the technological gaps that need to be addressed to achieve scalable and compliant BVLOS operations. Each category highlights a critical area for aligning technological solutions with operational and regulatory expectations. See table in Appendix A, extracted from this first report.

The insights derived from this analysis emphasize the need for targeted technological advancements to address these challenges. By focusing on operator training, system reliability, and procedural improvements, the report lays the groundwork for a more robust and scalable BVLOS operational model. These findings also serve as a critical input for the second NRC report,

which evaluates broader technological gaps and proposes a roadmap for addressing them within the context of AAM.

### **5.3.2 General Technological Gaps Assessment and Technological Roadmapping**

Building on the findings from the first report, the second phase of the study extended its focus to identify broader technological gaps within the RPAS sector and outline a technological and operational roadmap. This phase incorporated insights from the International Forum for Aviation Research (IFAR), which provided a global perspective on the technological and operational challenges in Advanced Air Mobility (AAM). By aligning IFAR's global insights with Canada's unique needs, the roadmap synthesizes specific gaps and proposes strategic solutions for the sector (IFAR, 2023).

To bridge the gaps identified in the first report, the second phase employed a detailed analysis of key technological and operational focus areas. These areas were categorized into two broad domains: technological challenges and operational priorities. This categorization ensured a comprehensive approach to addressing the multifaceted requirements for advancing RPAS and AAM in Canada.

Appendix B presents a table, extracted from this second report, that summarizes the IFAR evaluation of critical technological and operational areas, linking them to the specific requirements identified in the Canadian context. This synthesis highlights how global insights align with the challenges identified in the first phase, reinforcing the need for a cohesive and structured roadmap.

The technological roadmap developed in this earlier phase offers a strategic vision for the integration and scaling of AAM systems in Canada, extending from 2023 to 2035, as summarized in Table 5.1, extracted from the 2<sup>nd</sup> report. This roadmap is not exhaustive but serves as a practical guide to align technological advancements with regulatory developments and operational goals. By incorporating phased milestones, it provides a framework for the gradual evolution of RPAS and AAM capabilities, focusing on areas such as infrastructure development, regulatory alignment, and public acceptance.

Table 5.1 : Simplified Technological and Regulatory Roadmap for the AAM Sector in Canada (2023–2035) (source: Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), National Science Library - NRC Publications Archive.)

TIMELINE	TECHNOLOGICAL PRIORITIES	KEY ACTIONS	REGULATORY ALIGNMENT
<b>2025 (Short Term)</b>	Development of simulators and training tools for BVLOS pilots.	Implement tests in secure temporary corridors.	Integration of Remote Identification (Remote ID) regulations planned for 2025. (sources: Canada Gazette Part 1: Vol. 157 (2023), Transport Canada <sup>4</sup> ; RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations, NAV Canada <sup>5</sup> )
	Standardization of Communication and Control (C2) systems.	Deploy temporary vertiports for tests and limited operations.	Preparation of requirements for drone integration into regulated airspace. (source: RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations, NAV Canada <sup>5</sup> )
	Initial development of Detect and Avoid (DAA) systems and secure data architectures.	Collaborate with Transport Canada to validate new regulatory requirements.	Partial adoption of Canadian regulations planned for 2025. (source: Canada Gazette Part 1: Vol. 157 (2023), Transport Canada <sup>4</sup> )
	Establish digital platforms for real-time operations monitoring.		Continued adoption of specific recommendations for safe integration into controlled airspace. (source: RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations, NAV Canada <sup>5</sup> )
<b>2030 (Medium Term)</b>	Integration of semi-autonomous systems for BVLOS operations in low-complexity semi-urban environments.	Expand operations to dedicated suburban and inter-urban corridors.	Full implementation of Canadian regulations planned for 2026. (source: Canada Gazette Part 1: Vol. 157 (2023), Transport Canada <sup>4</sup> )
	Development of multifunctional infrastructure (vertiports adapted for goods and passengers).	Create advanced prototypes for electric and hydrogen-powered vertiports.	Validation of U-Space management systems for integrated air traffic control. (source: RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations, NAV Canada <sup>5</sup> )
	Optimization of thermal management and batteries for medium-range routes.	Test hybrid and electric solutions for regional services.	
	Strengthening cybersecurity to protect BVLOS networks from intrusions.	Conduct pilot projects during high-visibility events (e.g., international competitions).	
<b>2035 (Long Term)</b>	Development and integration of fully autonomous aircraft for high-density operations in complex urban environments.	Launch large-scale commercial services with flexible, dynamic corridors.	Finalization of international standards for full autonomy with compliance to integrated traffic management protocols.
	Adoption of hydrogen-powered systems for regional and inter-urban routes.	Build high capacity vertiports for complex commercial operations.	Alignment international standards on eVTOLs safety and performance.

<sup>4</sup> Available: <https://canadagazette.gc.ca/rp-pr/p1/2023/2023-06-24/html/reg6-eng.html> (last access on 2024/11/15)

<sup>5</sup> Available: <https://www.navcanada.ca/en/rpas-conops.pdf> (last access on 2024/11/15)

Table 5.1 : Simplified Technological and Regulatory Roadmap for the AAM Sector in Canada (2023–2035) (source: Drone Cargo Delivery Study (2/2) (forth.), National Science Library - NRC Publications Archive.) (cont'd and end)

TIMELINE	TECHNOLOGICAL PRIORITIES	KEY ACTIONS	REGULATORY ALIGNMENT
	Full automation of U-Space systems for advanced air traffic management.	Deploy integrated platforms to plan, supervise, and optimize large-scale operations.	
	Monitoring the environmental impacts of technologies throughout their lifecycle.	Conduct full-scale demonstrations to validate safety and performance of automated systems.	

The roadmap not only addresses the immediate regulatory and technological challenges identified in the two reports but also emphasizes the broader infrastructural, social, and economic dimensions essential for the successful integration of AAM in Canada. By aligning these diverse perspectives, this roadmap underscores the complexity of establishing a sustainable and inclusive AAM ecosystem. In this vein, the procedural framework that is the focus of this current paper builds directly upon these findings to propose a strategic sectoral roadmapping that integrates these additional multifaceted challenges, beyond technological and regulatory issues, with the aim of offering a comprehensive methodology to guide the phased development of AAM while addressing the unique needs, challenges and priorities of Canada.

## 5.4 Research Methodology

This study aims to develop a strategic roadmapping framework tailored to the Canadian context of Advanced Air Mobility (AAM). By integrating expert consensus and structured planning methods, the research combines the Delphi method with the S-PLAN framework to address regulatory, technological, and societal challenges. This approach ensures a phased, adaptable roadmap designed to meet both immediate priorities and long-term goals.

The methodology is built upon two complementary components. The Delphi method was used to gather and refine expert multidimensional insights across sectors, while the S-PLAN framework structured these findings into a roadmap for guiding sectoral development. Together, these methodologies form a robust basis for aligning regulatory and technological advancements within the AAM ecosystem.

### 5.4.1 The Delphi Method: Expert Opinion and Consensus Building

This study adapted the Delphi method into three targeted phases—Preparing, Conducting, and Analyzing. These phases systematically collected and refined expert insights, supporting the comprehensive development of a roadmap for Canada’s AAM sector. Each phase was designed to build upon the insights gathered in the previous step, fostering a progressive and structured development process. The Figure 5.2 illustrates this adapted Delphi process, showing how each phase contributes to refining expert inputs and translating them into actionable insights for the strategic roadmap.

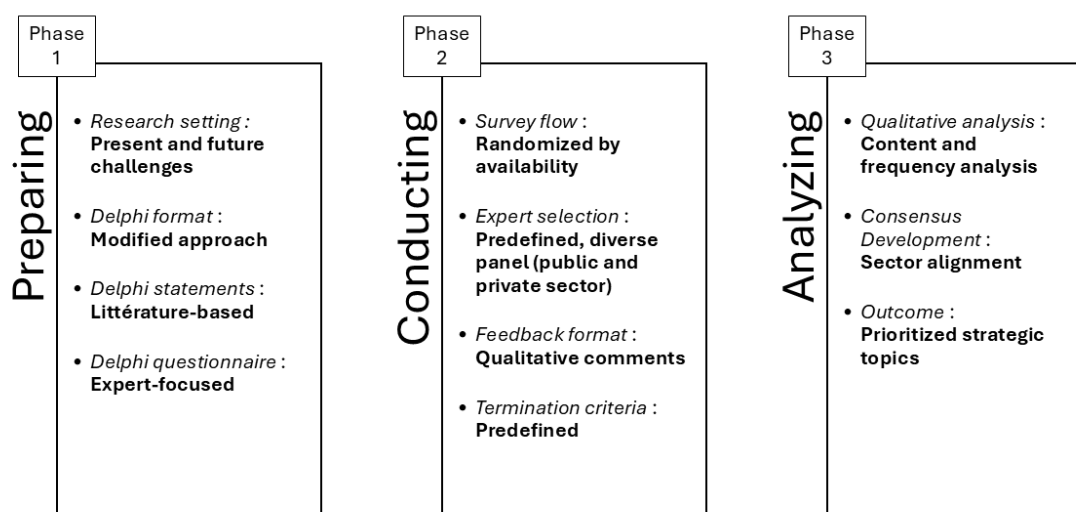


Figure 5.2 : Delphi Method Phases – Preparing, Conducting, and Analyzing for Roadmap Development

The first phase, Preparing, focused on establishing the foundational elements of the study. Semi-structured interviews were conducted with a carefully selected panel of experts to explore the key challenges and opportunities within the AAM sector. Semi-structured interviews, as highlighted by Beiderbeck et al. (2021), are particularly effective in rapidly evolving fields where flexibility and depth are critical for capturing nuanced perspectives. The experts selected represented a range of backgrounds, including industry professionals, policymakers, academics, and end-users, ensuring a diverse set of insights that reflect the multifaceted nature of the AAM ecosystem. Statements and questionnaires for this phase were crafted based on existing literature and prior research, with a focus on identifying the most pressing sectoral challenges and strategic opportunities.



The second phase, Conducting, was centered on systematically collecting and refining feedback from the expert panel. This phase objective was to broaden the scope of the study by incorporating a wider range of perspectives on regulatory, technological, and operational issues. Experts provided detailed qualitative responses, which were then used to expand and refine the roadmap's structure. The diversity of the expert panel, coupled with the iterative nature of the feedback process, ensured a well-rounded understanding of sectoral priorities. The importance of maintaining a diverse and inclusive panel for Delphi studies has been emphasized by von der Gracht (2012), who highlights that a balanced representation of expertise strengthens the validity and applicability of the outcomes. Feedback was carefully analyzed to identify recurring themes, ensuring that the roadmap reflected a comprehensive view of the sector's needs.

In the final phase, Analyzing, the gathered expert input was synthesized and evaluated to prioritize strategic topics and establish a cohesive roadmap. This phase relied on detailed qualitative analysis techniques to identify key areas of consensus among experts. As noted by Rowe and Wright (1999), the robustness of Delphi studies is greatly enhanced when consensus metrics are rigorously applied, ensuring that the derived insights are both credible and actionable. The analysis emphasized the alignment of public and private sector priorities, balancing technological advancements with regulatory and societal considerations. The resulting roadmap provided a structured foundation for the next step using S-PLAN framework, integrating expert insights into a phased approach that aligns with Canada's regulatory and operational landscape.

By structuring the Delphi process into these three interconnected phases, the methodology facilitated the systematic integration of expert opinions into the strategic planning process. This iterative and consensus-driven approach not only addressed the specific challenges of the Canadian AAM sector but also demonstrated the versatility of the Delphi method in aligning stakeholder insights with actionable roadmaps. The insights gathered through this method served as a critical input for the subsequent application of the S-PLAN framework, ensuring a comprehensive and adaptable strategy for advancing AAM in Canada.

#### **5.4.2 Strategic roadmapping: The S-PLAN Framework**

This study focuses on the first two steps of the S-PLAN framework, which lay the groundwork for aligning sectoral challenges with strategic solutions. While the framework comprises four Steps in total—Step 1: Define Strategic Landscape, Step 2: Select Value Elements, Step 3: Explore Topics,

and Step 4: Agree on a Strategic Pathway—the scope of this research is limited to the first two Steps, ensuring a concentrated and actionable output. The latter Steps are proposed as future work to be developed by stakeholders as sectoral conditions evolve.

#### **5.4.2.1 Step 1: Define Strategic Landscape**

The Step 1 of the S-PLAN framework involves assessing the current state of the sector by examining regulatory frameworks, technological capabilities, and operational requirements. This step establishes a foundational understanding of the existing landscape, enabling stakeholders to identify key challenges and opportunities. In the Canadian context, this step was informed by data from the two National Research Council (NRC) reports cited above, enriched by several additional recognized regulatory and industry expert sources, including insights from Transport Canada and NAV Canada, and global perspectives such as those provided by the International Forum for Aviation Research (IFAR). This comprehensive analysis highlighted the critical regulatory and technological barriers to integrating BVLOS operations and advancing AAM in Canada.

#### **5.4.2.2 Step 2: Select Value Elements**

Step 2 of the S-Plan framework focuses on identifying and prioritizing the sector's key challenges and opportunities. By concentrating on regulatory barriers, technological gaps, and socio-economic factors, this Step establishes a value-driven foundation for the roadmap. The integration of insights from the Delphi method was crucial in this stage, as expert feedback provided a nuanced understanding of sectoral needs. These insights were aligned with the findings from Step 1 to ensure that the roadmap addressed Canada's unique regulatory, geographic, and climatic conditions while remaining consistent with international best practices (Phaal, Farrukh, & Probert, 2007).

By concentrating on these initial steps, the study offers a streamlined yet impactful application of the S-PLAN framework, aligning it with the iterative and flexible nature of the Delphi method. Together, these methodologies create a structured yet adaptable roadmap that reflects the complexities of the AAM sector in Canada.

The outcomes from these 2 Steps not only provide a foundation for future development but also underscore the importance of cross-sectoral alignment in addressing the challenges of AAM integration. Future Steps of the S-PLAN framework—Step 3: Explore Topics and Step 4: Agree

on a Strategic Pathway—remain critical areas for further exploration, offering stakeholders a pathway to refine and expand the roadmap as new challenges and opportunities emerge.

### **5.4.3 Broadening the Scope of Roadmaps: Integration of Delphi Insights into S-PLAN framework**

This section focuses on the methodological integration of Delphi insights with the S-PLAN framework, highlighting how the two approaches were applied systematically to create a comprehensive roadmap for Canada's AAM sector. This integration ensures that the roadmap addresses regulatory, technological, and societal challenges while remaining adaptable to the sector's evolving nature.

#### **5.4.3.1 Improvements to Step 1: Define Strategic Landscape Influenced by Delphi**

Delphi insights contributed directly to defining the strategic landscape by gathering expert perspectives across essential dimensions such as regulatory, technological, and operational challenges. These perspectives, identified through iterative consultations, informed the foundational objectives of the S-PLAN framework. Specific challenges, such as regulatory hurdles and technological gaps, were mapped to this first step, ensuring that the strategic landscape reflected both current sectoral realities and anticipated future developments.

#### **5.4.3.2 Improvements to Step 2: Select Value Elements Influenced by Delphi**

In Step 2 of the S-PLAN framework, Delphi findings were used to prioritize key sectoral topics based on expert consensus. This included actionable themes such as market viability, infrastructure development, and public acceptance. By synthesizing these insights, Step 2 established a value-driven foundation for the roadmap that emphasized the most impactful sectoral challenges, ensuring alignment with both domestic needs and international trends.

#### **5.4.3.3 An Iterative and Adaptive Integration of S-Plan framework and Delphi insights**

The integration of Delphi and S-PLAN followed a cyclical process, enabling continuous refinement of strategic priorities based on expert feedback. The iterative nature of Delphi complemented the phased structure of S-PLAN, allowing insights to be revisited and adjusted as

sectoral conditions evolved. This methodological alignment ensured that Steps 1 and 2 of S-PLAN were enriched by expert-driven insights, while also maintaining a flexible foundation for future iterations in Steps 3 and 4.

Together, these methods create a robust and flexible methodology for guiding the strategic integration of RPAS and AAM technologies in Canada, addressing the sector's unique challenges while aligning with international standards and trends. By grounding the roadmap in expert-driven insights and emphasizing flexibility, this approach offers a replicable model for other countries facing similar complexities in the development and deployment of AAM systems.

#### **5.4.4 Data Collection Procedures**

The development of the roadmap for Canada's RPAS and AAM sectors relied on a combination of primary and secondary data sources to ensure a thorough understanding of the regulatory, technological, and operational challenges within these sectors. The primary data was collected using the Delphi method, which involved engaging 11 Canadian experts from industry, regulatory bodies, and academia. These experts contributed through a structured, iterative process designed to gather and refine insights. The process began with a preparation phase where semi-structured interviews were conducted to establish foundational challenges, such as regulatory gaps and technological needs. This was followed by a systematic collection of feedback through structured questionnaires in subsequent rounds, focusing on emerging priorities related to infrastructure, social acceptance and economical perspectives. The final phase of the Delphi process involved analyzing qualitative responses to identify key areas of consensus and align them with the objectives of the S-PLAN framework.

In addition to the Delphi method, secondary data provided essential context and evidence-based support. This data included regulatory and industry reports, such as those from Transport Canada, NAV Canada, and ICAO (Transport Canada, 2021), which offered critical insights into evolving frameworks like the RPAS Traffic Management Concept of Operations (NAV CANADA, 2023), new regulations (Government of Canada, 2023) and advisory circulars such as AC 903-001 and AC 922-001 (Transport Canada, 2021; Transport Canada, 2019). Market studies such as McKinsey's report on Urban Air Mobility (UAM) (2018) and BIS Research's executive summary on Global UAS traffic Management (UTM) System Market (BIS Research, 2019), further enriched the analysis by highlighting trends and advancements that contextualized expert insights within

the broader landscape of AAM and RPAS. Comparative case studies from related sectors, such as autonomous vehicles (Transport Canada, 2019), were also reviewed to identify transferable strategies for addressing regulatory and social barriers.

The integration of primary and secondary data enabled a comprehensive approach to roadmap development. By combining expert-derived insights with evidence from regulatory, market, and case study analyses, the resulting roadmap is both grounded in Canada's unique conditions and aligned with international trends and standards. This holistic methodology ensures the roadmap is robust, actionable, and adaptable to future developments.

## **5.5 Findings and discussion**

This section presents the results of the study, structured to align with the combined insights from the Delphi method and the S-PLAN framework. The findings focus on strategic and tactical priorities essential for the development of the Canadian AAM sector. Through an iterative and integrative approach, these methodologies provided a roadmap that balances regulatory adaptation, technological innovation, and market readiness within the unique Canadian context.

### **5.5.1 Strategic Insights from the Delphi Process**

Experts emphasized the importance of aligning technological advancements with regulatory frameworks to ensure safe and scalable operations. The Delphi process interviews also underscored the critical role of market viability, social acceptance, and workforce readiness in achieving successful commercialization of RPAS and AAM technologies. A consistent theme throughout the discussions was the necessity for cross-sectoral collaboration, which was seen as vital for driving innovation and addressing regulatory and infrastructural barriers.

Appendix D presents the table summarizing the Medium and High Consensus-level strategic themes, offering a detailed view of key priorities. These themes were derived directly from the structured interviews conducted during the Delphi study. It reflected their collective perspectives and priorities covering regulatory agility, infrastructure development, market expansion, and public acceptance, providing informed insights towards an integrated roadmap for addressing strategic sectoral challenges.

### 5.5.2 Alignment with AAM Maturity Levels (AMLs)

The identified strategic topics were categorized according to the Advanced Air Mobility Maturity Levels (AMLs) framework. This alignment ensures a phased and systematic progression in operational capabilities, reflecting the sector's evolution from foundational operations to high-risk, fully autonomous systems. Each AML phase focuses on specific strategic topics validated through expert feedback during the Delphi process.

The first AML phase (Horizon 2025) prioritizes low-risk operations, emphasizing regulatory agility and early-stage public engagement to build foundational capabilities. The second phase (Horizon 2030) introduces medium-risk operations, focusing on market expansion and intermediate-level technological integration. The third phase (Horizon 2035) addresses high-risk, high-density urban operations, highlighting the importance of advanced safety protocols and multi-stakeholder collaboration for achieving full autonomy and integration.

Table 5.2 illustrates this planned alignment over the next 10 years, mapping strategic themes to each AML phase while providing actionable tactical insights to guide implementation.

Table 5.2 : AAM Maturity Levels (AMLs) and Sectoral Strategic Themes and Tactical Insights

AMLs	Description	Strategic Themes	Tactical Insights
<b>AML 1 - 2025: Low Risk CONOPS</b>	Proof of concepts and test beds for low-risk operations are developed to establish foundational capabilities and ensure basic operational safety.	Regulatory Agility - Develop frameworks that adapt swiftly to emerging tech in AAM.  Social Acceptance - Promote transparency and early engagement with public stakeholders.	Safety and Compliance Education - Launch early-stage educational campaigns to foster a safety-conscious culture.  Regulatory Training Programs - Tailor training programs for regulatory bodies on low-risk drone operations.
<b>AML 2 - Until 2030: Medium Risk CONOPS</b>	This phase introduces operationally viable concepts, involving complex operations and integration into national airspace under medium-risk conditions.	Market Expansion - Broaden market reach by promoting intermediate risk applications.  Collaborative R&D - Support joint R&D to tackle medium risk operational challenges.	Pilot Projects for Medium Risk - Initiate collaborative pilot projects to validate safety and efficiency.  Public Awareness Campaigns - Enhance public confidence with community-based demonstrations.
<b>AML 3 - Until 2035: High Risk CONOPS</b>	High-risk, commercially viable concepts are developed, leading to full autonomy and integration across economic and public sectors.	Regulatory Agility & Market Expansion - Refine regulatory approaches to include high-risk operations while enabling market growth.  Advanced Collaboration - Strengthen multi-stakeholder partnerships to support high-risk innovations.	Advanced Safety Protocols - Implement rigorous safety protocols for high-risk operations to ensure compliance and public trust.  R&D Integration - Forge long-term partnerships with R&D institutions to sustain technological advancements.

### **5.5.3 Dependency of the evolution of AAM landscape on the Regulatory Context**

The evolving regulatory context is a critical factor shaping the operational landscape of the Canadian AAM sector. Recent adjustments by Transport Canada aim to accommodate the rapid technological advancements within these sectors, demonstrating the dynamic interaction between regulatory updates and technological innovation. The dependency on regulatory adaptation is evident, as industry players must continually align with new frameworks to ensure compliance, operational safety, and scalability.

This regulatory dependency presents both opportunities and challenges. On the one hand, responsive and progressive regulations can accelerate industry growth by providing clear guidelines for emerging technologies. Conversely, if regulations are overly conservative or slow to adapt, they may slow progress by limiting the operational potential of advanced technologies. Thus, it is essential for Canada to foster a regulatory environment that is both agile and proactive, enabling the sector to capitalize on advancements while maintaining robust safety standards. Ongoing collaboration between regulatory authorities and industry stakeholders will be instrumental in shaping policies that support sector growth.

### **5.5.4 Methodological Complementarity: Integrating Bottom-Up and Top-Down Approaches**

One of the most notable aspects of this research is the complementarity between the Delphi method and the S-PLAN framework, which combines bottom-up and top-down approaches for strategic roadmapping. Together, these methodologies offer a robust framework for aligning stakeholder insights with long-term planning objectives.

The Delphi method, with its bottom-up orientation, excels in gathering detailed, expert-driven insights through iterative consultations. This approach captures the nuanced, real-world complexities experienced by stakeholders across regulatory, technological, and operational domains. It ensures that strategic planning reflects the lived experiences of industry actors while addressing specific sectoral challenges.

Conversely, the S-PLAN framework applies a top-down perspective, structuring the planning process from high-level objectives to actionable implementation pathways. Its phased design

facilitates the alignment of immediate priorities with long-term goals, such as regulatory compliance, technological scalability, and market readiness.

The strength of this integration lies in its ability to bridge granular insights with overarching strategic objectives. While Delphi validates and refines sector-specific priorities, S-PLAN organizes these priorities into a coherent roadmap. This synergy ensures that the roadmap is both adaptable to sectoral complexities and aligned with strategic milestones.

This dual approach is particularly valuable in navigating the dynamic and multidimensional nature of the AAM sector. By combining Delphi's adaptability with S-PLAN's structured planning, the roadmap becomes a replicable model for other industries facing similar regulatory and technological challenges. This integration emphasizes not only its applicability to AAM but also its potential to inform strategic planning in emergent sectors like autonomous vehicles and renewable energy.

## **5.6 Main Results and Limitations**

This section synthesizes the practical and methodological outcomes of the study. The practical findings focus on the strategic topics essential for laying the foundation for a sectoral roadmap for the Canadian RPAS Advanced Air Mobility (AAM) sectors. Meanwhile, the methodological results highlight the benefits of integrating the Delphi Method and the S-PLAN framework, emphasizing their complimentary value in complex, emergent, and rigidly regulated sectors.

### **5.6.1 Practical Results: Strategic Sectoral Roadmap for AAM in Canada**

The integration of expert feedback through the Delphi method and its alignment with the structured phases of the S-PLAN framework resulted in a clear set of strategic themes. These themes form the foundation for developing a comprehensive roadmap tailored to Canada's unique needs. The Advanced Air Mobility Maturity Levels (AMLs) framework was employed to organize these themes, reflecting a phased approach for sectoral growth and readiness.

The strategic themes identified include the need for regulatory agility to ensure that frameworks evolve in tandem with technological advancements. This adaptability supports innovation while maintaining robust safety and compliance standards. Another priority is market expansion, which emphasizes the importance of extending applications for RPAS technologies in both low- and



high-risk operations. This ensures economic viability while demonstrating scalability across diverse operational contexts. Social acceptance was also highlighted as a critical component, requiring early and transparent engagement with stakeholders to foster trust and address public concerns regarding safety, noise, and privacy.

Collaborative research and development emerged as a key area for fostering multi-stakeholder innovation. Joint R&D initiatives, particularly in medium and high-risk operations, can address complex challenges while generating valuable insights for scaling technologies in AAM sector in Canada. Finally, the importance of safety and compliance education was emphasized, with tailored training programs aimed at building a culture of safety across all stakeholders, including industry and regulatory bodies. These educational efforts are crucial for equipping participants with the expertise required to manage evolving risks effectively.

The strategic themes, organized according to AML phases, ensure a logical progression for the industry. At the foundational level, low-risk operations focus on establishing core capabilities, regulatory alignment, and public engagement. Medium-risk operations expand market applications and technological integration, while high-risk operations prioritize advanced collaboration, comprehensive safety protocols, and complete autonomy. This phased approach ensures that foundational capabilities are solidified before progressing toward more complex, high-density operations. The result is a structured framework that aligns with Canada's regulatory, technological, and societal conditions, providing a robust basis for finalizing a comprehensive and actionable sectoral roadmap for the AAM sector in Canada.

### **5.6.2 Methodological Results: Towards a New Sectoral Strategic Roadmapping Framework**

The integration of the Delphi method and the S-PLAN framework resulted in a comprehensive and adaptive methodology for addressing the complexities of Canada's AAM sector. By combining Delphi's iterative, expert-driven approach with the structured and phased design of S-PLAN, this framework effectively prioritized strategic challenges and opportunities while ensuring alignment with Advanced Air Mobility Maturity Levels (AMLs).

The Delphi method played a pivotal role in gathering diverse expert perspectives, capturing nuanced insights across regulatory, technological, and societal dimensions. Its iterative nature

allowed for the refinement of these perspectives, ensuring the inclusion of well-rounded and actionable priorities. These insights were directly integrated into the S-PLAN framework, which provided a structured mechanism to organize and operationalize them within a phased roadmap. The S-PLAN framework ensured that strategic topics identified through Delphi, such as regulatory agility, market expansion, and public acceptance, were systematically aligned with Canada's unique context and long-term objectives.

This iterative and complementary integration resulted in a roadmap that balances immediate needs with future growth opportunities, offering stakeholders a robust foundation for decision-making. The framework not only reflects expert-driven insights but also maintains flexibility, enabling ongoing adaptation to technological advancements and evolving regulatory landscapes. The methodological integration underscores its potential as a replicable model for strategic planning in other emergent and complex sectors.

### **5.6.3 Limitations**

This study recognizes several limitations in the proposed new framework for strategic sectoral roadmapping within the Canadian AAM. These limitations highlight areas for refinement and underscore the need for iterative updates to maintain the framework's relevance in a rapidly evolving context.

The fast-paced evolution of technologies and regulatory frameworks in the AAM and RPAS sectors poses a challenge to the longevity of the study's findings. While the proposed roadmap provides a robust starting point, the dynamic nature of the industry necessitates continual updates to reflect new advancements and policy changes. This volatility underscores the need for ongoing monitoring and adaptation to maintain alignment with emerging trends and sectoral shifts.

The findings and roadmap are tailored specifically to the Canadian context, reflecting the country's unique regulatory environment, geographic conditions, and market characteristics. While the framework provides valuable insights for similar sectors in other regions, adjustments would be required to account for differences in local regulatory, economic, and infrastructural conditions. This context dependency limits the direct applicability of the findings beyond Canada without careful adaptation.

Although efforts were made to ensure a diverse panel of experts representing public, private, and academic sectors, the composition of the panel may still introduce biases. For example, majority opinions (strong signals) could overshadow minority perspectives (weak signals), which are particularly important in rapidly evolving industries (Zhao, Tang, & He, 2024). The reliance on expert consensus, while central to the Delphi method, may limit the framework's ability to capture emerging, different, or unconventional insights that could prove valuable in the future.

Another potential limitation arises from researcher bias during the note-taking process in interviews. The interpretation of expert perspectives could inadvertently introduce errors or misrepresentations, particularly when dealing with complex or nuanced information (von der Gracht, 2012). To mitigate this risk, an objective criterion was established during the interviews to guide the analysis and ensure consistency and neutrality in the data collection process. This structured approach helped reduce subjectivity, providing a more reliable foundation for synthesizing insights across diverse expert contributions.

The iterative nature of the Delphi method, while effective for consensus-building, requires significant time and resources, potentially limiting its responsiveness in fast-changing environments. Moreover, the structured design of the S-PLAN framework, while comprehensive, may lack the flexibility to address unexpected disruptions or paradigm shifts in the industry. For example, unexpected regulatory changes or technological breakthroughs could necessitate significant modifications to the roadmap, underscoring the importance of periodic evaluations and adjustments.

Future research should focus on refining and updating the AAM roadmap as new data and insights become available. Periodic evaluations using both the Delphi method and S-PLAN framework will ensure that the roadmap remains aligned with sectoral developments. Additionally, exploring methods to incorporate minority perspectives within the Delphi process could enrich the diversity of insights and enhance the robustness of the framework.

While the proposed framework provides a valuable tool for guiding the Canadian AAM sector, its long-term success depends on continuous testing, iteration, and stakeholder engagement to address the evolving landscape of this transformative industry.

Furthermore, expanding the application of this methodology to other emergent, complex, and rigidly regulated sectors could test its adaptability and generalizability. By applying the framework

to industries such as autonomous vehicles or renewable energy, researchers can evaluate its utility in addressing cross-sectoral challenges and refining its structure for broader applicability.

## 5.7 Conclusions

This study presents a comprehensive methodology for developing a strategic roadmap for the Canadian RPAS and AAM sectors, combining the Delphi method and the S-PLAN framework. The new roadmapping process was developed and applied in this use case and resulted in a strategic sectoral AAM roadmap based on expert insights, with strategic topics validated through iterative consultation. These topics, organized by AAM Maturity Levels (AMLs), address critical areas such as regulatory flexibility, market development, and workforce training, providing a structured approach to guide the sector's growth.

The findings have important implications for both practice and theory. For Canadian stakeholders, the roadmap offers practical guidance tailored to the country's unique regulatory and technological landscape, supporting immediate decision-making. Internationally, the study provides a model that other nations can adapt to align regulatory development with technological and operational goals in similarly complex sectors. For researchers, the integration of Delphi and S-PLAN demonstrates how iterative, expert-driven consensus-building can be combined with a flexible planning framework to support strategic alignment in sectors where technological and regulatory advancements must move together.

Future research should build on these findings to explore the broader applicability of the proposed methodology. One avenue is to refine and expand the roadmap for the Canadian RPAS and AAM sectors, validating its effectiveness through practical implementation and stakeholder feedback. Developing a detailed roadmap that addresses all stages of sectoral maturity could provide additional insights into the operationalization of strategic topics.

Testing this framework in other countries is another important direction for research. By applying the methodology in diverse regulatory and technological contexts, such as emerging AAM markets or regions with significantly different regulatory environments, researchers can evaluate its adaptability and robustness. This comparative analysis would help identify potential refinements to the framework and ensure its global relevance.

Additionally, the methodology could be applied to other emergent sectors characterized by high levels of complexity and strict regulatory oversight, such as autonomous vehicles, renewable energy systems, or advanced healthcare technologies. Such applications would test whether the framework can effectively support industries undergoing rapid technological evolution and market transformation, ensuring that it remains a versatile tool for addressing multifaceted challenges.

Finally, future studies could focus on assessing the proposed new roadmapping framework's capacity to support high-velocity evolution in emerging sectors. This includes evaluating how well the Delphi and S-PLAN integration handles rapid advancements in technology, regulatory changes, and shifting stakeholder priorities. By validating the framework's ability to adapt to fast-paced environments, researchers can ensure it remains a relevant and valuable tool for strategic planning in dynamic industries.

In conclusion, this research contributes to both practice and academic discourse by presenting a replicable framework that enables strategic alignment among diverse stakeholders. The proposed methodology not only equips Canada to lead in drone delivery and AAM but also provides a foundation that other nations and sectors can adapt to foster growth and innovation. By bridging regulatory, technological, and operational perspectives, this approach supports the safe and sustainable integration of advanced technologies into complex, evolving sector.

**APPENDIX A: SPECIFIC CANADIAN USE CASE: CLOSING THE TECHNOLOGICAL GAPS (SOURCE: DRONE CARGO DELIVERY STUDY (1/2) (FORTH.), NATIONAL SCIENCE LIBRARY - NRC PUBLICATIONS ARCHIVE)**

Category	Technological Gaps Identified	Closing the Gaps
<b>Pilot</b>	Warnings within the CS for operators	Enhanced warning systems within Control Stations (CS) are needed to alert operators of potential risks in real-time, improving situational awareness in complex environments.
	Simulated training tools for operators	Development of scenario-based simulators and operator-specific training tools to refine skills and prepare operators for diverse BVLOS missions.
	Simulated environments (digital twin)	Virtual digital twin environments for realistic training and mission planning, helping operators simulate and practice decision-making for specific operational scenarios.
<b>Product</b>	Safety features impact on RPAS performance	Balancing additional safety features with RPAS performance demands, considering how redundancies and safety improvements might impact operational efficiency.
	Digital data link architecture for C2 Link	Standardization of digital data link architecture for Command and Control (C2) links to ensure stable, secure, and reliable BVLOS communication.
	Mitigation of cybersecurity hazards	Implementation of advanced cybersecurity protocols to prevent unauthorized access to RPAS systems, ensuring safe and secure operations in both public and restricted airspaces.
	End-to-end reliable DAA system	Development of robust Detect and Avoid (DAA) systems that meet all performance requirements, essential for collision avoidance in complex airspace.
	Multirotor vs. fixed-wing RPA for cargo	Analysis of multirotor versus fixed-wing RPAS configurations to optimize performance for short- to medium-distance cargo delivery missions.
	Cold weather operations	Addressing cold-weather challenges through technologies like low-power de-icing systems, ice-phobic coatings, and efficient battery thermal management.
	Urban wind flow modeling	Modeling urban wind patterns to better understand and mitigate the impact on RPAS stability and operational safety in populated areas.
	Noise management near populated areas	Developing noise reduction strategies to minimize RPAS noise impact, supporting public acceptance and regulatory compliance.
<b>Procedures</b>	Remote Identification (Remote ID)	Implementation of standardized Remote ID protocols for real-time RPAS tracking, facilitating accountability and security in BVLOS operations.
	Real-Time Monitoring (RTM)	Real-Time Monitoring capabilities to dynamically oversee RPAS activities, enabling timely adjustments based on situational demands.
	Remote goods delivery methods	Development of effective remote delivery methods to ensure safe and efficient cargo transfer, improving the reliability of drone delivery services.
	In-Time Aviation Safety Management	An adaptable in-time Aviation Safety Management System (SMS) for proactive hazard management in real-time, accommodating the dynamic nature of BVLOS conditions.
	Localization and identity tracking	Advanced tracking systems for precise localization and identification of RPAS in airspace, aiding seamless integration with other air traffic.
	Reliability in hazard identification	Enhanced reliability in hazard identification through predictive analytics, supporting proactive risk mitigation and operational resilience in BVLOS missions.

**APPENDIX B: KEY TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL AREAS OF FOCUS FOR RPAS DEVELOPMENT IN CANADA (SOURCE: DRONE CARGO DELIVERY STUDY (2/2) (FORTH.), NATIONAL SCIENCE LIBRARY - NRC PUBLICATIONS ARCHIVE)**

CATEGORY	IDENTIFIED TECHNOLOGICAL GAPS	SUMMARY OF KEY POINTS NEEDED TO CLOSE THE GAPS	LINK TO THE 3Ps
<b>Technology</b>	1. Vehicle Overview	The variety of vehicle configurations poses technological challenges. Key factors include flight safety and noise.	Product: Development of configurations adapted to specific environments.
	2. Propulsion and Energy	VTOL (Vertical Takeoff and Landing) aircraft require high energy for hovering. Hybrid-electric or hydrogen systems offer future potential but are limited by energy density.	Product: Thermal management, hybrid systems, and integration of alternative fuels (hydrogen, electric).
	3. Autonomy	Autonomous systems (AS) are essential for extending AAM operations but require technological and regulatory maturity, particularly for pilot roles and responsibilities.	Pilot: Simulators and training tools for operators. Procedures: Standards for autonomy and RPAS airspace integration.
	4. Airspace Integration	Effective integration with existing airspace requires standardized intent-sharing protocols and regional adaptation.	Procedures: Remote Identification (Remote ID), integration of U-Space systems.
	5. Safety Management	Predictive safety analysis and incident reporting are necessary for scaling UAM operations and ensuring safety in autonomous systems.	Procedures: Real-time Safety Management Systems (SMS).
	6. Infrastructure	Development of infrastructure, such as vertiports and charging stations, is critical for integration into urban environments and electrical grids.	Product: Design of robust and multifunctional vertiports.
	7. Security	Cybersecurity standards must be adapted for AAM, incorporating AI and machine learning to enhance operational security.	Product: Securing C2 systems and protecting against cyber threats.
	8. Communication, Navigation, Surveillance (CNS)	CNS requirements are underdeveloped; unique solutions are needed for interference-prone urban airspace.	Product: Standardized communication architectures for the C2 link.
	9. Weather Tolerance	Urban microclimates impact AAM stability; high-resolution weather prediction tools are necessary.	Product: Integration of tools for managing climate and thermal risks.
<b>Operations</b>	10a. Environment: Emissions	While some AAM vehicles are zero-emission, lifecycle emissions need to be assessed, especially for electric and sustainable fuel options.	Product: Transition to low-emission technologies (hydrogen, batteries).
	10b. Environment: Noise	Noise reduction is essential; specific standards for urban and rural environments are required, along with adapted measurement methods.	Product: Technical solutions to reduce RPAS noise pollution.
	11. Maintenance	Standardized maintenance protocols are necessary for innovative systems such as hydrogen- or electric-powered vehicles to ensure safety.	Product: Development of protocols for maintaining new technologies.
	12. Safety and Security	UAM safety standards must be harmonized internationally, with emergency response procedures and operational standards.	Procedures: Standardized emergency response procedures.
	13. Infrastructure Interconnection	New infrastructure is needed to support AAM, considering societal and environmental impacts.	Product: Design of interconnected infrastructures (vertiports, charging stations).
	14. Data Protection and Security	Enhanced security measures are needed to protect sensitive data in urban environments.	Product: Implementation of data security protocols.

## APPENDIX C: INTERVIEW GUIDE

Questions / Scenario	1: Strategy directors	2: Industry consultants	3: Government experts	4: Lawmakers in RPAS/AAM
<b>Preliminary formalities</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Have you signed the information and consent form?</li> <li>- Do you agree that I record this interview (this is purely for transcription purposes)?</li> </ul>	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1
<b>Background and experience</b>	Can you tell us a little bit about your background and experience in strategic planning or directing within companies aiming to participate in the drone delivery industry and AAM?	Can you tell us a little bit about your background and experience as a consultant in the drone delivery and advanced air mobility industry?	Can you tell us a little bit about your experience and background in research administration in aeronautics?	Can you tell us a little bit about your background and experience in the field of lawmaking and regulation for Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) and Advanced Air Mobility (AAM)?
<b>Steps to commercialization</b>	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the drone delivery industry? How does this set the stage for the advent of AAM?	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the advanced air mobility industry? How does the drone delivery industry play a role in this process?	What are the steps needed to commercialize drone delivery and advanced air mobility?	In your opinion, what are the steps needed to commercialize the drone delivery industry? How does lawmaking fit into this process?
<b>Challenges and gaps</b>	From your perspective, what are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges that need to be overcome for drone delivery and advanced air mobility to become a reality?	What are some of the key technical, regulatory, ethical, and social challenges in the drone delivery and AAM sectors, based on your consulting experience, for it to become a reality?	What are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges to overcome for advanced air mobility and drone delivery to become common options?	From your perspective, what are the main technological, regulatory, ethical, and social challenges that need to be overcome for drone delivery to become a reality?
<b>Blockers and constraints</b>	Where do you see the most significant blockers or constraints in current drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?	Where do you observe the most significant gaps or shortcomings in the current state of drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?	Where do you see the most significant gaps in the current technologies, regulations, or practices of drone delivery and AAM from a governmental or research perspective?	Where do you see the most significant blockers or constraints in current drone delivery and AAM technologies, regulations, or practices?



Questions / Scenario	1: Strategy directors	2: Industry consultants	3: Government experts	4: Lawmakers in RPAS/AAM
<b>Underestimated challenges</b>	In your experience, have there been instances where companies or organizations underestimated or overlooked certain challenges or gaps in drone delivery or AAM? Could you share such experiences without disclosing confidential information?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1
<b>Importance of collaboration</b>	How important is collaboration between industry, government, and academia in addressing the technological, regulatory, ethical, and social challenges in the drone delivery and AAM industry? What resources are available to support this collaboration?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1
<b>Technology and commercial roadmaps</b>	How do companies in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed?	How do companies in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed in advanced air mobility?	How do organizations in this ecosystem develop their own technology and commercial roadmaps? What trends have you observed in research administration in aeronautics?	How have companies in the drone delivery and AAM industry developed their technological and commercial roadmaps? Can you provide an example?
<b>Future insights and contact</b>	Are there any case studies outside of Canada that could be useful for my future analyses? Would you agree to stay in contact with me to complete a short survey summarizing the main points of our meeting and to receive the results of my work?	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1	Same as Scenario 1

## APPENDIX D: DETAILED SUMMARY OF MEDIUM AND HIGH CONSENSUS LEVEL STRATEGIC THEMES

Interview Section	Theme	Content Analysis	Repetition Count	Expert Group	Consensus Level	Strategic Topics	Tactical Insights	Additional Notes
<b>Steps to Commercialization</b>	Regulatory and Safety Focus	Public sector experts emphasize a regulatory framework that ensures safety and compliance in AAM.	6	Public	High	Align regulatory frameworks with rapid tech advancements.	Implement continuous regulatory training for all stakeholders.	Regular inter-agency meetings help align priorities.
	Workforce and Skill Needs	Both public and private sectors agree on the importance of specialized training in new AAM tech.	5	Both	Medium	Develop workforce training programs to meet evolving sector needs.	Promote cross-training in both tech and regulatory practices.	Leverage existing aeronautics expertise to develop new skills.
	Market Viability	Private sector emphasizes the need for economically viable models and operational readiness in AAM.	5	Private	Medium	Develop market-responsive business models for sustained growth.	Showcase lower risk use cases to boost public and investor confidence.	Increase public campaigns for wider sector acceptance.
	Cost and Efficiency	High consensus on the need for cost-efficient systems and streamlined processes to support growth.	6	Both	High	Streamline certification processes to reduce time and costs.	Standardize low-risk BVLOS operations as a scalable entry model.	Build cost-sharing models for infrastructure with local governments.
<b>Challenges and Gaps</b>	Social Acceptance	High consensus on the need to build public trust and societal acceptance for drones in urban areas.	7	Both	High	Launch public awareness and education initiatives to boost acceptance.	Engage stakeholders through community-based pilot projects.	Use local projects to address public concerns about noise and safety.
	Standards and Interoperability	A focus on standards that ensure safe integration with traditional airspace and systems.	6	Public	High	Advocate for interoperable standards across platforms and regions.	Harmonize standards with international guidelines.	Collaborate with ICAO for unified airspace standards.

Interview Section	Theme	Content Analysis	Repetition Count	Expert Group	Consensus Level	Strategic Topics	Tactical Insights	Additional Notes
<b>Technology and Roadmaps</b>	Infrastructure Gaps	Emphasis on the need for infrastructure and Unmanned Traffic Management (UTM) systems for AAM.	4	Public	Medium	Strengthen infrastructure investments, particularly in UTM and AAM facilities.	Develop partnerships to address low-altitude airspace integration challenges.	Align with low-altitude airspace management standards globally.
	Data and Cybersecurity	Broad concern for robust data security measures and cybersecurity to protect AAM systems.	5	Both	High	Establish cybersecurity protocols for critical AAM infrastructure.	Develop a framework for secure data-sharing across sectors.	Prioritize cybersecurity training for all levels of staff.
<b>Future Insights</b>	Innovation Collaboration	Strong agreement on fostering collaboration between academia, industry, and government for AAM.	6	Both	High	Foster cross-sector partnerships to drive research and innovation.	Develop “sandbox” models for experimental collaboration.	Consider scaling collaborative frameworks to international standards.
	Environmental Sustainability	Emphasis on eco-friendly practices and infrastructure for the AAM sector’s long-term impact.	4	Both	Medium	Promote sustainable technology in all areas of AAM.	Encourage green energy for drone fleets and AAM infrastructure.	Integrate emissions reduction into strategic roadmaps.

## CHAPITRE 6 RÉSULTATS PRATIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES ET DISCUSSION

### 6.1 Résultats pratiques : Contenu du projet de recherche

Les résultats pratiques de cette recherche sont le fruit des phases successives du cadre méthodologique DRM. Ces résultats s'inscrivent principalement dans les étapes d'étude descriptive II et d'étude prescriptive, qui visent à traduire les observations et analyses en thématiques stratégiques applicables au secteur de la mobilité aérienne avancée. La Figure 6.1 rappelle le cadre méthodologique structurant cette recherche.

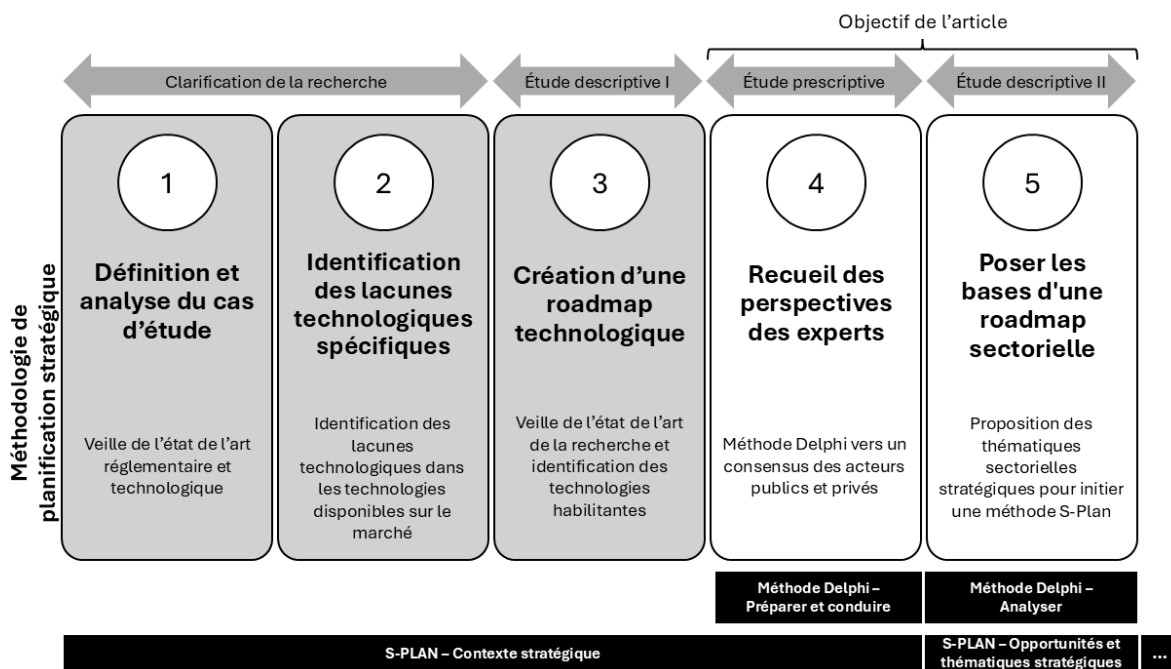


Figure 6.1 : Rappel du cadre méthodologique de planification stratégique sectorielle en 5 étapes

La phase d'étude prescriptive a permis d'approfondir les conclusions des phases précédentes, notamment en validant et en enrichissant les résultats issus des analyses réglementaires et des roadmaps technologiques du secteur. Cette validation a été réalisée grâce à la méthode Delphi adaptée, qui a structuré les contributions d'un panel diversifié d'experts issus des secteurs public et privé. Ces perspectives ont contribué à identifier les défis, les opportunités et les priorités stratégiques pour le développement de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada.

Par la suite, la phase descriptive II s'est appuyée sur ces thématiques pour proposer des axes concrets de planification stratégique. Cette intégration a permis de dégager des pistes pertinentes pour aligner les avancées technologiques, les exigences réglementaires et les attentes sociétales dans un cadre stratégique cohérent.

Les sections suivantes présentent les résultats clés des phases d'analyse. La section 6.1.1 synthétise les données recueillies à travers la méthode Delphi adaptée, en mettant en lumière les consensus et les perspectives complémentaires identifiées sur les thématiques stratégiques. La section 6.1.2 s'appuie sur ces résultats pour proposer des priorités sectorielles contextualisées au cadre canadien, alignées avec les Niveaux de Maturité de la Mobilité Aérienne Avancée (AML) et tenant compte des implications internationales. Ces analyses fournissent une base solide pour guider des initiatives futures, tout en contribuant au développement d'une planification stratégique sectorielle flexible et évolutive.

### **6.1.1 Synthèse des résultats de la méthode Delphi adaptée via un consensus**

La méthode Delphi adaptée a joué un rôle crucial dans la validation et l'approfondissement des thématiques stratégiques identifiées lors des phases préliminaires de la recherche. Grâce à une consultation itérative d'un panel diversifié d'experts, cette méthodologie a permis de structurer un dialogue constructif autour des principaux défis et opportunités du secteur de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM). Chaque entretien a été enregistré afin de garantir une analyse approfondie et une vérification rigoureuse des données recueillies.

Le processus méthodologique s'est déroulé en plusieurs étapes. Tout d'abord, les notes des entretiens ont été compilées dans un classeur centralisé, ce qui a facilité l'analyse thématique. Cette consolidation a permis de mettre en évidence des points récurrents abordés par les experts, tout en différenciant les opinions majoritaires des signaux faibles. Les détails complets de cette analyse, y compris une catégorisation par fréquence des thèmes abordés, sont disponibles en Annexe A de ce mémoire.

Ensuite, une analyse de consensus a été réalisée sur les thématiques identifiées. Ces thématiques ont été classées en trois niveaux : consensus élevé, moyen ou faible. Seules celles présentant un consensus moyen ou élevé ont été retenues pour guider l'établissement des priorités stratégiques,

tandis que les thématiques à faible consensus, bien qu'exclues de l'analyse principale, sont accessibles en Annexe B de ce mémoire. Cette approche a permis de concentrer les efforts sur les priorités les plus largement partagées par les experts.

Les résultats synthétisés dans le tableau correspondant de l'article scientifique, inclus dans le chapitre 5 en Annexe D (voir *Appendix D* à la page 98 de ce mémoire), illustrent les thématiques stratégiques de consensus moyen et élevé. Ce tableau détaille les thématiques en les contextualisant avec des perspectives stratégiques et tactiques, offrant ainsi une vision claire des priorités sectorielles. Par exemple, un consensus élevé a été atteint concernant la nécessité d'un cadre réglementaire agile pour accompagner les avancées technologiques et des initiatives favorisant l'acceptation sociale des drones en milieu urbain. De même, l'importance de renforcer les protocoles de cybersécurité pour protéger les systèmes critiques a été unanimement reconnue. Les consensus moyens, quant à eux, incluent des thèmes comme les infrastructures et les besoins en main-d'œuvre spécialisée, reflétant des priorités importantes mais moins convergentes.

En complément, les thématiques ayant obtenu un faible niveau de consensus, telles que les modèles de financement alternatifs, offrent des pistes de réflexion pour des analyses futures. Bien que secondaires dans le cadre de cette étude, ces perspectives émergentes pourraient enrichir des discussions stratégiques plus ciblées à long terme.

Ces résultats forment une base essentielle pour les propositions détaillées en section 6.1.2. La méthode Delphi a non seulement validé les priorités identifiées mais a également permis de clarifier les points critiques qui nécessiteront une attention particulière lors des prochaines étapes de planification stratégique.

### **6.1.2 Proposition de thématiques stratégiques sectorielles**

Cette étape de la recherche s'inscrit dans la deuxième phase du cadre S-PLAN, consacrée à la sélection des éléments stratégiques essentiels pour structurer une planification sectorielle cohérente et adaptable. S'appuyant sur les résultats approfondis de la méthode Delphi, cette phase a permis d'établir une base solide pour la construction future d'une roadmap stratégique sectorielle. Les contributions des experts ont permis de prioriser et de situer ces thématiques dans le temps, en tenant compte des évolutions technologiques et réglementaires spécifiques au contexte canadien.

Les thématiques stratégiques sectorielles ont été organisées en fonction des Niveaux de Maturité de la Mobilité Aérienne Avancée (AML), une approche inspirée des pratiques internationales. Ces niveaux structurent l'évolution du secteur en trois étapes distinctes, chacune correspondant à des priorités technologiques et réglementaires spécifiques. La première étape, AML 1, couvre la période jusqu'en 2025 et se concentre sur des démonstrations réalisées dans des environnements contrôlés, tels que des bancs d'essai ou des corridors sécurisés. Ces initiatives visent à valider les capacités fondamentales tout en assurant la sécurité opérationnelle de base. La deuxième étape, AML 2, s'étend jusqu'en 2030 et introduit des opérations commerciales préliminaires au sein de corridors temporaires dans l'espace aérien contrôlé. Elle inclut également des démonstrations de grande visibilité, telles que celles organisées lors d'événements internationaux, tout en explorant des environnements opérationnels plus complexes. Enfin, AML 3, qui s'étend jusqu'en 2035, marque le passage à des services commerciaux à grande échelle dans des corridors dédiés, avec une densité opérationnelle croissante et des normes renforcées en matière de sécurité et d'autonomie technologique.

Ces horizons temporels tiennent compte des incertitudes réglementaires croissantes, en particulier après 2030, lorsque les cadres existants devront évoluer pour répondre à la complexité accrue des opérations et aux exigences nouvelles du secteur. Ces étapes fournissent un cadre temporel réaliste pour aligner les priorités stratégiques avec les développements réglementaires et technologiques.

Les priorités stratégiques identifiées sont présentées dans le tableau 6 de l'article scientifique (voir *Table 6* à la page 86 de ce mémoire), où elles sont alignées avec les AML et traduites en actions concrètes et jalons progressifs. Cette analyse permet de relier les défis sectoriels identifiés aux étapes pratiques nécessaires pour leur résolution, tout en offrant une vision claire des priorités à court, moyen et long terme.

Les thématiques stratégiques mettent en évidence des enjeux cruciaux pour le secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée. Parmi ces priorités figurent l'agilité réglementaire, qui est essentielle pour accompagner les avancées technologiques rapides tout en garantissant la sécurité, et l'acceptation sociale, qui reste un levier clé pour intégrer ces technologies dans le tissu sociétal à travers des campagnes éducatives et des projets pilotes. En parallèle, l'intégration technologique et l'expansion du marché nécessitent des collaborations renforcées entre acteurs publics, privés et académiques, en particulier pour relever les défis des concepts opérationnels à risque moyen et

élevé. De plus, le développement des infrastructures, la cybersécurité et la mise en place de normes adaptées figurent parmi les priorités stratégiques identifiées pour soutenir la montée en échelle des opérations.

Ces thématiques stratégiques constituent une base essentielle pour des recherches futures et des initiatives stratégiques. Elles offrent également des repères clairs pour évaluer l'impact des futures réglementations sur les opérations BVLOS, tout en garantissant que les priorités sectorielles restent alignées avec les besoins et ambitions du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée. En s'inscrivant dans une perspective internationale, ces propositions démontrent comment une méthodologie rigoureuse peut appuyer efficacement la planification stratégique dans des environnements complexes et fortement réglementés.

### **6.1.3 Impact de la nouvelle proposition de réglementation de Transports Canada pour les opérations BVLOS**

Au cours de cette recherche, Transports Canada a introduit une proposition de réglementation spécifique pour les opérations au-delà de la ligne de portée visuelle (BVLOS), publiée dans la Gazette du Canada, Partie I le 24 juin 2023. Ce projet de réglementation vise à encadrer les opérations des systèmes d'aéronefs télépilotés (RPAS) dans des environnements plus complexes, incluant les missions de livraison de fret, en assurant que ces opérations soient menées de manière sécuritaire et conforme aux standards de l'aviation civile.

La nouvelle réglementation proposée pour les opérations BVLOS introduit plusieurs exigences et standards de sécurité pour les RPAS, comprenant des mesures de gestion du risque adaptées, des exigences pour la communication et la gestion de la trajectoire en temps réel, et des systèmes de détection et d'évitement des obstacles. Cette initiative réglementaire reconnaît l'importance croissante de l'aviation autonome et cherche à encadrer les innovations technologiques dans un cadre sécuritaire, tout en facilitant l'intégration progressive des RPAS dans l'espace aérien canadien.

Cette réglementation a eu un impact direct sur notre démarche de recherche en influençant la conception de notre roadmap technologique faite dans le cadre du rapport 2 du CNRC. Les ajustements apportés à notre méthodologie ont permis de prendre en compte ces nouvelles exigences, démontrant ainsi la flexibilité de notre approche face aux changements réglementaires.



En intégrant cette évolution dans le processus de planification stratégique sectorielle, notre méthodologie a démontré qu'elle pouvait répondre efficacement aux fluctuations et aux exigences réglementaires sans compromettre la cohérence de la démarche.

Cette adaptation illustre la pertinence de notre cadre méthodologique qui repose sur une capacité d'ajustement aux nouvelles réalités du secteur. La publication dans la Gazette du Canada a permis non seulement de renforcer l'importance de la conformité réglementaire dans le processus de planification stratégique sectorielle, mais a également mis en évidence la nécessité d'une roadmap adaptable et évolutive pour le développement durable de la Mobilité Aérienne Avancée au Canada.

## **6.2 Résultats méthodologiques : Contenant du projet de recherche**

Dans ce chapitre, nous explorons les aspects méthodologiques spécifiques qui ont influencé la conduite de cette recherche, ainsi que certains résultats complémentaires qui, bien qu'ils n'entrent pas directement dans les objectifs initiaux du projet, apportent un éclairage pertinent pour le développement futur du secteur du AAM au Canada. En particulier, nous abordons l'adaptabilité de la méthodologie employée, ainsi que les impacts des évolutions réglementaires récentes sur notre démarche.

### **6.2.1 Méthodologie de planification stratégique sectorielle proposée pour des environnements fortement réglementés**

La méthodologie de recherche en cinq étapes, articulée autour de la DRM et enrichie par l'utilisation des méthodes Delphi et S-PLAN, a démontré une grande flexibilité dans un contexte de changements rapides. En effet, l'industrie des RPAS est marquée par une évolution constante des technologies et des cadres réglementaires, nécessitant une approche de recherche qui puisse s'ajuster aux nouvelles réalités du secteur.

L'un des points les plus marquants a été la nécessité de revoir certains aspects de la roadmap technologique à la suite de la publication par Transports Canada de nouvelles propositions de réglementations. Ce changement réglementaire, bien qu'initialement perçu comme un obstacle, a permis de tester la flexibilité du processus de roadmapping et de démontrer comment notre méthodologie peut intégrer de nouvelles exigences en cours de recherche. Cet aspect de la

recherche montre que le cadre proposé peut être utilisé dans d'autres contextes soumis à des évolutions rapides, renforçant ainsi sa pertinence et son applicabilité pour des feuilles de route sectorielles dynamiques.

### **6.2.2 Complémentarité méthodologique : Intégration des approches « *bottom-up* » et « *top-down* »,**

L'un des aspects les plus remarquables de cette recherche réside dans la complémentarité entre la méthode Delphi et le cadre S-PLAN. Bien que ces deux méthodologies contribuent au développement d'une roadmap sectorielle, leurs orientations distinctes – ascendante et descendante – apportent des forces uniques qui enrichissent le processus global de planification stratégique.

La méthode Delphi, avec son orientation ascendante, excelle dans la collecte d'informations détaillées et issues d'experts grâce à des consultations itératives. Cette approche commence au niveau opérationnel, en tirant parti des connaissances contextuelles d'un groupe diversifié d'experts pour identifier les défis, opportunités et thématiques stratégiques. Elle garantit que les complexités nuancées et concrètes sont capturées, établissant une base pour une roadmap reflétant les expériences vécues par les parties prenantes dans les domaines réglementaires, technologiques et opérationnels.

En revanche, le cadre S-PLAN adopte une perspective descendante, axée sur la structuration du processus de développement à partir d'objectifs globaux vers des voies de mise en œuvre détaillées. Son design par étapes permet un alignement stratégique des priorités avec des objectifs à long terme, tels que la conformité réglementaire, la préparation du marché et la scalabilité technologique. En appliquant une structure systématique, S-PLAN synthétise les perspectives d'experts recueillies par Delphi en stratégies exploitables alignées à la fois sur les priorités nationales et les tendances internationales.

La complémentarité réside dans la manière dont ces approches équilibrent les perspectives détaillées de terrain avec des objectifs stratégiques globaux. Delphi affine et valide les priorités sectorielles spécifiques, tandis que S-PLAN organise ces priorités dans un cadre cohérent. Ensemble, elles offrent une méthodologie qui comble l'écart entre les connaissances granulaires des experts et la planification systémique à long terme.

Cette approche duale répond à un défi clé de la planification stratégique : le besoin d'adaptabilité et d'alignement. En intégrant les informations « *bottom-up* » de Delphi avec la perspective structurée et « *top-down* » de S-PLAN, la roadmap devient un outil robuste pour orienter des secteurs complexes et multidimensionnels comme les RPAS et la Mobilité Aérienne Avancée. Cette intégration renforce non seulement l'efficacité de la roadmap, mais propose également un modèle reproductible pour d'autres industries confrontées à des défis similaires.

### **6.2.3 Réflexions méthodologiques : Surprises et apprentissages**

Cette recherche a été marquée par des surprises méthodologiques qui méritent une attention particulière. En tant que chercheur, l'expérience d'intégrer Delphi et S-PLAN a offert des perspectives inattendues, non seulement sur le processus de recherche, mais aussi sur la dynamique entre les parties prenantes et l'évolution des priorités stratégiques.

L'une des surprises majeures réside dans la richesse des données qualitatives recueillies lors des entretiens Delphi. Alors que l'objectif initial était de valider des thématiques préalablement identifiées, les échanges ont souvent permis de révéler des enjeux insoupçonnés, tels que la gestion des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie des drones ou les modèles alternatifs de financement pour les infrastructures. Ces contributions inattendues ont enrichi la planification stratégique et ont souligné la pertinence de conserver une posture ouverte et flexible tout au long du processus.

Un autre apprentissage clé concerne la transition d'une posture technologique initiale, axée sur les solutions, vers une approche stratégique beaucoup plus large et contextuelle. Ce basculement a nécessité un effort continu pour équilibrer les perspectives « *bottom-up* » des experts avec les exigences « *top-down* » d'une planification rigoureuse. Cette double approche, bien que méthodologiquement exigeante, a démontré sa capacité à produire des résultats robustes et adaptatifs.

Enfin, l'expérience a mis en lumière l'exigence de temps et de ressources qu'implique une telle méthodologie. La nature itérative et multidisciplinaire de cette recherche demande une immersion approfondie dans le secteur étudié, une capacité d'écoute active et une expertise dans la traduction des insights en priorités stratégiques. Ces exigences limitent peut-être l'applicabilité immédiate de

la méthodologie à d'autres secteurs, mais elles renforcent également sa pertinence et son efficacité pour des contextes complexes et rigides comme celui de l'AAM.

Ces réflexions méthodologiques offrent un point de départ pour enrichir les discussions dans le chapitre suivant, en mettant en lumière non seulement les forces de cette méthodologie, mais aussi ses implications pour la recherche future et la communauté scientifique.

### **6.3 Limites de la recherche**

Cette recherche, bien qu'innovante et riche en contributions, n'est pas exempte de limites méthodologiques, contextuelles et pratiques. En rassemblant les éléments critiques qui traversent le mémoire, cette section vise à offrir une vue d'ensemble des aspects qui ont influencé la portée et la généralisation des résultats.

La méthodologie proposée, intégrant Delphi, S-PLAN et DRM, s'est révélée exigeante en termes de temps et de ressources. Le caractère itératif et multidimensionnel des étapes de recherche a nécessité une immersion approfondie dans les réalités du secteur AAM, ainsi qu'une forte adaptabilité pour répondre aux évolutions réglementaires et technologiques imprévues. Si cette flexibilité méthodologique est l'une des forces de l'approche, elle introduit également une contrainte pratique : son applicabilité à d'autres secteurs peut être limitée par le temps requis pour maîtriser les spécificités d'une industrie et établir des relations avec les parties prenantes.

Bien que le panel Delphi ait été soigneusement composé pour inclure une diversité de perspectives (secteurs public, privé et académique), des limites subsistent quant à sa représentativité. Par exemple, les experts internationaux étaient sous-représentés, ce qui pourrait restreindre la portée des conclusions au contexte canadien. De plus, les mécanismes de consensus, bien qu'utiles pour consolider les priorités stratégiques, risquent de minimiser l'importance des signaux faibles ou des perspectives divergentes, qui peuvent pourtant s'avérer cruciaux dans un secteur émergent et en évolution rapide.

L'intégration des nouvelles propositions de Transports Canada pour les opérations BVLOS dans le processus de recherche a illustré la capacité d'adaptation de la méthodologie. Cependant, cette dépendance à des cadres réglementaires en constante évolution pose une limite à la généralisation

des résultats. Les roadmaps et priorités stratégiques identifiées sont intrinsèquement liées aux exigences spécifiques du contexte canadien et pourraient nécessiter des ajustements significatifs pour être transposées dans d'autres juridictions.

Seules les deux premières étapes du cadre S-PLAN ont été explorées dans cette recherche, laissant les étapes 3 (exploration thématique) et 4 (accord sur des trajectoires stratégiques) à des travaux futurs. Cette limitation méthodologique, bien qu'intentionnelle pour s'aligner sur les objectifs de la recherche, réduit la portée opérationnelle immédiate des résultats obtenus. Les contributions restent principalement exploratoires, nécessitant des développements ultérieurs pour aboutir à des feuilles de route entièrement réalisables et validées par les parties prenantes.

En s'inscrivant dans une logique de « *theory building* », cette recherche a adopté une approche qualitative adaptée à l'exploration de thématiques émergentes dans un secteur complexe et en évolution rapide. Bien que cette orientation permette de poser les bases d'un cadre méthodologique innovant, elle limite la validation des résultats à une phase exploratoire. Une approche complémentaire, incluant des études quantitatives ou des enquêtes à plus grande échelle, pourrait contribuer à un « *theory testing* » pour confirmer et affiner les conclusions obtenues.

Par ailleurs, l'utilisation de méthodes qualitatives comme la méthode Delphi adaptée repose sur un échantillon restreint et sur des itérations avec des experts sélectionnés, ce qui favorise une compréhension approfondie mais contextuellement limitée des problématiques sectorielles. Si cette stratégie est particulièrement utile pour dégager des priorités stratégiques et capter des signaux faibles, elle présente le risque de manquer de généralisabilité, surtout dans un secteur marqué par des dynamiques internationales variées. Ces limites appellent à une diversification des outils et des approches pour enrichir et valider les résultats à l'avenir.

Le choix de la Mobilité Aérienne Avancée comme secteur d'étude, bien qu'idéal pour démontrer l'applicabilité de la méthodologie dans un environnement complexe et fortement réglementé, introduit des contraintes. La recherche exigeait une connaissance préalable approfondie des technologies RPAS, des cadres réglementaires et des dynamiques industrielles. Cette spécialisation limite la capacité d'un chercheur unique à répliquer directement l'approche dans d'autres secteurs sans un investissement substantiel en temps et en apprentissage contextuel.

Enfin, la réussite de cette recherche repose sur une approche multidisciplinaire combinant des perspectives technologiques, réglementaires, économiques et sociales. Si cette interdisciplinarité est essentielle pour traiter des problématiques complexes, elle peut également représenter une barrière pour des chercheurs ou des équipes moins familiarisées avec certains domaines. Cette exigence méthodologique pourrait limiter l'adoption généralisée de l'approche dans des contextes académiques ou pratiques où les ressources ou l'expertise sont restreintes.

Ces limites offrent des perspectives essentielles pour orienter les recherches futures. Elles soulignent l'importance de poursuivre l'exploration méthodologique en approfondissant les étapes non couvertes du cadre S-PLAN, en élargissant la diversité des panels d'experts, et en testant la transférabilité de l'approche dans d'autres secteurs et contextes géographiques. Ces réflexions alimenteront les recommandations et les conclusions présentées dans le chapitre suivant, en mettant en lumière les apports de cette recherche ainsi que les opportunités pour élargir son impact.

## CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

### 7.1 Contributions pratiques et méthodologiques

Cette recherche présente une double valeur pour les praticiens et les théoriciens en abordant à la fois les défis spécifiques du secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée (AAM) et les perspectives internationales. En mobilisant un cadre méthodologique robuste combinant le DRM, la méthode Delphi et le cadre S-PLAN, elle offre une approche innovante pour structurer les priorités stratégiques dans des environnements complexes et fortement réglementés.

Les contributions directes de cette recherche incluent deux rapports remis au CNRC, qui ont permis de poser les bases de la roadmap sectorielle, ainsi qu'un article scientifique soumis au journal *Technological Forecasting and Social Change* présentement en révision par le comité de lecture. Ces livrables offrent à la fois une perspective théorique et une méthodologie opérationnelle, répondant aux besoins stratégiques des acteurs publics et privés du secteur AAM. Ces travaux constituent des éléments tangibles qui enrichissent la compréhension des dynamiques entre technologie, réglementation et acceptabilité sociale dans un contexte fortement réglementé.

Pour les décideurs publics canadiens, cette recherche constitue une ressource clé pour comprendre et anticiper les besoins des industriels et des opérateurs dans le secteur AAM. Elle fournit des orientations concrètes pour adapter les cadres réglementaires aux avancées technologiques, en maintenant un équilibre entre innovation et sécurité publique. Par exemple, l'accent mis sur l'intégration des systèmes BVLOS dans l'espace aérien civil, ainsi que sur la standardisation des processus de certification, répond directement aux défis auxquels Transports Canada et NAV Canada sont confrontés.

Pour les acteurs privés, la recherche offre une feuille de route stratégique sectorielle qui aligne les efforts de développement technologique sur les attentes des régulateurs et du marché. Les thématiques stratégiques identifiées, telles que la cybersécurité et le développement d'infrastructures multifonctionnelles, apportent des pistes concrètes pour positionner les entreprises canadiennes comme des leaders dans un secteur en pleine émergence. En outre, cette méthodologie favorise un dialogue structuré avec les régulateurs, facilitant ainsi une collaboration intersectorielle essentielle pour le développement durable du secteur.

Au-delà du contexte canadien, cette recherche propose un modèle adaptable pour d'autres secteurs ou régions confrontés à des défis similaires. Les praticiens internationaux, notamment dans les secteurs émergents comme les véhicules autonomes ou les énergies renouvelables, peuvent tirer parti des enseignements de cette recherche pour structurer leurs propres initiatives de planification stratégique. L'approche hybride combinant Delphi et S-PLAN démontre sa pertinence pour naviguer dans des environnements caractérisés par des interdépendances complexes entre technologie, réglementation et acceptabilité sociale.

Sur le plan académique, cette recherche enrichit la littérature sur la planification stratégique sectorielle en proposant une méthode intégrée et multidimensionnelle. En contextualisant et en appliquant les travaux de Phaal, Farrukh et Probert (2010) dans un secteur hautement réglementé, elle confirme la nécessité d'adapter les cadres de roadmapping stratégique aux spécificités des industries émergentes. De plus, elle démontre comment une combinaison méthodologique peut dépasser les limites des approches isolées, souvent centrées sur des perspectives unidimensionnelles.

L'aspect novateur réside dans la structuration d'un dialogue méthodique entre parties prenantes, favorisant une co-crédation de solutions stratégiques adaptées aux contextes dynamiques. Cela offre aux théoriciens une base solide pour développer des recherches futures sur les interactions entre technologies émergentes, réglementation et collaboration intersectorielle.

L'une des forces de cette recherche réside dans sa capacité à équilibrer les besoins et les attentes des secteurs public et privé. Du côté public, elle met en avant des outils pratiques pour adapter les cadres réglementaires et encourager l'innovation tout en assurant la sécurité et la conformité. Du côté privé, elle soutient les entreprises en identifiant des opportunités stratégiques pour se positionner dans un marché concurrentiel et en mutation rapide.

En bref, cette recherche constitue un apport significatif à la fois pour les décideurs, les industriels et la communauté scientifique. Son contenu – les thématiques stratégiques et la roadmap sectorielle – ainsi que son contenant méthodologique – l'intégration de Delphi et de S-PLAN dans le cadre DRM – offrent des solutions concrètes et une méthodologie adaptable pour répondre aux défis complexes des secteurs émergents. Ces contributions s'inscrivent dans une perspective d'impact à



long terme, tant pour le développement du secteur AAM que pour la progression des connaissances dans le domaine de la planification stratégique sectorielle.

## **7.2 Réponses aux questions de recherche**

La première question de recherche portait sur la conception d'une méthodologie adaptée aux environnements fortement réglementés. Les résultats montrent que l'utilisation combinée de la méthode Delphi et du cadre S-PLAN, intégrée dans le DRM, permet de structurer une planification sectorielle en alignant les perspectives des parties prenantes publiques et privées. Cette approche garantit une analyse cohérente et approfondie des thématiques stratégiques en tenant compte des dimensions technologiques, réglementaires, économiques, sociales et infrastructurelles.

L'application de cette méthodologie au secteur canadien de la Mobilité Aérienne Avancée a permis de répondre à la deuxième question de recherche. En contextualisant les cadres méthodologiques dans un environnement fortement réglementé, les résultats ont démontré leur pertinence pour identifier et prioriser les thématiques stratégiques qui freinent l'émergence du secteur. Les travaux réalisés ont mis en lumière des défis spécifiques, tels que le manque de normes harmonisées pour les opérations au-delà de la ligne de vue (BVLOS) et la complexité des processus de certification, tout en fournissant des bases solides pour une collaboration intersectorielle entre les acteurs publics et privés.

Les résultats obtenus montrent également que cette méthodologie peut servir d'outil d'alignement stratégique en structurant les priorités et en favorisant un dialogue constructif entre les parties prenantes. Ce dialogue est essentiel pour surmonter les tensions entre innovation technologique et exigences réglementaires, contribuant ainsi à l'établissement de conditions favorables pour le développement du secteur AAM au Canada.

En ce qui concerne la troisième question de recherche, l'application pilote de cette méthodologie dans le contexte canadien a permis de valider son efficacité à travers des résultats concrets. La proposition de thématiques stratégiques clés, combinée à une roadmap technologique préliminaire, offre aux décideurs des outils structurés pour guider leurs efforts de développement. Ces thématiques incluent, entre autres, la standardisation des systèmes de communication, l'intégration des RPAS dans l'espace aérien civil, et le développement d'infrastructures adaptées.

Les retombées pratiques de cette recherche montrent également que l'approche proposée peut s'adapter à d'autres secteurs caractérisés par des environnements complexes et fortement réglementés, comme la santé ou l'énergie renouvelable. Cela souligne la transférabilité et la flexibilité de cette méthodologie dans des contextes variés.

### 7.3 Recommandations pour les recherches futures

Le développement méthodologique et les résultats présentés dans cette recherche ouvrent des perspectives prometteuses pour la planification stratégique sectorielle dans des environnements fortement réglementés. Cependant, plusieurs axes d'approfondissement et de complémentarité méritent d'être explorés afin de maximiser l'impact et l'applicabilité de cette méthodologie, tout en adressant les limites identifiées précédemment.

Une priorité pour les travaux futurs serait de finaliser et d'élargir les étapes non couvertes du cadre S-PLAN, notamment l'exploration thématique et l'accord sur des trajectoires stratégiques. Ces étapes, essentielles pour transformer les thématiques identifiées en actions concrètes, pourraient bénéficier d'une validation plus approfondie auprès des parties prenantes. Une attention particulière devra être portée à la question du leadership dans l'établissement de la roadmap sectorielle. Ce processus complexe pourrait nécessiter une collaboration équilibrée entre les agences gouvernementales, comme Transports Canada, pour assurer un cadre réglementaire clair et stable, et les acteurs industriels, qui apporteraient des perspectives techniques et une compréhension approfondie des dynamiques du marché. Cette synergie permettrait de conjuguer des approches « *market-pull* » et « *technology-push* », garantissant ainsi une intégration harmonieuse des innovations tout en répondant aux besoins socio-économiques. En outre, cette démarche collaborative offrirait une flexibilité accrue pour s'adapter aux évolutions technologiques et réglementaires internationales, renforçant l'impact des roadmaps stratégiques sur le long terme.

L'approche méthodologique pourrait également être enrichie par des études comparatives internationales. Analyser comment d'autres pays ou régions gèrent les défis de l'intégration des RPAS dans leurs espaces aériens offrirait des perspectives nouvelles pour ajuster et affiner la méthodologie. Ces comparaisons permettraient d'évaluer la robustesse de l'approche proposée face

à des contextes culturels, économiques et réglementaires variés, tout en identifiant des pratiques exemplaires transférables.

Une comparaison avec d'autres études canadiennes pourrait offrir des perspectives complémentaires pour évaluer et ajuster la méthodologie proposée dans ce mémoire. Par exemple, la feuille de route 2035 développée par le CRIAQ (2022) met en avant des priorités similaires, telles que l'importance des collaborations intersectorielles et l'harmonisation réglementaire, pour accélérer l'innovation dans le secteur. Toutefois, la méthodologie hybride employée dans cette recherche, combinant approches « bottom-up » et « top-down », se distingue par son focus opérationnel et ses interactions directes avec les parties prenantes. Explorer ces parallèles et divergences permettrait de mieux positionner la méthodologie dans le paysage canadien, tout en identifiant des synergies potentielles pour renforcer l'impact des initiatives futures.

Une recommandation essentielle serait d'élargir les applications de la méthodologie proposée à des secteurs partageant des caractéristiques similaires, tels que la gestion des énergies renouvelables ou les véhicules autonomes. Ces secteurs pourraient offrir des opportunités pour tester et affiner la transférabilité de l'approche développée. En outre, un focus particulier sur l'acceptabilité sociale, y compris l'analyse des perceptions publiques et l'élaboration de stratégies de sensibilisation, serait crucial pour soutenir l'intégration des technologies dans des contextes sociétaux divers. Enfin, le développement d'un guide pratique pour les praticiens, décrivant étape par étape l'utilisation du cadre méthodologique proposé, faciliterait l'adoption et la mise en œuvre des recommandations dans des environnements industriels et réglementaires variés.

Un autre axe de recherche concerne l'intégration de méthodologies complémentaires, telles que la modélisation prédictive ou les scénarios prospectifs, pour anticiper les impacts à long terme des choix stratégiques. Ces outils pourraient renforcer la capacité des roadmaps à s'adapter à des environnements en évolution rapide, tout en offrant des perspectives plus nuancées sur les incertitudes sectorielles.

L'acceptabilité sociale, un enjeu clé pour l'adoption des technologies AAM, mérite également une attention particulière. Bien que cette dimension ait été abordée dans le cadre de la méthode Delphi, des études spécifiques axées sur les perceptions publiques et les impacts sociétaux offriraient des *insights* précieux pour concevoir des stratégies d'engagement plus efficaces. Ces recherches

pourraient inclure des analyses qualitatives approfondies des attitudes, des attentes et des préoccupations des communautés touchées.

Enfin, il serait pertinent de développer un guide pratique pour l'implémentation sectorielle de la méthodologie proposée. Ce guide, destiné aux praticiens, traduirait les résultats de cette recherche en étapes opérationnelles, avec des recommandations concrètes pour transformer les thématiques stratégiques en actions alignées sur les priorités sectorielles. Un tel outil faciliterait l'adoption de cette méthodologie par les décideurs publics et privés, tout en maximisant son utilité dans d'autres secteurs caractérisés par des environnements complexes et fortement réglementés.

En poursuivant ces pistes, les recherches futures pourraient non seulement renforcer les bases posées par ce mémoire, mais également élargir l'impact de cette méthodologie dans des contextes variés. Ces efforts contribueraient à affiner les outils de planification stratégique tout en répondant aux besoins des communautés académiques et industrielles à l'échelle nationale et internationale.

## RÉFÉRENCES

- Amutha, C., & al. (2024). Nanotechnology and Governance: Regulatory Framework for Responsible Innovation. Dans S. George, & B. Tawiah, *Nanotechnology in Societal Development* (pp. 481-503). Singapore: Springer.
- Andersen, K., Frederiksen, M., & al. (2020). The strategic responses of start-ups to regulatory constraints in the nascent drone market. *Research Policy*, 49(10). doi:<https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104055>
- Barrios, M., & al. (2021). Consensus in the delphi method: What makes a decision change? *Technological Forecasting and Social Change*, 163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120484>
- Beiderbeck, D., & al. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *Methods X*, 8.
- BIS Research. (2019, March). *Global UAS Traffic Management (UTM) System Market*. Récupéré sur BIS Research - Emerging Technology Market Intelligence: <https://canadianaam.com/wp-content/uploads/2021/05/ES-Global-UAS-Traffic-Management-UTM-Market.pdf>
- Blessing, L., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. London: Springer.
- Blind, K. (2010). The influence of regulations on innovation: A quantitative assessment for OECD countries. *Research Policy*, 41(2), 391-400. doi:<https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.08.008>
- Booz-Allen and Hamilton. (2018). *Urban Air Mobility (UAM) Market Study*. Récupéré sur NTRS - NASA Technical Reports Server: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190001472>
- Borges, S., Cardoso, M., & Castilho, D. (2024). Method for Defining the Automation Level of an eVTOL *Journal of Aerospace Technology and Management*. doi:<https://doi.org/10.1590/jatm.v16.1342>
- Bradfield, R., & al. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 37(8), 795-812. doi:<https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.01.003>
- CAAM. (2020). *Vancouver Advanced Air Mobility White Paper*. Récupéré sur Canadian Advanced Air Mobility Consortium - Learning Hub: <https://canadianaam.com/wp-content/uploads/2020/12/White-Paper-Vancouver-AAM-Fall-2020.pdf>
- CAAM. (2021). *Toronto Advanced Air Mobility White Paper*. Récupéré sur Canadian Advanced Air Mobility Consortium - Learning Hub: <https://canadianaam.com/toronto-white-paper/>
- Chan, K., & al. (2024). Balancing the tradeoff between regulation and innovation for artificial intelligence: An analysis of top-down command and control and bottom-up self-regulatory approaches. *Technology in Society*, 79. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102747>

- Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ). (2022). *Feuille de Route 2035*. Récupéré sur Accélérer les transitions pour une mobilité aérienne résiliente et durable: <https://www.criaq.aero/feuille-de-route-2035/>
- Ebneyamini, S. (2022). Towards Developing a Framework for Conducting Management Studies Using Design Research Methodology. *International Journal of Qualitative Methods*, 21. doi:<https://doi.org/10.1177/16094069221112245>
- Federal Aviation Administration (FAA). (2023). *Advanced Air Mobility (AAM) Implementation Plan*. Récupéré sur Federal Aviation Administration - Files: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/AAM-I28-Implementation-Plan.pdf>
- Floridi, L., & al. (2018). AI4People — An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds & Machines*, 28(4), 689–707. doi:<https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Food and Drug Administration (FDA). (2023). *Qualification of medical device development tools*. Récupéré sur U.S. Food and Drug Administration: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/qualification-medical-device-development-tools>
- Ford, C. (2021). Making Regulation Robust in the Innovation Era. *Berkeley Technology Law Journal*, 29. doi:Ford, Cristie L., Making Regulation Robust in the Innovation Era (May 4, 2021). [chapter sub nom "Innovation and Regulatory Agencies"] in Martino Maggetti, Fabrizio Di Mascio & Alessandro Natalini, eds., Research Handbook on Regulatory Authorities (Edward
- Fu, M., & al. (2019). Exploring Preferences for Transportation Modes in an Urban Air Mobility Environment: Munich Case Study. *Journal of the Transportation Research Board*, 2673(10). doi:<https://doi.org/10.1177/036119811984385>
- Gene, R., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375. doi:[https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7)
- Geum, Y., Farrukh, C., & Lee, S. (2023). An integrated framework for assessing the technology roadmapping process from multiple perspectives: The case at the sector level. *Journal of Engineering and Technology Management*, 67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2023.101732>
- Goodrich, K. H. (2021). *A UML-Based Approach to Modeling Advanced Air Mobility Operations*. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/>: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205010189/downloads/UML%20Paper%20SciTech%202021.pdf>
- Gössling, S., & Humpe, A. (2024). Net-zero aviation: Transition barriers and radical climate policy design implications. *Science of The Total Environment*, 912. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169107>

- Government of Canada. (2022, March). *Justice Laws Website - Canadian Aviation Regulations (SOR/96-433)*. Consulté le March 2022, sur <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-96-433/FullText.html#s-900.01>
- Government of Canada. (2023, June). *Canada Gazette, Part I, Volume 157, Number 25: Regulations Amending the Canadian Aviation Regulations (RPAS – Beyond Visual Line-of-Sight and Other Operations)*. Récupéré sur Canada Gazette - Publications - Part I: Vol. 157 (2023): <https://canadagazette.gc.ca/rp-pr/p1/2023/2023-06-24/html/reg6-eng.html>
- Henderson, I. (2022). Aviation safety regulations for unmanned aircraft operations: Perspectives from users. *Transport Policy*, 125, 192-206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.06.006>
- Hwang, D. B. (2021). Design Principles for Additive Manufacturing: Leveraging Crowdsourced Design Repositories. *J. Mech. Des.*, 143(7). doi:<https://doi.org/10.1115/1.4050873>
- IFAR. (2023). *Publications*. Récupéré sur International Forum for Aviation Research: <https://ifar.aero/about-us/publications>
- IFAR. (2023). *Publications - SCIENTIFIC ASSESSMENT FOR URBAN AIR MOBILITY (UAM)*. Récupéré sur International Forum for Aviation Research: <https://ifar.aero/about-us/publications>
- JARUS. (2019, March 06). *JAR doc 06 SORA (package)*. Récupéré sur <http://jarus-rpas.org/content/jar-doc-06-sora-package>
- Jittrapirom, P. M. (2020). Future implementation of Mobility as a Service (MaaS): Results of an international Delphi study. *Travel Behaviour and Society*, 281-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2018.12.004>
- Kasliwal, A., Furbush, N., Gawron, J., & al. (2019). Role of flying cars in sustainable mobility. *Nature Communications*, 10, 1555. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-019-09426-0>
- Kluge, U., Ringbeck, J., & Spinler, S. (2020). Door-to-door travel in 2035 – A Delphi study. *Technological Forecasting and Social Change*, 157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120096>
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(5), 467-482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Leyppoldt, L. (2024). The hydrogen field in 2035: A Delphi study forecasting dominant technology bundles. *Technological Forecasting and Social Change*, 207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123593>
- IfM Engage - University of Cambridge. (2021). *STRATEGIC ROADMAP TEMPLATE*. Récupéré sur IfM Approach: <https://engage.ifm.eng.cam.ac.uk/roadmapping-templates/>
- Liimatainen, H., & al. (2014). Decarbonizing road freight in the future — Detailed scenarios of the carbon emissions of Finnish road freight transport in 2030 using a Delphi method approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 177-191. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.001>

- Lind, J. (2015). Boeing's Global Enterprise Technology Process. *Research-Technology Management*, 49(5), 36-42. doi:<https://doi.org/10.1080/08956308.2006.11657396>
- Madusanka, N., & al. (2022). The Legal Frameworks Governing Unmanned Aerial Vehicles. *Interdisciplinary Studie in Society, Law, and Politics*, 1(1), 39-48. doi:<https://doi.org/10.61838/kman.isslp.1.1.6>
- McKinsey&Company. (2018, November). *URBAN AIRMOBILITY (UAM) MARKET STUDY*. Récupéré sur NTRS - NASA Technical Reports Server: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190002046/downloads/20190002046.pdf>
- Melander, L., & al. (2019). Future goods transport in Sweden 2050: Using a Delphi-based scenario analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 178-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.019>
- Miller, K., & Waller, H. (2003). Scenarios, Real Options and Integrated Risk Management. *Long Range Planning*, 36(1), 93-107. doi:[https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(02\)00205-4](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(02)00205-4)
- Nakamura, H., & Kajikawa, Y. (2018). Regulation and innovation: How should small unmanned aerial vehicles be regulated? *Technological Forecasting and Social Change*, 128, 262-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.015>
- NASA. (2022). *NASA's MBSE Approach for Advanced Air Mobility*. Récupéré sur NTRS - NASA Technical Reports Server: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20220003085>
- Nathan, C. (2014). Regulating Disruptive Innovation. *Berkeley Technology Law Journal*, 29. doi:Cortez, Nathan, Regulating Disruptive Innovation (May 12, 2014). Berkeley Technology Law Journal, Vol. 29, 2014, SMU Dedman School of Law Legal Studies Research Paper No. 137, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2436065> or <http://dx.doi.org/10.21>
- National Research Council Canada. (2024). *Programs - Integrated Aerial Mobility program*. Récupéré sur National Research Council Canada - Research and development: <https://nrc.canada.ca/en/research-development/research-collaboration/programs/integrated-aerial-mobility-program>
- National Research Council Canada. (Forth.). *Drone Cargo Delivery Study (1/2) – Canadian Regulatory Framework and Requirements Assessment*. Récupéré sur National Science Library - NRC Publications Archive: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/home/>
- National Research Council Canada. (Forth.). *Drone Cargo Delivery Study (2/2) – Technical Gaps Assessment and Roadmapping*. Récupéré sur National Science Library - NRC Publications Archive: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/home/>
- NAV CANADA. (2023, December). *RPAS Traffic Management (RTM) System: Concept of Operations*. Récupéré sur NAV CANADA: <https://www.navcanada.ca/en/rpas-conops.pdf>



- Nelson, T. (2017). Redesigning a 20th century regulatory framework to deliver 21st century energy technology. *Journal of Bioeconomics*, 19, 147-164. doi:<https://doi.org/10.1007/s10818-016-9216-9>
- Nikolaev, M., & Fortin, C. (2022). The emergence approach to design decision making in innovative complex engineering systems. *AIP Conference Proceedings*, 2559(1). doi:<https://doi.org/10.1063/5.0099043>
- Okoli, C., & Pawlowski, S. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- Park, H., Phaal, R., & al. (2020). Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119965>
- Phaal, R., & al. (2004). *Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution* (Vol. 1-2). Technological Forecasting and Social Change. doi:[https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2007). Strategic Roadmapping: A Workshop-based Approach for Identifying and Exploring Strategic Issues and Opportunities. *Engineering Management Journal*, 19(1), 3-12. doi:[10.1080/10429247.2007.11431716](https://doi.org/10.1080/10429247.2007.11431716)
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2010). *Roadmapping for strategy and innovation: Aligning technology and markets in a dynamic world*. Cambridge: University of Cambridge Institute for Manufacturing.
- Pierre, C., & al. (2024). Beyond the “bottom-up” and “top-down” controversy: A methodological inquiry into hybrid modeling methods for hydrogen supply chains. *International Journal of Production Economics*, 268. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109091>
- Ranchordas, S., & Vinci, V. (2024). Regulatory sandboxes: Evolution, effectiveness, and implications. *Italian Journal of Public Law*, 1, 30. doi:<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4696442>
- Roca, J., Vaishnav, P., & Morgan, G. (2021). Technology Forgiveness: Why emerging technologies differ in their resilience to institutional instability. *Technological Forecasting and Social Change*, 166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120599>
- Romasheva, N., & Ilinova, A. (2019). CCS Projects: How Regulatory Framework Influences Their Deployment. *Management, Environment, Energy and Sustainability under a Circular Economy*, 8(4), 181. doi:<https://doi.org/10.3390/resources8040181>
- Rowe, G., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375. doi:[https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7)

- SAE International. (2023, December). *Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems - ARP4754B*. Récupéré sur SAE Standards: <https://www.sae.org/standards/content/arp4754a/>
- Schmalz, U., & al. (2021). Lessons Learned from a Two-Round Delphi-based Scenario Study. *Methods X*, 8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101179>
- Skjong, R. (2009). Regulatory Framework. Dans A. Papanikolaou, *Risk-Based Ship Design* (pp. 97-151). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-540-89042-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89042-3_3)
- Sluijs, J., & al. (2023). Beyond visual-line-of-sight (BVLOS) drone operations for environmental and infrastructure monitoring: a case study in northwestern Canada. *Drone Systems and Applications*, 11, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1139/dsa-2023-0012>
- Straubinger, A. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility – Setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852>
- Taibi, D., Lenarduzzi, V., & al. (2015). Towards a Classification Schema for Development Technologies: an Empirical Study in the Avionic Domain. *International Journal on Advances in Software*, 8(1), 125-135. doi:<http://urn.fi/URN:NBN:fi:tti-201802091204>
- Thipphavong, D., & al. (2018). Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations. *AIAA 2018-3676 Session: UAM Concepts and Considerations*. Atlanta: Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. doi:<https://doi.org/10.2514/6.2018-3676>
- Transport Canada. (2019, January). *SAFETY ASSESSMENT for Automated Driving Systems in Canada*. Récupéré sur [tc\\_safety\\_assessment\\_for\\_ads: https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/tc\\_safety\\_assessment\\_for\\_ads\\_s.pdf](https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/tc_safety_assessment_for_ads_tc_safety_assessment_for_ads_s.pdf)
- Transport Canada. (2019, November). *Standard 922 - RPAS Safety Assurance - Canadian Aviation Regulations (CARs)*. Consulté le March 2022, sur <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/acts-regulations/list-regulations/canadian-aviation-regulations-sor-96-433/standards/standard-922-rpas-safety-assurance-canadian-aviation-regulations-cars>
- Transport Canada. (2021, June). *AC 903-001 : Remotely Piloted Aircraft Systems Operational Risk Assessment*. Récupéré sur Advisory Circular (AC) No. 903-001: <https://tc.canada.ca/en/aviation/reference-centre/advisory-circulars/advisory-circular-ac-no-903-001>
- Transport Canada. (2021, 03 22). *Transport Canada's Drone Strategy to 2025*. Récupéré sur <https://tc.canada.ca/en/aviation/publications/transport-canada-s-drone-strategy-2025>
- Veale, M., & Zuiderveen Borgesius, F. (2021). Demystifying the Draft EU Artificial Intelligence Act — Analysing the good, the bad, and the unclear elements of the proposed approach. *Computer Law Review International*, 22(4), 97-112. doi:<https://doi.org/10.9785/cr-2021-220402>

- von der Gracht, H. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1525-1536. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>
- Wiedemann, M., & al. (2024). Advanced Air Mobility: A comparative review of policies from around the world—lessons for Australia. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100988>
- Yang, H.-H., Chang, Y.-H., & Lin, C.-H. (2022). A combined approach for selecting drone management strategies based on the ICAO Safety Management System (SMS) components. *Journal of Air Transport Management*, 104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102257>
- Zhao, D., Tang, Z., & He, D. (2024). A systematic literature review of weak signal identification and evolution for corporate foresight. *Kybernetes*, 53(10), 3160-2188. doi:<https://doi.org/10.1108/K-03-2023-0343>

## ANNEXE A

### RÉSUMÉ DÉTAILLÉ DES ENTREVUES AVEC LES EXPERTS

Tableau A.1 : Résumé détaillé des entrevues avec les experts

Section d'entretien	Groupe d'experts	Points clés	Défis	Opportunités
<b>Contexte et expérience</b>	-	-	-	-
<b>Étapes vers la commercialisation</b>	Secteur public	Insistance sur des cadres réglementaires stricts et la sécurité technologique pour garantir l'acceptation publique	Complexité de la certification de la sécurité pour de nouvelles applications technologiques	Établissement de standards de sécurité à l'échelle de l'industrie et de cadres applicables au niveau international
	Secteur privé	Accent sur le développement de modèles d'affaires viables et sur la maturation du marché	Obstacles économiques et nécessité de garantir la sécurité opérationnelle dans des applications nouvelles	Possibilité d'ouvrir de nouveaux segments de marché et de stimuler l'adoption grâce à des partenariats public-privé
<b>Défis et lacunes</b>	Secteur public	Identification des défis réglementaires, technologiques et commerciaux, avec une emphase sur la sécurité et la fiabilité	Adaptation lente à l'évolution technologique due à l'inertie réglementaire	Référencement aux cadres réglementaires internationaux sur les drones et la Mobilité Aérienne Avancée pour faciliter une intégration harmonieuse

Tableau A.1 : Résumé détaillé des entrevues avec les experts

Section d'entretien	Groupe d'experts	Points clés	Défis	Opportunités
	Secteur privé	Reconnaissance de l'acceptation sociale comme un obstacle, avec un accent sur la viabilité économique	Barrières technologiques et de perception publique pour l'accès au marché	Campagnes de sensibilisation publique et démonstrations technologiques pour renforcer la confiance du marché
<b>Roadmaps technologiques et commerciales</b>	Secteur public	Importance stratégique du développement de roadmaps alignant les objectifs technologiques et de commercialisation	Équilibre entre l'avancement technologique et les cadres réglementaires existants	Favoriser les collaborations entre l'industrie et le milieu académique pour accélérer l'innovation et affiner les avancées technologiques
	Secteur privé	Alignement du développement technologique avec les besoins du marché, en se concentrant sur des innovations prêtes à être commercialisées	Coordination des changements réglementaires avec les avancées technologiques	Proposer des solutions innovantes et adaptables qui s'alignent avec les tendances de marché en constante évolution
<b>Perspectives et contacts futurs</b>	Secteur public	Anticipation d'une croissance constante du secteur, conditionnée par des adaptations réglementaires et technologiques	Alignement complexe entre secteurs public et privé sur les priorités réglementaires	Opportunité d'influencer les pratiques réglementaires mondiales grâce au leadership et à une politique proactive du Canada
	Secteur privé	Croissance projetée de l'industrie grâce à une forte innovation technologique et un intérêt des consommateurs	Adoption de pratiques réglementaires agiles pour soutenir une innovation rapide	Établir le Canada comme leader mondial dans la technologie des drones et les solutions AAM grâce à une adoption précoce et des partenariats stratégiques

## ANNEXE B

### DETAILED SUMMARY OF RELEVANT LOW CONSENSUS LEVEL STRATEGIC TOPICS

Tableau B.2 : Detailed summary of relevant low consensus level strategic topics

Interview Section	Theme	Content Analysis	Repetition Count	Expert Group	Consensus Level	Potential Relevance
<b>Steps to Commercialization</b>	Global Standards Variance	Some experts noted issues with varying standards across countries for AAM and drone tech.	2	Public	Low	Potential for research on adapting AAM tech to diverse global standards.
	Alternative Funding Models	A few experts suggested public-private partnerships or government subsidies for early-stage AAM.	3	Private	Low	May be useful to explore alternative funding approaches for early-stage AAM projects.
<b>Challenges and Gaps</b>	Workforce Diversity	Limited mentions of diversity in skill sets and background as essential for the AAM workforce.	2	Both	Low	Research could investigate workforce composition's impact on sector growth and innovation.
<b>Technology and Roadmaps</b>	Privacy Concerns	A few private experts highlighted privacy issues related to drones operating in urban areas.	3	Private	Low	Relevant if focusing on urban AAM applications and public acceptance.
	Noise Pollution Impact	Public sector experts flagged potential noise pollution from drones as a barrier to adoption.	2	Public	Low	Could be relevant to address in social acceptance and environmental impact research.
<b>Future Insights</b>	Small-Scale Use Cases	Private sector mentioned value in pursuing smaller, specific use cases, such as medical delivery.	2	Private	Low	Might be relevant for establishing early revenue models in niche applications.
	Localization of Supply Chain	Some mention of the need for a domestic supply chain for components, especially for high-risk ops.	3	Both	Low	May contribute to understanding supply chain resilience in AAM sector.