POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
affiliée à l'Université de Montréal

Modélisation par agent d'un processus d'innovation issue de la collaboration université - industrie : un outil à l'aide à la décision

GUILLAUME AUTISSIER
Département de mathématique et de génie industriel

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

Avril 2025

© Guillaume Autissier, 2025.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Modélisation par agent d'un processus d'innovation issue de la collaboration université - industrie : un outil à l'aide à la décision

présenté par **Guillaume AUTISSIER**
en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Maha BEN ALI, présidente
Fabiano ARMELLINI, membre et directeur de recherche
William DE PAULA FERREIRA, membre et codirecteur de recherche
Luis Antônio DE SANTA-EULALIA, membre

DÉDICACE

À tous mes amis du labos,
vous me manquerez...

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais remercier Prof. Fabiano Armellini, mon directeur de recherche, et Prof. William de Paula Ferreira, mon co-directeur, pour leur confiance et leur soutien tout au long de ma maîtrise. Malgré l'évolution constante de ce projet, ils m'ont accompagné et guidé dans ma réflexion, me permettant d'aboutir à ce mémoire.

Grâce à leur encadrement, j'ai eu l'opportunité de publier mon premier article scientifique, une réalisation que je n'aurais jamais imaginée lorsque j'ai contacté le Prof. Fabiano Armellini pour la première fois. À l'époque, je souhaitais collaborer avec lui sur un projet de recherche où nos intérêts convergeaient. Presque trois ans plus tard, non seulement j'ai approfondi mes connaissances sur des sujets qui me passionnent, mais j'ai aussi cultivé une curiosité scientifique qui m'accompagnera tout au long de ma carrière.

J'aimerais aussi remercier aussi le Prof. Jean-Marc Frayret pour son accompagnement et sa bienveillance, dont les conseils m'ont permis d'approcher cette recherche avec plus de sérénité et de confiance.

Un grand merci à mes parents, Joël et Marie-Andrée, qui m'ont pousser à poursuivre mes études en m'enseignant l'importance de s'épanouir intellectuellement. L'obtention de ce diplôme représente une étape importante : la fin (peut-être) de mon parcours universitaire. Ce n'est cependant pas la fin de mon apprentissage, car je m'efforcerai toujours de me dépasser face à chaque défi qui se présentera.

À tous mes amis, merci pour votre soutien et votre aide au cours de ces dernières années. Je tiens à remercier particulièrement mon colocataire Axel et ma copine Marie-Lou, qui ont été à mes côtés depuis le début de cette aventure. Sans eux, ce mémoire serait écrit par un tout autre Guillaume.

RÉSUMÉ

La gouvernance des écosystèmes d'innovation implique la coordination de divers acteurs, tels que les entreprises, les universités et les agences gouvernementales, afin de favoriser la collaboration et la création de connaissances. Elle vise à créer un environnement favorable à l'innovation tout en garantissant l'alignement sur des objectifs économiques et sociétaux plus larges. Cependant, cette gouvernance est confrontée à des défis importants, notamment la diminution des financements publics, les exigences croissantes en matière de transparence et la nécessité d'intégrer des objectifs de durabilité dans les cadres politiques. La complexité croissante des écosystèmes d'innovation révèle les limites des outils de gestion traditionnels. Dans ce contexte, les agences de financement et les autres orchestrateurs de l'écosystème peuvent bénéficier de l'adoption d'approches plus adaptatives qui renforcent leur capacité à coordonner les dynamiques internes et externes. Parmi les diverses méthodes disponibles pour soutenir la gestion des projets de R&D et l'analyse des écosystèmes, la modélisation et la simulation (M&S) offrent une voie prometteuse pour améliorer la gouvernance, en fournissant aux décideurs des idées pour naviguer dans des interactions complexes et optimiser les interventions politiques. L'objectif de ce mémoire est d'enrichir les connaissances en matière de simulation et de développer un modèle capable de reproduire, avec un niveau de détail suffisant, les comportements émergents de l'écosystème d'innovation géré par Mitacs, une agence de financement publique, afin de fournir une aide à la décision. Ce projet de recherche multidisciplinaire se situe à l'intersection de la gestion de l'innovation et de la M&S, sur la base du paradigme Design Science Research. Il vise ainsi à apporter deux contributions majeures. La première contribution est l'identification des éléments clés du processus d'innovation impliquant des organisations industrielles et académiques dans le contexte de Mitacs. La seconde contribution est un modèle multi-agents simulant la dynamique complexe de l'écosystème d'innovation de Mitacs, qui a été validé à l'aide de trois années de données d'activité de Mitacs. Cette recherche a permis de réaliser une cartographie des processus, ainsi qu'une analyse de l'impact des différentes politiques publiques susceptibles d'être mises en place par Mitacs. Par exemple, elle met en lumière comment l'impact des politiques visant à restreindre la sélection des projets peut être positif jusqu'à un certain seuil, en fonction des indicateurs choisis par l'agence.

ABSTRACT

The governance of innovation ecosystems involves coordinating diverse actors, such as firms, universities and governement agencies, to foster collaboration and knowledge creation. It aims to create an environment favorable to innovation while ensuring alignment with broader economic and societal objectives. However, this governance faces significant challenges, including declining public funding, increasing demands for transparency, and the need to integrate sustainability goals into policy frameworks. The growing complexity of innovation ecosystems reveals the limitations of traditional management tools. In this context, funding agencies and other ecosystem orchestrators can benefit from adopting more adaptive approaches that enhance their ability to coordinate internal and external dynamics. Among the various methods available to support R&D project management and ecosystem analysis, modelling and simulation (M&S) offer a promising avenue to improve governance, providing decision-makers with insights to navigate complex interactions and optimize policy interventions. The aim of this master's thesis is to enrich knowledge of simulation and develop a model capable of reproducing, with a sufficient level of detail, the emerging behaviors of the innovation ecosystem managed by Mitacs, a public funding agency, in order to provide decision support. This multi-disciplinary research project lies at the intersection of innovation management and M&S, based on the Design Science Research paradigm. With this, it aims to provide two major contributions. The first contribution is the identification of the key elements of the innovation process involving industrial and academic organizations in the context of Mitacs. The second contribution is a multi-agent model simulating the complex dynamics of the Mitacs innovation ecosystem, which has been validated using three years of activity data from Mitacs. This research has enabled us to produce a process map, as well as an analysis of the impact of the various public policies likely to be implemented by Mitacs. For example, it highlights how the impact of policies aimed at restricting project selection can be positive up to a certain threshold, depending on the indicators chosen by the agency.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE iii

REMERCIEMENTS iv

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vi

TABLE DES MATIÈRES vii

LISTE DES TABLEAUX x

LISTE DES FIGURES xi

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS xiii

LISTE DES ANNEXES xiv

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1
- 1.1 Contexte 1
- 1.2 Énoncé du problème 1
- 1.3 Questions de recherche 2
- 1.4 Objectifs de recherche 2
- 1.5 Organisation du mémoire 3

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE 5
- 2.1 Écosystème d'innovation 5
- 2.2 Modélisation et Simulation 6
- 2.3 Modèles de simulation pour la gestion de l'innovation 9
- 2.4 Sommaire de la littérature 12

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 14
- 3.1 Conception de la Recherche 14
- 3.2 Approche Méthodologique 15
- 3.3 Collection des données et Analyse 17

CHAPITRE 4 MODÉLISATION D'UN PROCESSUS D'INNOVATION BASÉ SUR LA COLLABORATION ENTRE L'UNIVERSITÉ, L'INDUSTRIE ET LE GOUVERNEMENT . . . 18
4.1 Introduction . . . 19
4.2 Contexte théorique . . . 20
4.2.1 R&D et Innovation . . . 20
4.2.2 Collaboration Université - Industrie . . . 21
4.2.3 Politiques publiques et financement de la R&D . . . 22
4.2.4 Modélisation des processus d'innovation et de la collaboration Université - Industrie . . . 23
4.3 Méthodologie . . . 25
4.4 Résulats . . . 26
4.4.1 Caractéristiques distinctives du processus de financement et de collaboration . . . 29
4.4.2 Inefficacités du processus de financement et de collaboration . . . 30
4.5 Conclusion . . . 32

CHAPITRE 5 ARTICLE 1 : AGENT-BASED MODELLING OF UNIVERSITY-INDUSTRY INNOVATION : A DECISION SUPPORT TOOL (soumis le 22 Mars 2025) . . . 34
5.1 Introduction . . . 36
5.2 Related Literature . . . 38
5.2.1 Challenges in Innovation Ecosystem Governance . . . 38
5.2.2 Simulation Models for Innovation Ecosystems . . . 39
5.3 Method . . . 41
5.4 Model Calibration and Validation . . . 46
5.5 Experience . . . 51
5.5.1 Presentation of Experiences . . . 53
5.6 Discussion . . . 61
5.7 Conclusion . . . 65

CHAPITRE 6 DISCUSSION . . . 67
6.1 Sommaire des résultats . . . 67
6.2 Implications dans un cadre plus large . . . 68

CHAPITRE 7 CONCLUSION . . . 71
7.1 Contributions . . . 71

7.2 Limitations et amélioration futures 72

RÉFÉRENCES 74

ANNEXES 81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Comparaison des modèles de simulation, selon la méthode utilisée . . 11
Tableau 3.1 Phases d'un projet de simulation, selon [1] 16
Tableau 5.1 Overview of Model Agents 44
Tableau 5.2 Model hypotheses and their impacts 47
Tableau 5.3 Intermediate Calibration of Firms and Professors 50
Tableau 5.4 Final calibration and validation of performance indicators : d_{accept}, the number of accepted projects, and P_{article}, the proportion of articles published per project (%). 51
Tableau 5.5 Mathematical formulation of the performance indicators 52
Tableau 5.6 Overview of the experiments 53
Tableau B.1 Paramètres des agents Project Proposal (PPA) 84
Tableau B.2 Paramètres des agents Project (PPA) 85
Tableau B.3 Paramètres des agents Organisation (OA) 86

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Méthodes de simulation, selon le niveau d'abstraction [2] 9
Figure 4.1 Funding Agency Process Mapping 27
Figure 4.2 Industry Process Mapping 28
Figure 4.3 Change Request Management Process Mapping 31
Figure 5.1 Simplified UML Class Diagram 45
Figure 5.2 State Diagram of an Organisation 46
Figure 5.3 State Diagrams of Agents and Their Relationships in the Model . . . 48
Figure 5.4 Calibration Approach 49
Figure 5.5 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) organisation participation, and (**H**) network density, based on the variation of the probability of conflict per internship unit. 55
Figure 5.6 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) organisational participation, and (**H**) network density, according to variations in the minimum project size threshold. 58
Figure 5.7 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) participation of organisations, and (**H**) network density, based on the variation of the minimum threshold for contacted network partners. 60
Figure 6.1 Vue d'ensemble et relation entre les principaux éléments de la thèse . 70
Figure C.1 Diagramme BPMN des processus globaux 88
Figure C.2 Diagramme BPMN du processus de création de partenariat initié par un professeur et rédaction de la demande de collaboration 89
Figure C.3 Diagramme BPMN du processus de création de partenariat initié par une entreprise 90
Figure C.4 Diagramme BPMN du processus d'évaluation de la demande et de l'envoi des fonds 91

Figure C.5 Diagramme BPMN du processus de révision de la demande et de l'acceptation des fonds 92
Figure C.6 Diagramme BPMN du processus de déroulement de projet 93
Figure C.7 Diagramme BPMN du processus de fin de projet 94
Figure C.8 Diagramme BPMN du processus de fin de projet 95

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

M&S	Modélisation et Simulation
DSR	Design Science Research
R&D	Recherche et Développement
ABM	Agent-Based Modelling
ABMS	Agent-Based Modelling and Simulation
SD	Systems Dynamics
DES	Discrete Event Simulation
STI	Scientifiques, Technologiques et Innovation
UIC	University-Industry Collaboration
UML	Unified Modeling Language
CVI	Chaîne de Valeur de l'Innovation

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Algorithmes 81
Annexe B Éléments du modèle 84
Annexe C Diagrammes BPMN 87

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Le concept d'écosystème d'innovation permet d'aborder l'innovation de manière collaborative, où des organisations des secteurs public et privé interagissent pour produire, diffuser et exploiter de nouvelles connaissances [3]. Cette collaboration et interconnexion croissantes entre les organisations, issues d'une spécialisation accrue ainsi que de l'analyse et de la prise en compte des complémentarités, leur permettent de créer des opportunités d'affaires en coopérant. En effet, bien que chaque industrie soit fragmentée en fonction des produits et services spécialisés qu'elle propose, les organisations qui la composent interagissent fréquemment pour concevoir, produire, distribuer ou mettre en œuvre un même produit, renforçant ainsi leur interdépendance [4]. Ces organisations adaptent leurs capacités et leurs rôles en fonction de l'évolution de l'écosystème, cherchant ainsi à en tirer le meilleur parti [5].

Dans cette dynamique, le gouvernement peut jouer un rôle d'orchestrateur, favorisant l'adaptabilité et la transformation de l'écosystème, avec la mise en place de politiques d'innovation. Cependant, les orchestrateurs d'écosystèmes évoluent dans un environnement complexe, où les décisions sont fréquemment marquées par des incertitudes, d'autant plus que les collaborations peuvent engendrer des inefficacités, telles que des écarts par rapport aux résultats attendus, des problèmes de qualité, voire des conflits entre partenaires [6]. Ils jouent un rôle crucial en mettant en place des mécanismes de gestion pour faciliter et assurer la pérennité des collaborations, tout en garantissant l'engagement des parties prenantes [7]. L'orchestrateur doit également calibrer ses interventions publiques de manière stratégique et utiliser des outils permettant aux organisations d'accéder aux supports les mieux adaptés, ce qui réduit le risque de désengagement [8]. Enfin, il évalue les projets financés pour s'assurer qu'ils sont en phase avec les objectifs stratégiques de l'écosystème, soulignant ainsi l'importance des mécanismes de gestion et d'évaluation pour garantir le succès des collaborations [9].

1.2 Énoncé du problème

La gouvernance des écosystèmes d'innovation constitue un défi majeur dans un contexte de complexité croissante, marqué par la multiplicité des acteurs et l'intensité de leurs interactions. Les orchestrateurs des écosystèmes, tels que les agences de financement, sont donc confrontés à la nécessité d'adopter des méthodes adaptatives pour coordonner efficacement les dynamiques internes et externes des écosystèmes [10].

Comme le souligne [6], les orchestrateurs d'écosystèmes disposent d'une variété de leviers pour soutenir la génération et la diffusion des innovations, selon des objectifs poursuivis.Cela inclut l'augmentation des fonds disponibles, la mise en place d'incitations fiscales ou encore le soutien à la collaboration via des politiques de clusters. Cependant, les mécanismes déployés varient d'une industrie à l'autre, entraînant la création de dispositifs spécifiques [11]. Cette diversité, combinée à l'hétérogénéité des acteurs impliqués, engendre une complexité considérable dans les relations au sein de l'écosystème.

La compréhension des dynamiques interconnectés au sein d'un écosystème d'innovation constitue ainsi une problématique centrale pour les orchestrateurs, qui doivent tenir compte des effets systémiques de leurs décisions, lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques publiques. Ce constat s'applique au cas de Mitacs, une agence de financement canadienne qui joue un rôle clé dans la structuration des collaborations entre universités et industrie [12].

1.3 Questions de recherche

Cette recherche porte sur l'écosystème d'innovation orchestré par Mitacs, une organisation qui finance des projets collaboratifs réunissant des chercheurs universitaires et des acteurs de l'industrie. Elle s'intéresse particulièrement au rôle de l'orchestration de cet écosystème à travers les politiques publiques, dans un contexte où l'objectif central de Mitacs est de favoriser une augmentation de la contribution du secteur privé au financement des activités de recherche et développement (R&D) [12].

Ce mémoire s'articule autour de ces trois questions, en abordant d'abord les enjeux liés au processus de financement, puis en explorant la conception et l'utilisation d'un outil d'aide à la décision comme réponse aux défis posés par la gestion d'un écosystème d'innovation :

- *RQ1 : Comment sont caractérisés les processus de financement et de collaboration dans un écosystème d'innovation ?*
- *RQ2 : Comment concevoir un outil d'aide à la décision pour comprendre et soutenir le fonctionnement d'un écosystème d'innovation ?*
- *RQ3 : Comment est-ce que l'on peut évaluer les impacts de politiques publiques dans un écosystème d'innovation ?*

1.4 Objectifs de recherche

Aillant maintenant défini le « pourquoi » de cette recherche, il faut se pencher sur le « comment », qui est présenté sous la forme de l'objectif de recherche.

RO : L'objectif de cette recherche est de concevoir un outil d'aide à la décision stratégique pour l'élaboration de politiques publiques, prenant en compte les comportements organisationnels ainsi que la performance globale d'un écosystème d'innovation.

Les objectifs de ce mémoire, découlant de l'objectif général, sont les suivant :

- *RSO1 : Identifier les éléments clés de la collaboration université-industrie dans le cadre d'un projet de recherche soutenu par une agence de financement publique ;*
- *RSO2 : Concevoir un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer les dynamiques émergentes et la performance d'un écosystème d'innovation, en tenant compte des comportements des organisations, de leurs interactions, des leviers d'action possibles pour l'agence de financement, et des indicateurs permettant d'orienter les choix stratégiques ;*
- *RSO3 : Analyser les impacts potentiels des décisions stratégiques de l'agence de financement sur le comportement des organisations et sur la performance globale de l'écosystème d'innovation.*

Le premier sous-objectif (RS01) est central à cette recherche : il vise à analyser les processus internes de Mitacs et à identifier les principaux enjeux au sein de l'écosystème, afin de disposer d'une compréhension nécessaire à une représentation fidèle de ces dynamiques lors des étapes suivantes. Le deuxième sous-objectif (RS02) porte sur le développement d'une solution sous la forme d'un outil d'aide à la décision, conçu pour refléter la réalité opérationnelle de l'écosystème d'innovation orchestré par l'agence de financement Mitacs. Enfin, le troisième sous-objectif (RS03) consiste à mobiliser cet outil pour évaluer les effets potentiels de différentes décisions stratégiques, dans le but de proposer des pistes de réponse concrètes aux enjeux identifiés et d'améliorer la performance globale de l'écosystème.

1.5 Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré par article et est organisé comme suit. Le Chapitre 2 fournie une revue de littérature des travaux existant, relié au sujet de ce mémoire. Le Chapitre 3 décrit la méthodologie de recherche employé. Le Chapitre 4 présente une modélisation des processus, basé sur la collaboration entre l'université, l'industrie et le gouvernement. Le Chapitre 5 introduit l'article contribuant à cette recherche, adressant les lacunes de recherche et objectifs mentionnées plus haut, comme suit :

Chapitre 5 : **Autissier, G.**, Armellini, F., de Paula Ferreira, W. and J.M., Frayret (forth.). Agent-based modelling of University-Industry innovation : A decision support tool. Submitted to Technovation.

Le Chapitre 6 propose une discussion générale du mémoire, en mettant en lumière les liens et les complémentarités entre les Chapitres 4 et 5. Enfin, le Chapitre 7 présente la conclusion, les limites de l'étude ainsi que les pistes pour des recherches futures.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette section examine la littérature existante en trois étapes : d'abord en explorant les écosystèmes d'innovation, puis en analysant la modélisation et la simulation (M&S) en tant que méthodologie de recherche, et enfin en passant en revue les applications de la simulation dans le domaine de la gestion de l'innovation.

2.1 Écosystème d'innovation

L'innovation est un phénomène complexe qui repose sur la production, la diffusion et la transformation des connaissances techniques en nouveaux produits, services ou processus [10]. Le concept d'écosystème d'innovation émerge dans un contexte de mondialisation croissante et de libéralisation des échanges. L'innovation est alors perçue comme un processus d'apprentissage social et interactif, où les interactions entre acteurs, généralement représentées par les flux de connaissances, jouent un rôle déterminant dans l'amélioration des performances en matière d'innovation. Ces dynamiques résultent d'un réseau de relations complexes entre les différents acteurs [13, 14].

Ce réseau d'acteurs interconnectés, composé d'une organisation centrale, de ses fournisseurs, producteurs, concurrents et autres parties prenantes, interagit de manière complexe pour créer de la valeur et développer de nouvelles technologies, définissant ainsi l'écosystème d'innovation [15]. Le modèle Triple-Hélix, une extension de l'écosystème d'innovation, considère l'innovation comme un processus systémique reposant sur l'interaction dynamique entre les sphères académique, industrielles et le gouvernement. La sphère académique génère des connaissances, l'industrie les applique pour créer de la valeur, et le gouvernement stimule l'innovation via des interventions publiques, sous la forme de financements, d'incitations fiscales, ou de programmes de clusters, entre autres [16].

La collaboration entre les sphères académiques et industrielles constitue un levier essentiel de l'innovation. En effet, la recherche universitaire et industrielle contribue à accroître les ventes, à améliorer la productivité de la R&D et à dynamiser l'activité de brevetage des entreprises. Elle permet également aux acteurs impliqués de bénéficier des avancées scientifiques à moindre coût, grâce au partage de la création et de l'exploitation des connaissances. L'absence de R&D interne dans certaines entreprises, l'accès aux réseaux de recherche et la possibilité de collaborations plus complexes sous forme de consortiums impliquant plusieurs entreprises et universités figurent parmi les principales motivations de la collaboration

université-industrie (UIC). Du côté académique, une pression croissante pousse les universités à tisser des liens avec les entreprises afin de rester à la pointe dans divers domaines et de faire face à la hausse des coûts ainsi qu'aux défis liés au financement de la recherche universitaire [17].

Cependant, l'innovation collaborative est intrinsèquement complexe et se manifeste sous plusieurs dimensions. D'une part, la complexité comportementale découle de l'hétérogénéité des acteurs impliqués, pouvant entraîner des divergences et des conflits d'intérêts entre partenaires. Par conséquent, le choix des collaborateurs, en fonction de leurs attitudes et de leurs capacités, est un facteur déterminant pour la réussite d'un projet. Une sélection inadaptée peut engendrer des problèmes en cours de route, tels qu'un faible engagement ou des comportements opportunistes. D'autre part, la complexité structurelle provient de la configuration du réseau d'innovation. Une coordination efficace entre les partenaires repose sur une organisation claire, définissant précisément les rôles et responsabilités dès la phase de planification. La typologie des partenaires, en particulier leur nombre et leurs caractéristiques, influe sur leur complémentarité et leur valeur ajoutée au projet collaboratif, ayant ainsi un impact déterminant sur sa réussite. Enfin, la complexité technologique constitue une autre source majeure de difficulté dans la gestion des projets de R&D. En effet, elle se caractérise par la non-linéarité et la non-séquentialité des processus de développement technologique, qui, par nature, sont complexes et incertains, et répartis entre plusieurs partenaires [18].

Ces complexités peuvent entraîner des inefficacités dans le processus d'innovation, telles que des écarts par rapport aux objectifs de la recherche, des problèmes de qualité ou des conflits [17]. Cependant, des interventions publiques ciblées permettent d'atténuer ces inefficacités, que ce soit en augmentant les investissements en R&D, en renforçant les compétences, en améliorant l'accès à l'expertise, en favorisant les connexions entre acteurs ou en stimulant la demande en innovation [6].

2.2 Modélisation et Simulation

La modélisation et la simulation (M&S) représentent des méthodologies essentielles dans des disciplines telles que l'ingénierie industrielle et la gestion des opérations. Elles permettent d'explorer et de résoudre des problèmes complexes en développant des modèles simplifiés de systèmes réels ou hypothétiques, souvent en lien avec des problèmes de décision, tels que l'amélioration ou la conception d'un système, afin d'évaluer la performance de différentes solutions et guider les choix stratégiques [2].

La simulation est un ensemble de techniques qui consiste à créer un modèle abstrait d'un

système, capturant ses caractéristiques essentielles, pertinents pour le problème que l'on souhaite résoudre, tout en éliminant les détails superflus [19]. Une fois modélisé, il est possible d'explorer la structure et le comportement du système, pour faire des expériences sous certaines conditions, les comparer et optimiser, dans un environnement sécurisé, où les risques et les coûts des expérimentations réelles sont éliminés, pour enfin appliquer cette solution dans le monde réel [20].

La simulation ne se limite pas à un simple outil d'expérimentation numérique ; elle s'impose également comme une méthodologie innovante permettant de surmonter les limites des approches traditionnelles en recherche, notamment dans l'analyse et la résolution de problèmes complexes. Elle s'ajoute ainsi aux méthodes classiques de déduction et d'induction, qu'elle complète en offrant des solutions adaptées aux défis posés par la complexité croissante des systèmes modernes [21].

La simulation permet notamment de traiter des hypothèses complexes en mobilisant des calculs numériques pour explorer les relations entre variables, là où la déduction impose souvent des simplifications. Elle offre également la possibilité de générer des données virtuelles, ce qui atténue les contraintes liées à la disponibilité ou à la qualité des données empiriques dans les approches inductives [21].

Bien que traditionnellement moins répandue en sciences sociales, la simulation gagne en reconnaissance pour son efficacité à analyser des phénomènes complexes, malgré des freins liés aux compétences techniques requises et à la dominance des approches qualitatives. Harrison [21] identifie d'ailleurs sept usages distincts de la simulation dans la recherche.

1. Prédiction : Les résultats de la simulation peuvent être interprétés comme des prédictions ou des hypothèses, qui peuvent ensuite être testées empiriquement, fournissant ainsi un moyen de valider indirectement la théorie du modèle.
2. Preuve : La simulation peut être utiliser pour démontrer que certains comportements ou résultats sont possibles dans les conditions définies du modèle.
3. Découverte : La simulation peut présenter des résultats inattendus lors de l'interaction des différents éléments du système, menant alors à la découverte d'un phénomène inconnue.
4. Explication : En accordant les observations réelles aux résultats simulées, la simulation permet de donner une explication plausible aux mécanismes qui produisent ces comportements.
5. Critique : La simulation peut être utiliser pour évaluer des théories existantes, avec comme objectif de démontrer l'existence d'alternatives plus simple à l'explication de l'émergence de certains phénomènes.

6. Prescription : La simulation permet de recommander des améliorations organisationnels ou opérationnels, à la suite d'une analyse qui montre une meilleure performance des recommandations par rapport à l'état initial.
7. Orientation empirique : La simulation permet de générer des hypothèses empiriques après avoir identifier des relations entre des variables auparavant non reliées.

Il existe trois méthodes de modélisation pour la simulation par ordinateur, chacune chacune adaptée à différents niveaux d'abstraction : la Dynamique des Systèmes (SD), la Modélisation à Base d'Agent (ABM), et la Modélisation à Événements Discrets (DES). La figure 2.1 présente ces trois méthodes, selon le niveau d'abstraction. Le choix de la bonne méthode de modélisation adaptée au problème visé est critique pour la réussite du projet de modélisation. Celui-ci dépendra bien sûr du système à l'étude, mais avant tout, des objectifs que l'on souhaite accomplir avec le modèle [2].

D'une part, la SD est utilisée pour modéliser des dynamiques globales. Elle représente le système de manière agrégée, sans tenir compte des comportements individuels des entités, mais en mettant plutôt l'accent sur les relations entre variables à l'aide d'équations différentielles. La SD est donc particulièrement adaptée à l'analyse de phénomènes à l'échelle macro, mais elle ne permet pas de représenter ou d'étudier les comportements individuels ni les processus opérationnels internes au système [2].

Ensuite, l'ABM considère le système comme une collection d'entités autonomes appelées agents, qui perçoivent leur environnement et prennent des décisions en fonction d'un ensemble de règles définies. En adoptant cette perspective décentralisée, l'ABM permet de représenter chaque entité selon ses caractéristiques propres et d'analyser l'émergence de comportements complexes issus des interactions entre agents. Elle rend ainsi possible une analyse à la fois macro et micro du système, tout en offrant une compréhension fine des comportements individuels et des processus opérationnels. L'ABM s'impose donc comme une méthode naturelle pour décrire et simuler des systèmes composés d'entités « comportementales » [22].

Enfin, la DES permet de représenter des processus et opérations à travers une séquence d'événements, régis par des règles précises et un enchaînement temporel bien défini. Elle est particulièrement efficace pour analyser et optimiser des processus opérationnels, tels que les chaînes de production ou les files d'attente. Toutefois, la DES ne permet pas de modéliser finement la diversité des entités du système ni d'en analyser les dynamiques globales à l'échelle macro [2].

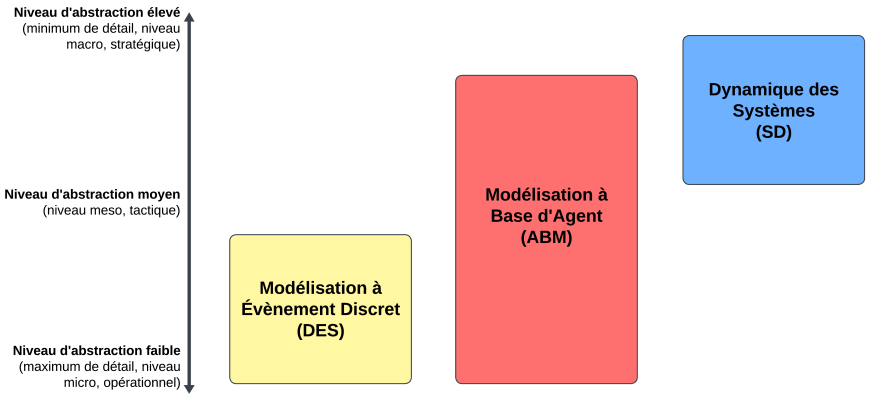

FIGURE 2.1 Méthodes de simulation, selon le niveau d'abstraction [2]

2.3 Modèles de simulation pour la gestion de l'innovation

Maintenant que nous avons identifié les enjeux auxquels les gestionnaires peuvent être confrontés dans un écosystème d'innovation, ainsi que les principes de la simulation, nous nous intéressons à son utilisation en tant qu'outil complémentaire, apportant une dimension analytique renforcée aux décisions des gestionnaires. L'objectif de cette section est de présenter les outils recensés dans la littérature selon leurs caractéristiques.

Tout d'abord, certains modèles utilisent la simulation pour présenter la gestion des connaissances dans l'écosystème. Deux articles illustrent cette approche en explorant les facteurs influençant la création de connaissances et le développement d'innovations technologiques. Le premier article, proposé par [23], met en évidence des variables clés comme les investissements en innovation et la formation de ressources humaines hautement qualifiées. Ce modèle systémique permet une meilleure planification en liant directement ces variables à des résultats mesurables en termes de performance organisationnelle. Le second article, de [24], examine les flux de connaissances dans un cadre de collaboration Université–Industrie. Il souligne l'importance de facteurs comme la confiance et les mécanismes contractuels pour assurer un transfert efficace des connaissances entre les acteurs. Ces modèles mettent en lumière la complexité et l'importance de la gestion des connaissances dans les écosystèmes collaboratifs, soulignant leur rôle essentiel dans le transfert de savoirs et la création d'innovations, permettant ainsi aux gestionnaires et chercheurs d'avoir conscience des levier critiques pour améliorer la planification ainsi que la compréhension de l'écosystème, dans ce contexte.

Ensuite, il y a certains modèles qui utilisent la simulation pour présenter l'impact des politiques de recherches sur les réseaux d'innovations. Le modèle de simulation développé par [25] permet d'évaluer la durabilité des collaborations dans les écosystèmes d'affaires en testant différentes stratégies pour leur amélioration. De son côté, [26] propose une modélisation qui étudie non seulement les dynamiques qui mènent au lancement des projets, mais aussi celles qui se produisent au sein des projets, influençant leur succès ou leur échec. Cette approche permet également de tester diverses politiques de gouvernance avec comme objectif l'amélioration la performance du système. Enfin, les travaux de [27], [28] et [29] utilisent des modèles à base d'agents pour simuler les politiques favorisant la coopération pour l'innovation. Ces modèles montrent la pertinence de la simulation comme méthodologie, afin d'évaluer et de prescrire des solutions pouvant être mises en œuvre par les orchestrateurs d'innovation pour optimiser la gouvernance des écosystèmes, favoriser la collaboration entre les acteurs et renforcer l'impact des politiques d'innovation.

Par la suite, il y a certains modèles qui utilisent la simulation pour présenter les dynamiques de la collaboration inter-organisationnel. Le modèle proposé par [30] explore l'impact des parties prenantes la performance des projets de conception basés sur BIM, en simulant les dynamiques sociales et les flux d'information, permettant ainsi de mettre en évidence l'importance des interactions entre parties prenantes pour la gestion optimale du projet. D'autre part, [31] adoptent une perspective écologique de la théorie de l'innovation en triple hélice, modélisant les interactions entre universités, industrie et gouvernement, avec comme objectif de mesurer les effets des interactions entre ses trois sphères. Aussi, le modèle de [11] étudie les interactions université-industrie et leur impact sur la production de connaissances et la recherche, en intégrant des micro-dynamiques comme l'initiation de collaborations ou l'échec potentiel de projet, afin d'avoir un aperçu plus détaillé du processus d'innovation. Finalement, [32] propose un modèle pour analyser l'équité inter-organisationnelle dans les chaînes de valeur alimentaires, en identifiant les asymétries de pouvoir et les effets des interventions politiques. Ainsi, ces modèles permettent d'examiner l'interaction des organisations dans un processus collaboratif et de mettre en évidence l'apport de la simulation dans l'analyse des dynamiques inter-organisationnelles. Ils offrent une compréhension approfondie des mécanismes sous-jacents, de l'influence des parties prenantes et de l'impact des politiques de gouvernance sur la performance des collaborations.

Tableau 2.1 Comparaison des modèles de simulation, selon la méthode utilisée

Méthode de simulation	**Articles**	**Atouts**	**Limites**
Dynamique des systèmes (SD)	[23], [24]	Met en évidence les relations entre variables liées à la création et au transfert de connaissances interorganisationnels.	Modèles limités par un niveau d'abstraction élevé et une négligence du rôle des agences de financement, réduisant leur capacité à représenter finement les dynamiques collaboratives.
Dynamique des systèmes et Modélisation à base d'agents (SD + ABM)	[26]	Étudie les dynamiques de lancement et les interactions internes influençant le succès ou l'échec des projets.	Modèles centrés sur un secteur ou un type d'organisation, limitant leur transférabilité à d'autres contextes.
Modélisation à base d'agents (ABM)	[25], [27], [28], [29]	Évalue l'impact des politiques publiques sur le comportement des organisations de l'écosystème.	Modèles centrés sur la formation de partenariats, avec une prise en compte limitée des dynamiques interorganisationnelles durant les projets.
	[11], [30], [31], [32]	Analyse les dynamiques de collaboration entre organisations	Modèles développés pour des domaines spécifiques ou simplifiés par manque de données, limitant leur portée générale pour modéliser l'ensemble du processus d'innovation.
	[33], [19]	Analyse les micro-dynamiques de collaboration au sein des projets.	Modèles peu adaptés à la nature incertaine et évolutive des projets de R&D.

Finalement, il existent des modèles de simulation qui se penche davantage sur les micro-dynamiques de collaboration lors d'un projet. Tout d'abord, [33] proposent un modèle qui simule les dynamiques sociales et les flux d'information dans des projets de conception basés sur BIM, mettant en avant les problèmes de communication et de collaboration, en modélisant des éléments tels que les retours sur travaux et les conflits, et en examinant leur impact sur la performance des équipes à livrer un projet. D'autre part, [19] présentent un modèle à base d'agent qui simule la gouvernance dans les réseaux de projets inter-organisationnels, en étudiant l'influence des mécanismes de gouvernance sur la performance des projets. Ces modèles montrent l'impact que peut avoir la simulation pour une meilleur compréhension des micro-dynamiques de collaboration au sein des projets, en analysant les interactions entre les acteurs, les mécanismes de gouvernance et les effets des dynamiques sociales sur la performance globale. Ils permettent ainsi d'identifier les leviers d'optimisation pour améliorer la coordination, la communication et l'efficacité des équipes dans un environnement collaboratif.

Le tableau 2.1 présente alors les modèles de simulation identifiés de la littérature, selon le type de modélisation utilisée, et synthéthise les atouts et limites de ces modèles.

2.4 Sommaire de la littérature

La gouvernance des écosystèmes d'innovation présente des défis majeurs dans un contexte marqué par l'incertitude et la complexité. En effet, de par l'hétérogénéité et typologie des acteurs, ainsi que la nature même du processus d'innovation, les orchestrateurs sélectionner avec discernement les politiques d'innovation et les mécanismes à mettre en place, afin de non seulement garantir le succès des collaborations, mais aussi d'assurer l'atteinte des objectifs écosystémiques, quels qu'ils soient.

Une analyse de la littérature présente la modélisation et la simulation (M&S) comme des solutions prometteuses pour surmonter les défis de gouvernance dans les écosystèmes d'innovation. En effet, que ce soit pour identifier les facteurs déterminants aux comportements écosystèmiques [23, 24], l'analyse des impacts de politiques publiques sur la performance au sein de l'écosystèmes [25, 27–29], l'analyse les dynamiques de collaboration entre organisations [11, 30–32] ou bien l'analyse dynamiques au sein d'un projet [19, 26, 33], la simulation apporte une intelligence pouvant être utilisé par les orchestrateurs, gestionnaires et organisations des écosystèmes d'innovation, pour mieux comprendre les défis auquels ceux-ci sont confrontés et apporter une solution à leurs problèmes. Plus spécifiquement, la simulation permet aux orchestrateurs d'écosystèmes, comme les agences de financement, d'anticiper les implications des politiques et des mécanismes de gestion, tout en prenant en compte les incertitudes inhérentes aux environnements innovants. En combinant rigueur analytique et

flexibilité expérimentale, la simulation contribue à une gouvernance adaptative et intégrative, capable d'aborder les enjeux complexes liés aux interactions, aux ressources partagées et aux objectifs stratégiques des écosystèmes d'innovation.

La principale lacune identifiée dans les modèles présentés dans la littérature réside dans l'absence d'une solution intégrée, capable de prendre en compte à la fois les enjeux propres à l'orchestrateur et les dynamiques de collaboration interorganisationnelle, depuis la mise en place jusqu'à l'accomplissement d'un projet de recherche. Pour développer une solution adaptée, il est essentiel d'analyser en profondeur les processus mis en œuvre par l'orchestrateur pour favoriser la collaboration en matière de R&D entre organisations. Cette analyse permet de rendre compte des subtilités et des défis auxquels sont confrontés tant l'orchestrateur que les organisations participantes lors des phases d'initiation des partenariats, de soumission de demandes de financement et de développement de l'innovation au sein des projets.

Dans un second temps, la conception d'un modèle de simulation, fondé sur la méthode la plus appropriée et validé empiriquement à l'aide de données réelles, permettra de représenter de manière fidèle et détaillée les comportements des organisations au sein de l'écosystème. Enfin, l'élaboration de scénarios de politiques publiques et l'analyse de leurs impacts sur les comportements organisationnels et la performance globale de l'écosystème d'innovation fourniront des leviers concrets aux orchestrateurs pour relever les défis auxquels ils sont confrontés.

Somme toute, l'ensemble de ces démarches vise à améliorer la compréhension du fonctionnement de l'écosystème d'innovation. Il s'agit d'abord d'identifier les défis et les particularités des processus organisationnels, afin de les formaliser au sein d'un modèle de simulation. L'analyse des impacts des différents scénarios envisagés permet ensuite de mettre en lumière de potentiels relations non linéaires entre divers facteurs, offrant ainsi une nouvelle perspective sur les dynamiques à l'œuvre dans l'écosystème.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Cette section décrit la méthodologie de recherche utilisée pour atteindre les objectifs et répondre aux questions de recherche de ce mémoire de maîtrise présentées dans les sections 1.3 et 1.4.

3.1 Conception de la Recherche

Avant de détailler la démarche méthodologique adoptée dans cette recherche, il convient de rappeler son objectif, défini dans la section 1.4 : concevoir un outil d'aide à la décision stratégique pour l'élaboration de politiques publiques, prenant en compte les comportements organisationnels ainsi que la performance globale d'un écosystème d'innovation. Cet objectif général se décline en trois sous-objectifs, qui structurent la démarche suivie et définissent la logique reliant les questions initiales de l'étude aux conclusions et résultats obtenus. Pour ce faire, le processus de recherche s'appuie sur la méthodologie du Design Research [34].

La première étape de la recherche est la *Phase de Clarification*, dont l'objectif est l'identification du focus de la recherche. Pour ce faire, une analyse de la littérature sur les enjeux autour de la gouvernance d'écosystème d'innovation est effectuée, ce qui permet de mettre en évidence le contexte dans lequel les orchestrateurs de ces écosystèmes évoluent, ainsi que l'énoncé du problème, les questions et objectifs de recherche. De plus, une revue de littérature étudie la variété de leviers à la disposition des orchestrateurs pour soutenir la génération et la diffusion des innovations dans l'écosystème, et plus précisément, l'utilisation de la simulation comme outil d'aide à la décision stratégique.

L'étape suivante du processus de recherche est l'*Étude Descriptive*, lors duquel une analyse plus en détail des processus actuels de l'agence est effectué, afin d'en identifier les éléments clés, pour que ceux-ci soient formalisé lors de la conception de l'outil d'aide à la décision, à la prochaine étape, l'*Étude Prescriptive*.

Par la suite, lors de la phase de l'*Étude Prescriptive*, il a fallu proposer une solution pour résoudre le problème auquel l'orchestrateur est confrontée : une solution, sous la forme d'un modèle de simulation. La méthodologie employée pour la conception de la solution est détaillée dans la section 3.2.

Enfin, lors de la dernière étape de la recherche, soit la *Phase d'Évaluation*, la solution proposée est analysée à la fois sur les plans qualitatif et quantitatif. Cette phase cruciale vise non seulement à valider empiriquement la pertinence du modèle, mais également à évaluer sa

performance à l'aide d'indicateurs clés pertinents pour l'agence de financement. L'évaluation qualitative permet d'interpréter les résultats obtenus et de mettre en lumière les limites de la solution. Chacune de ces trois dernières phases répond à une question de recherche, contribuant ainsi à l'atteinte de l'objectif formulé.

3.2 Approche Méthodologique

La démarche de ce projet de recherche a été détaillé dans la section 3.1 en quatre phases, soit la *Phase de Clarification*, l'*Étude Descriptive*, l'*Étude Prescriptive* et la *Phase d'Évaluation*. Cette section résume et justifie les choix méthodologiques effectuées lors de cette démarche.

Tout d'abord, il a fallu déterminer la méthode pour évaluer la performance de la solution au problème. Pour ce faire, la simulation par ordinateur a été choisi, car elle permet d'atteindre notre objectif (évaluer la performance du système) sans avoir à modifier d'aucune manière le système réel. En effet, tester des outils de financement et de politique publiques sur de systèmes réels peut entraîner des conséquences pour les usagers et encourrait un coût élevé pour l'agence de financement. Il serait donc irresponsable pour une agence de réputation comme celle-ci de risquer l'argent fournie par le gouvernement de tel manière. C'est donc pour cela que la simulation a été adopté, permettant de tester la solution à moindre coût.

Une fois décidé, il a fallu déterminer la technique de simulation à utiliser. Comme mentionné dans la section 2.2, il existe trois techniques de simulation : la Modélisation à Événement Discret (DES), la Modélisation à Base d'Agent (ABM) et la Dynamique des Systèmes (SD).

Pour orienter ce choix, il a d'abord été nécessaire de définir le domaine d'étude, soit l'écosystème d'innovation. Ce dernier se caractérise comme un système distribué, où diverses entités interagissent de manière complexe pour générer de la valeur et de nouvelles technologies. Un système distribué est composé d'une variété d'acteurs interdépendants qui prennent des décisions de manière autonome. Contrairement à un système centralisé, son comportement global émerge à partir des actions et interactions locales des entités qui le composent. De nombreux exemples illustrent cette dynamique, comme les systèmes routiers, les hôpitaux ou les chaînes d'approvisionnement. Dans le cas spécifique de cette étude, l'écosystème d'innovation implique des organisations telles que les firmes privées, les universités, les centres de recherche, les organisations à but non lucratif et les agences gouvernementales. Bien que ces dernières, comme Mitacs, jouent un rôle d'orchestrateur en développant des instruments d'incitation, elles n'exercent pas de contrôle direct sur les autres acteurs, qui restent indépendants et agissent selon leurs propres intérêts.

Dans ce contexte, l'ABM s'impose comme la technique la plus appropriée pour représenter

Tableau 3.1 Phases d'un projet de simulation, selon [1]

	Objectifs
Phase 1.	Définir le problème
Phase 2.	Conception de l'étude
Phase 3.	Conception du modèle conceptuel
Phase 4.	Formuler les données d'entrée, les hypothèses et la définition du processus
Phase 5.	Construire, vérifier et valider le modèle de simulation
Phase 6.	Formuler le plan de d'expériences
Phase 7.	Présenter les résultats
Phase 8.	Définir le cycle de vie du modèle

l'écosystème d'innovation. Cette méthode permet de modéliser chaque acteur individuellement en tant qu'agent autonome, doté de son propre comportement et capable de modifier son état en réponse à ses actions ou à des interactions avec son environnement. Grâce à cette approche, il est possible de capturer et analyser les comportements émergents résultant des interactions complexes entre les acteurs.

Par opposition, les deux autres méthodes présentent des limitations importantes pour l'étude d'un écosystème distribué. La DES propose un niveau d'abstraction trop faible, ce qui rend difficile la représentation des comportements des acteurs et des interactions dynamiques à grande échelle. En revanche, la SD offre un niveau d'abstraction trop élevé, ce qui empêche de capturer les détails des comportements individuels et des décisions locales qui mènent au comportement global de l'écosystème.

L'ABM permet donc de concilier un niveau de détail suffisant pour représenter les acteurs individuels tout en offrant la possibilité d'évaluer les dynamiques émergentes et le comportement global de l'écosystème d'innovation. Cette méthode est la plus adaptée pour répondre aux objectifs de cette recherche.

Par la suite, enfin d'assurer que le modèle de simulation soit développé de manière rigoureuse, la méthodologie proposée par [1] a été appliqué, consistant en une méthode de 8 étapes pour l'application de la simulation en industrie. Le tableau 3.1 présente les différentes phases. Il s'agit d'une méthode adaptée et connue dans l'industrie comme dans la littérature pour mener des projets de simulation avec succès.

Ensuite, étant donné l'enjeu de la transparence du modèle, il est important de le présenter d'une manière claire afin qu'il soit facilement compréhensible pour les chercheurs et autres praticiens qui souhaite approfondir la recherche dans ce domaine. Pour ce faire le protocole

ODD, présenté dans [35], est une méthode standard dans la littérature qui permet de décrire les modèles à base d'agents avec suffisamment de détails pour faciliter leur réplication, sans proposer une description trop technique. Ce protocole sera utilisé dans le chapitre 5, lors de la présentation du modèle à base d'agent développé.

Finalement, une étape clé de la simulation est la vérification et validation du modèle, soit la phase 5 en suivant la méthodologie de simulation présenté plus haut. Cette étape ne possède pas de méthode standard à suivre, cependant, un cadre proposé dans [36] est utilisé dans cette étude, car celle-ci offre une multitude de techniques possible, à la fois qualitatif et quantitatif, pour vérifier des systèmes.

3.3 Collection des données et Analyse

Pour l'obtention des données, plusieurs méthodes ont été utilisé. Tout d'abord, une revue de littérature a été effectué. En effet, la revue de littérature a d'abord permis de situer la recherche dans la littérature et définir le focus de la recherche. Elle a aussi permis de définir les lacunes dans la littérature, concernant les solutions existantes.

Ensuite, il a été possible d'obtenir des informations sur les processus actuels chez l'agence de financement pour donner suite à série d'interviews. Cette collecte d'information a permis de cartographier les processus ainsi qu'identifier les goulots d'étranglements et sources de risques, permettant ainsi d'identifier les besoins du partenaire.

Par la suite, des données quantitatives ont été récoltés auprès de l'agence de financement, permettant d'alimenter le modèle de simulation et le calibrer pour assurer qu'il reproduit le même comportement que l'écosystème d'innovation de l'agence

Enfin, il y a les données obtenues par suite des réplications de la simulation. Ces données permettent d'évaluer la performance et l'impact de la solution selon les indicateurs de performance développés. Ces données ont permis d'accomplir les objectifs de recherche et répondre à la question de recherche.

CHAPITRE 4 MODÉLISATION D'UN PROCESSUS D'INNOVATION BASÉ SUR LA COLLABORATION ENTRE L'UNIVERSITÉ, L'INDUSTRIE ET LE GOUVERNEMENT

Ce chapitre propose une analyse des processus issus de la collaboration industrie-université, soutenue par une agence de financement du gouvernement canadien, afin d'en identifier les caractéristiques et les éventuelles inefficacités. Le manuscrit contenu dans ce chapitre est la version corrigée et traduite d'un article, dont je suis le premier auteur, rédigé avec mon directeur de recherche, le professeur Fabiano Armellini, et mon codirecteur de recherche, le professeur William de Paula Ferreira. Le résumé de l'article a été soumis pour la conférence R&D Management 2024, le 14 février 2024 et accepté le 25 mars 2024. L'article est cité comme suit : Autissier, G., Armellini, F. et de Paula Ferreira, W. (2024). Modélisation d'un processus d'innovation basé sur la collaboration entre l'université, l'industrie et le gouvernement. R&D Management Conference Stockholm 2024.

4.1 Introduction

On a longtemps supposé que la relation entre la croissance et l'innovation était un lien de causalité direct, c'est-à-dire qu'un investissement dans la recherche et le développement (R&D), suivi d'améliorations dans la recherche et le développement de nouvelles technologies, conduirait à un retour positif immédiat et facilement mesurable, sous la forme d'une augmentation des revenus ou d'autres indicateurs clés. Cependant, il a été démontré que cette hypothèse n'est pas tout à fait vraie. En effet, les effets de l'innovation sur la croissance peuvent prendre du temps à se manifester : la diffusion des innovations est un processus graduel, ce qui rend difficile l'identification immédiate de la relation de cause à effet. De plus, les innovations peuvent avoir un impact non linéaire sur la croissance, étant positives pour certaines et négatives pour d'autres [37].

Aujourd'hui, l'innovation n'est plus le jeu d'une seule entreprise, mais plutôt d'un ensemble d'acteurs interconnectés qui interagissent de manière complexe dans un écosystème d'innovation, créant de la valeur et de nouvelles technologies [15]. Dans le modèle de la triple hélice de l'innovation, ce sont les interactions entre l'université, l'industrie et le gouvernement qui sont la clé de l'innovation et de la croissance dans une économie de la connaissance [16]. Par conséquent, la croissance doit être considérée de manière agrégée, en incluant tous les acteurs de l'écosystème, et non au niveau d'une seule entreprise, afin d'avoir une vision globale des conséquences de l'innovation. Dans la littérature, la construction des écosystèmes d'innovation représente un domaine de recherche clé, incluant la réflexion sur les décisions, les implications des intermédiaires, la gestion de l'incertitude collective et les facteurs qui influencent plus d'un acteur dans l'écosystème, d'autant plus qu'il est important de comprendre comment l'organisation des écosystèmes peut influencer l'innovation et la croissance qui en découle [15, 37]. L'étude des processus d'innovation des acteurs qui interagissent les uns avec les autres dans cet écosystème permet une analyse de leurs comportements, ainsi qu'une perspective systémique sur l'innovation et la création de valeur.

Cette recherche a porté sur les processus d'innovation résultant d'une collaboration entre l'industrie et l'université, soutenue par un organisme de financement du gouvernement canadien. Cet organisme joue un rôle de catalyseur de l'innovation en finançant des projets de recherche au moyen de bourses destinées aux étudiants de troisième cycle et aux chercheurs postdoctoraux, ce qui permet aux entreprises d'avoir accès à un personnel hautement qualifié qui peut les aider à atteindre leurs objectifs de manière rentable. En fin de compte, ce programme de financement de l'innovation a renforcé la compétitivité du Canada grâce à la commercialisation de nouvelles technologies et au développement de nouveaux produits et services, tout en améliorant le bien-être économique, social et environnemental de la population canadienne.

L'objectif de cette recherche est d'analyser les comportements des acteurs impliqués dans cette collaboration, à travers le prisme des processus de l'agence de financement. En effet, malgré les avantages indéniables de ces programmes de financement, l'interaction résultant de ces collaborations peut être sujette à des inefficacités, ayant un effet direct sur la performance du programme.

Pour répondre à cette problématique, il a été nécessaire de se pencher sur les processus des acteurs impliqués dans un projet collaboratif industrie-université, financé par l'organisation, afin de les analyser et d'identifier les points clés ainsi que les caractéristiques distinctes qui ajoutent de la valeur à l'offre du programme. Pour ce faire, une cartographie des processus de chaque acteur a été réalisée, au format BPMN (Business Process Model and Notation) [38], pour représenter les étapes du cycle de vie d'un projet d'innovation, la collaboration entre les acteurs et les processus décisionnels qui conduisent ou non à la réalisation du projet. Parallèlement à la cartographie, nous avons mené une série d'entretiens avec des acteurs clés de l'écosystème, ce qui nous a permis de mieux comprendre les principales variables décisionnelles du processus et d'identifier les inefficacités.

4.2 Contexte théorique

4.2.1 R&D et Innovation

L'innovation est un phénomène complexe qui implique la production, la diffusion et la traduction de connaissances techniques en nouveaux produits/services ou processus. Pour être innovantes, les entreprises doivent s'engager dans des activités de R&D, qui comprennent des travaux créatifs et systématiques visant à accroître le stock de connaissances et à concevoir de nouvelles applications des connaissances disponibles. Cet effort peut être orienté vers un but ou un objectif spécifique, comme c'est le cas pour la recherche appliquée, ou non, comme c'est le cas pour la recherche fondamentale, qui consiste à élargir le stock de connaissances d'une entreprise sans nécessairement rechercher une innovation spécifique. Le processus d'innovation implique des relations interactives entre différents acteurs et suit une trajectoire non linéaire déterminée par des mécanismes de rétroaction des connaissances [3].

Le développement d'innovations s'inscrit dans un contexte complexe d'interactions entre les parties prenantes. L'internationalisation croissante, la libéralisation des échanges et l'échange de données grâce aux progrès des technologies de l'information, de la communication et de l'automatisation ajoutent de la complexité au processus d'innovation. Le concept de systèmes d'innovation émerge de cet environnement complexe ; il considère l'innovation comme un processus d'apprentissage social et interactif, où les liens entre les acteurs - généralement

représentés par les flux de connaissances - jouent un rôle crucial dans l'amélioration des performances en matière d'innovation et résultent d'un ensemble de relations complexes entre les acteurs [13,14]. En effet, alors que les processus opérationnels de routine des organisations sont continus et répétitifs, un projet de R&D est un effort temporaire entrepris pour créer un produit ou un service unique, et sa condition est nécessairement marquée par l'incertitude, comme le manque de connaissances sur les moyens exacts d'accomplir le projet ou des scénarios imprévus et des conditions changeantes [39].

[40] examinent les différents types d'attributs des projets et reconnaissent que deux attributs, la complexité et l'incertitude des projets, sont les plus importants à prendre en compte pour la gestion de l'innovation. La complexité du projet peut être définie comme le nombre de tâches, d'éléments et d'ensembles de connaissances nécessaires pour mener à bien un projet, ainsi que le degré d'interdépendance entre eux, tandis que l'incertitude du projet fait référence à l'ampleur des changements dans les technologies et les préférences des clients liés au projet. Pour gérer correctement ces projets, il faut faire preuve de créativité tout en se conformant aux règles et aux normes, car cela garantit l'existence d'un processus et d'une structure pour le projet de R&D, en mettant l'accent sur le contrôle des coûts et des délais [39].

4.2.2 Collaboration Université - Industrie

L'un des moyens pour les entreprises de faire face aux complexités et aux incertitudes d'un projet de R&D est de collaborer avec les universités. En effet, la recherche universitaire et industrielle peut améliorer les ventes, la productivité de la R&D et l'activité de brevetage des entreprises, tout en bénéficiant des résultats innovants de l'activité de recherche, à un coût moindre du fait que la responsabilité de la création et de l'exploitation des connaissances est partagée par les deux acteurs. L'absence de R&D en interne dans l'industrie et l'accès aux réseaux de recherche, ainsi que le potentiel de collaboration plus complexe sous forme de consortiums, impliquant plusieurs entreprises et universités, sont également cités comme des motivations majeures pour la collaboration université-industrie (UIC). Du côté des universités, il existe également une pression pour établir des relations avec les entreprises, afin de leur permettre de rester à la pointe dans tous les domaines et de faire face à l'augmentation des coûts et aux problèmes de financement de la recherche universitaire [17].

Ces pressions exercées sur les deux parties ont conduit à une stimulation croissante du développement des UIC qui visent à renforcer l'innovation et la compétitivité économique par l'échange de connaissances tacites et d'expériences [17]. La littérature identifie trois catégories de bénéfices de l'UIC : (1) les bénéfices économiques (c'est-à-dire les bénéfices qui alimentent l'économie globale) ; (2) les bénéfices institutionnels (c'est-à-dire les bénéfices dérivés par

les universités et l'industrie) ; et (3) les bénéfices sociaux (c'est-à-dire les bénéfices qui se rapportent à l'activité communautaire ou qui favorisent la sociabilité). En revanche, l'UIC peut également présenter des inconvénients, tels que (1) l'écart par rapport à la mission ou à l'objectif ; (2) les problèmes de qualité ; (3) les conflits ; et (4) les risques. Les universités et l'industrie doivent reconnaître les inconvénients possibles afin que des mesures de protection puissent être prises pour mettre en place des politiques et des procédures administratives bien développées [17].

4.2.3 Politiques publiques et financement de la R&D

Le rôle du gouvernement dans la promotion de l'innovation a été étudié dans le modèle de la triple hélice, qui considère l'interaction dynamique entre les trois sphères institutionnelles de l'université, de l'industrie et du gouvernement, pour favoriser la croissance économique régionale et promouvoir l'esprit d'entreprise [16]. Dans ce modèle, la sphère gouvernementale est considérée comme le catalyseur des UIC.

En effet, le gouvernement soutient la génération et la diffusion de l'innovation par le biais d'interventions publiques connues sous le nom de politiques d'innovation. [6] examinent l'efficacité et l'impact des outils politiques permettant d'atteindre les objectifs de la politique de R&D, afin de servir de base aux délibérations sur l'amélioration de la conception et de la mise en œuvre des politiques à l'avenir. Ces politiques peuvent chercher à atteindre de nombreux objectifs tels que (1) l'augmentation des intrants de R&D et d'innovation ; (2) l'amélioration et l'augmentation de l'offre de compétences ; (3) l'amélioration de l'accès à l'expertise ; (4) la création et l'exploitation de connexions et de complémentarités et (5) l'amélioration et l'augmentation de la demande en matière d'innovation.

L'auteur montre qu'il ne suffit pas de se concentrer sur l'augmentation de la R&D au moyen d'instruments politiques tels que des mesures directes, des incitations fiscales, des programmes de capital-risque ou des garanties de prêt, car la R&D n'est pas le seul intrant nécessaire à l'innovation. En effet, les incitations à la formation de compétences de haut niveau, par le biais de la collaboration et des partenariats entre l'université et l'industrie, ont fait l'objet de nombreuses initiatives politiques nationales récentes, car elles permettent de fournir des compétences de haut niveau pour répondre aux besoins d'une industrie en évolution rapide ; les programmes de collaboration, les politiques de regroupement et les programmes de réseau ont été utilisés pour soutenir la connexion et la collaboration des acteurs, englobant la collaboration, les centres de recherche science-industrie, les programmes de recherche et d'échange collaboratifs et les projets d'échange de connaissances collaboratifs [6].

Dans le cas d'un projet de R&D, le rôle du gouvernement en tant qu'institution de finance-

ment public qui initie la collaboration peut accélérer ou obscurcir l'efficacité du processus de transfert de technologie en affectant la dynamique de coordination et d'interaction entre les individus qui sont impliqués dans la collaboration [17]. Ainsi, il est intéressant d'examiner l'impact du gouvernement dans les projets d'innovation financés par le secteur public.

Selon [41], une subvention de plus petite taille, qui partage le risque avec les entreprises privées, est avantageuse, car elle est moins susceptible de déplacer négativement les investissements privés en R&D. En outre, les entreprises seraient plus sélectives, choisissant des projets de R&D réellement réalisables, puisqu'elles partagent une partie des risques. En outre, les entreprises seraient plus sélectives et choisiraient des projets de R&D réellement réalisables, puisqu'elles partagent une partie des risques. L'auteur de cette étude montre également que le financement public de projets de R&D dans les petites entreprises a un impact plus important sur la stimulation de la R&D privée que dans les grandes entreprises et qu'une entreprise dont l'activité de R&D a été subventionnée dans le passé est plus susceptible d'être à nouveau subventionnée. Cependant, l'acceptation d'une aide financière présente certains inconvénients, à savoir le manque de flexibilité, car les subventions imposent des délais de réalisation basés sur le diagramme du projet et l'exécution minimale des coûts budgétés [41].

4.2.4 Modélisation des processus d'innovation et de la collaboration Université - Industrie

Pour comprendre la complexité des relations université-industrie dans le contexte du financement public et pour saisir leur effet global, il est nécessaire de saisir l'émergence de la macro-dynamique en termes de micro-relations, d'échanges et de connexions entre ces acteurs hétérogènes en modélisant leurs comportements. [42] propose une architecture de haut niveau relative aux étapes clés qui contribuent à la réussite des collaborations en matière de recherche et de technologie, ainsi que d'autres éléments de soutien qui facilitent le processus. La fonction processus du modèle est basée sur une séquence linéaire de groupes d'activités, qui implique les cinq étapes suivantes : (1) cartographie du terrain ; (2) proposition ; (3) initiation ; (4) livraison ; et (5) évaluation.

De même, [43] présentent la chaîne de valeur de l'innovation (CVI), un cadre conceptuel qui met en évidence les forces et les faiblesses des performances en matière d'innovation d'un groupe d'entreprises opérant dans des secteurs hautement innovants. Ce cadre montre les interrelations clés dans l'ensemble du processus d'innovation à travers la recherche de connaissances, la transformation des connaissances et l'exploitation des connaissances, dans lequel l'activité d'innovation se traduit par des résultats en termes de croissance et de productivité.

Ces cadres sont des outils de modélisation qui définissent le processus d'innovation collaborative comme une séquence d'étapes clés, dont le succès est défini par des facteurs critiques, tels que le nombre de partenaires externes, la taille de l'entreprise ou la R&D interne. Bien que ces cadres soient très généraux, en ce qui concerne le type de projet de R&D ou le type de collaboration, ils ne tiennent pas compte de la perspective d'un autre acteur qui joue un rôle important dans l'encouragement de la collaboration entre les universités et l'industrie, en tant que moyen d'améliorer l'efficacité de l'innovation, par le biais d'une politique stratégique institutionnelle, à savoir le gouvernement. Dans leur étude, [29] présentent un modèle basé sur des agents qui fournit une évaluation des politiques de financement possibles, en les reproduisant dans une simulation et en évaluant les stratégies de financement, l'organisation financée et le projet, ainsi que la structure du réseau d'innovation qui en résulte. Dans cette recherche, les phases d'un projet sont définies comme (1) la définition des incitations politiques et des règles de collaboration, (2) le processus de formation du consortium, (3) le processus de sélection des propositions et (4) le processus de coopération en matière de recherche et développement. Ce modèle étudie l'impact des caractéristiques des programmes de financement sur les interactions entre des agents hétérogènes dans les réseaux de recherche et d'innovation. En effet, des caractéristiques telles que le type de programme de financement, la date de l'appel, les capacités requises et le financement disponible, affecteront le nombre de projets qui seront financés, ainsi que le nombre de partenaires par proposition.

En utilisant également un modèle basé sur des agents, [31] proposent un modèle conceptuel de l'économie pour exposer les rôles et les paramètres qui ne sont pas pris en compte dans la représentation déterministe d'un système aligné sur la triple hélice. En effet, chaque sphère (université, industrie et gouvernement) est définie par son propre ensemble de comportements, de paramètres de fonctionnement et d'objectifs qui peuvent s'aligner ou entrer en conflit avec ses homologues de manière dynamique. Dans cette recherche, le gouvernement administre les programmes de financement et impose une politique réglementaire aux entreprises, l'industrie et l'université s'engagent dans le transfert de technologie par le biais de projets de R&D, tandis que les chercheurs s'engagent dans la recherche et sont financés par des subventions. Cette vision holistique de l'écosystème de l'innovation montre que chaque acteur dépend des actions des autres pour atteindre son propre objectif.

[44] utilisent la cartographie de l'écosystème de l'innovation et l'analyse des réseaux sociaux (SNA) pour présenter les structures relationnelles, les interactions et les relations entre les entreprises et les universités engagées dans des projets d'innovation financés par le secteur public, tout en mettant en évidence le processus, les rôles et les activités de chaque acteur impliqué, du point de vue d'un intermédiaire. En effet, un projet de recherche est défini comme une série d'étapes, au cours desquelles différents acteurs, des étudiants aux partenaires

financiers, sont impliqués.

Si [42] et [43] ont présenté les étapes clés d'un projet de recherche collaborative, ainsi que les facteurs critiques déterminant leur succès, leur modèle l'a fait principalement du point de vue d'une entreprise et a ignoré les processus des autres acteurs impliqués. Les modèles de [29], [31] et [44] prennent en compte les processus d'un organisme de financement public et son rôle dans le lancement d'une recherche collaborative entre l'industrie et l'université. Cependant, dans ces modèles, l'impact de l'agence de financement public sur l'innovation est principalement défini par les caractéristiques de leur offre, telles que le montant du financement disponible ou la taille des projets financés. Les processus internes de l'agence devraient également être pris en compte pour déterminer l'impact sur l'innovation, mais dans le cas de ces modèles, les processus identifiés restent généraux. Une cartographie détaillée des processus est nécessaire pour mieux comprendre leur impact sur l'innovation.

4.3 Méthodologie

Cette recherche suit une méthodologie qualitative d'étude de cas présentée par [45], examinant les particularités des processus d'un projet collaboratif, concernant les partenariats entre l'industrie et l'université, recevant un financement d'agences publiques.

Comme nous l'avons mentionné, les modèles décrivant l'UIC dans la littérature présentent les phases de ce processus de collaboration, mais manquent de détails lorsqu'il s'agit de décrire le rôle et le processus du gouvernement dans la facilitation de ces collaborations. Cette recherche vise donc à fournir une vision plus complète du processus de collaboration dans le cas d'une intervention publique. Par conséquent, après avoir identifié cette lacune, la question de recherche (RQ) suivante a été identifiée, sur la base des circonstances abordées dans l'étude.

RQ : Comment sont caractérisés les processus de financement et de collaboration dans un écosystème d'innovation ?

Compte tenu des modèles précédents décrivant l'UIC, un modèle dérivé d'une étude de cas a été développé, permettant l'analyse des comportements des acteurs impliqués dans un projet de recherche collaborative. L'étude s'est concentrée sur une agence publique canadienne qui soutient l'innovation en finançant des projets de collaboration entre l'industrie et les institutions post-secondaires, dans des domaines à forte croissance. L'agence de financement dispose d'un vaste réseau d'organisations, dans le pays et à l'étranger, afin de fournir du personnel qualifié pour répondre aux besoins de l'industrie.

Pour cette étude qualitative, une série d'observations et d'analyses de documents a été entre-

prise afin de collecter des données sur les processus de l'agence de financement. Ensuite, des entretiens avec des acteurs clés de ce processus ont été réalisés afin de vérifier et de valider nos données. En effet, trois acteurs différents ayant une expérience des processus ont été interrogés : un directeur d'une entreprise du secteur, un professeur d'université et un directeur de l'agence de financement. Cette étape de notre collecte de données a permis à cette étude de présenter une vision plus complète du rôle et de l'impact des comportements de chaque acteur, dans ce processus.

Le modèle de processus a été créé en utilisant le format BPMN, une notation populaire de modélisation de processus qui permet la représentation graphique de l'interaction et de la collaboration entre les différentes parties prenantes, ainsi que la séquence des activités commerciales et des flux d'informations nécessaires pour achever le processus [38]. Après avoir développé ce modèle, une analyse a été réalisée pour répondre à la question de recherche, qui est présentée dans la partie suivante.

4.4 Résulats

Dans cette section, les résultats de cette étude sont présentés. Tout d'abord, la cartographie des processus est illustrée dans les Figures 4.1 et 4.2. La Figure 4.1 montre le processus de l'agence de financement lorsqu'elle est approchée par une entreprise industrielle, tandis que la Figure 4.2 montre le processus suivi par une entreprise industrielle souhaitant démarrer un projet de recherche collaborative et demander un financement. Ces deux figures illustrent comment l'entreprise industrielle, les chercheurs universitaires et l'agence de financement interagissent et collaborent tout au long du développement, du financement et de la mise en œuvre du projet de recherche. Ensuite, l'analyse de ces cartographies des processus est présentée, répondant ainsi à la question de recherche.

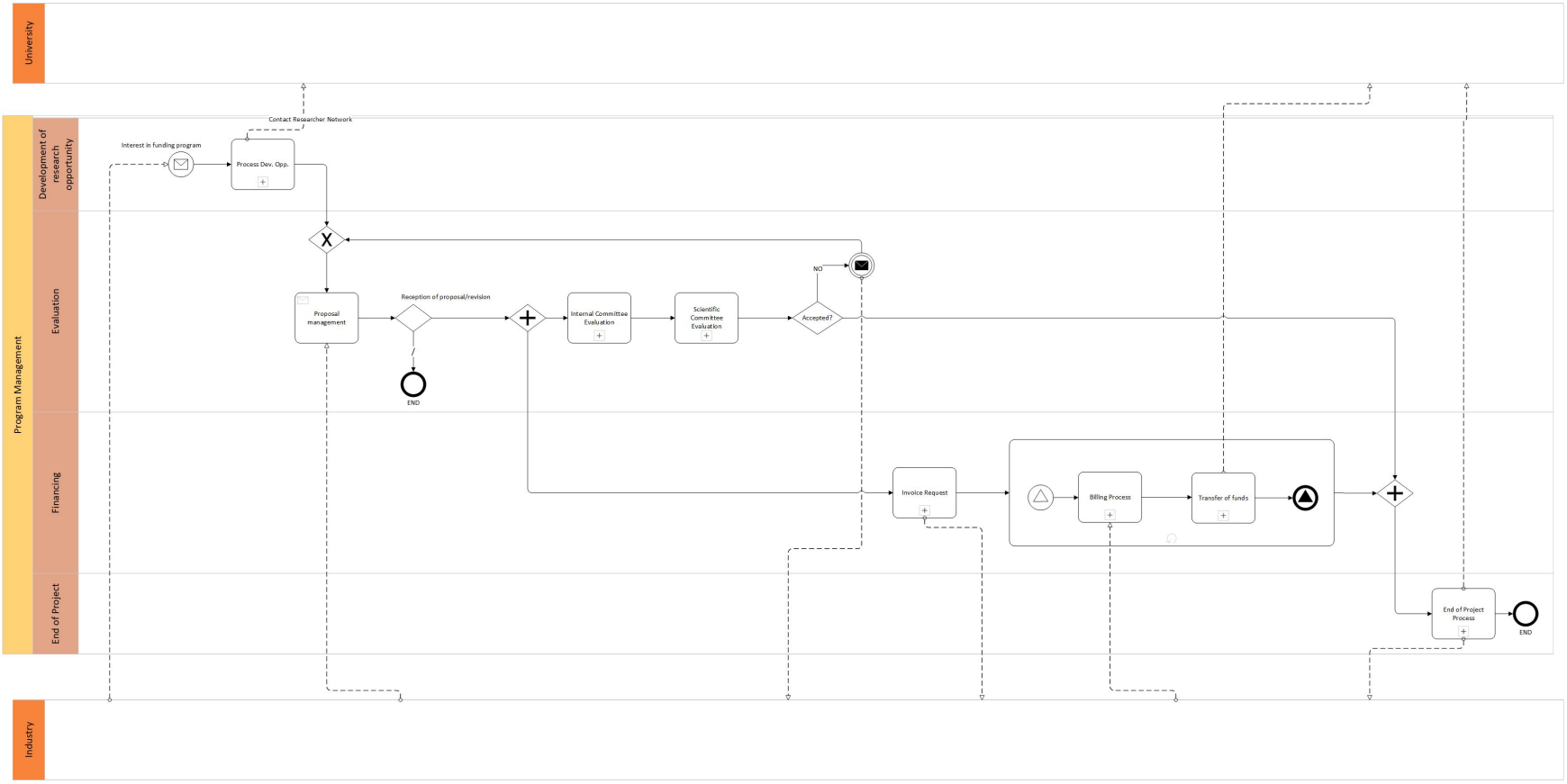

FIGURE 4.1 Funding Agency Process Mapping

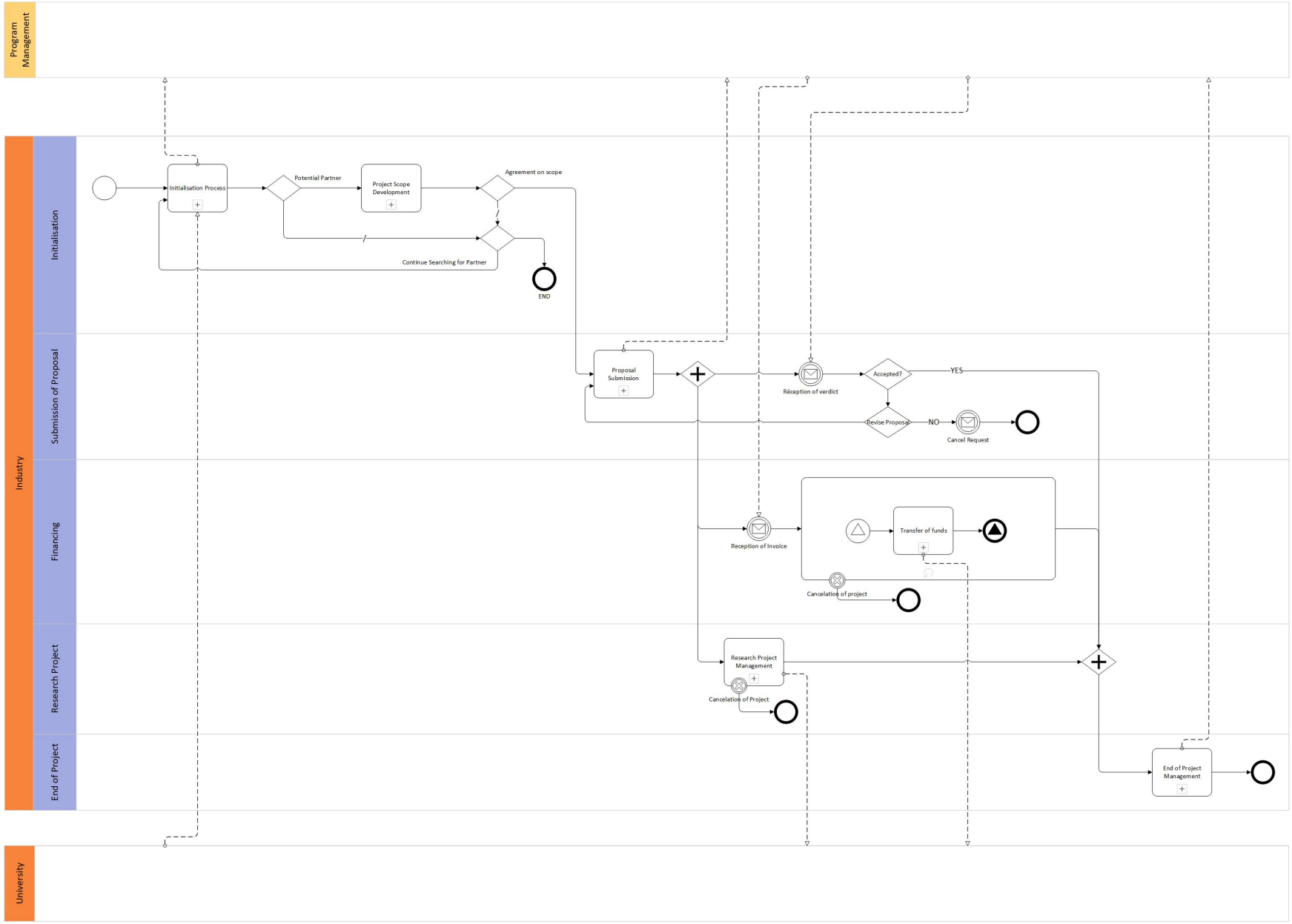

Figure 4.2 Industry Process Mapping

4.4.1 Caractéristiques distinctives du processus de financement et de collaboration

Sélection des partenaires

Dans cette étape initiale du projet, l'agence de financement peut jouer le rôle de facilitateur pour aider les entreprises à trouver avec qui s'engager dans une recherche collaborative. En effet, comme mentionné dans la littérature, le processus de développement et la forme finale de la collaboration sont significativement influencés par les conditions initiales, suggérant trois types distincts : « intégrée », « émergente » et « construite ». Dans les deux premiers types, l'entreprise et l'université initient leur collaboration soit avec des partenaires précédents, soit avec de nouveaux partenaires, selon leurs besoins perçus. Dans le cas d'une collaboration construite, celle-ci est initiée par une partie externe [46].

Dans cette étude, il a été constaté que l'agence de financement peut jouer un rôle d'initiateur de deux manières. Premièrement, l'agence dispose d'une base de données en ligne regroupant toutes les entreprises souhaitant démarrer un projet collaboratif avec une université, permettant aux chercheurs d'analyser et de choisir des partenaires potentiels en fonction de la description du projet, de sa taille et de la localisation de l'entreprise. Deuxièmement, l'agence dispose d'un réseau de conseillers dans chaque université partenaire du pays, leur permettant de contacter directement des départements spécifiques selon le domaine de recherche. Ainsi, l'agence peut mettre en relation des chercheurs et des entreprises, les aidant dans leurs projets d'innovation.

Financement de l'innovation

En tant qu'agence de financement, son mandat est de financer des projets collaboratifs de R&D entre entreprises et universités. Pour ce faire, une proposition doit être soumise par le partenariat, évaluée par le comité scientifique de l'agence, puis soit acceptée, soit rejetée en fonction de la qualité de la proposition.

Cependant, ce processus présente une particularité concernant la flexibilité avec laquelle l'agence peut envoyer les fonds. En effet, comme illustré dans la Figure 4.1, l'agence peut transférer les fonds dès que la proposition est soumise, avant même qu'un verdict ne soit déterminé. Cela permet au projet d'être subventionné et de démarrer dès que les partenaires le souhaitent, comme le montre la Figure 4.2. Par ailleurs, le montant et le calendrier du financement sont flexibles : une fois que l'entreprise envoie un montant déterminé à l'agence, cette dernière égalise ce montant et envoie le total à l'université pour rémunérer le travail des chercheurs. Cela permet à l'entreprise de financer le projet de manière flexible, car mobiliser

une somme importante dès le début du projet peut s'avérer difficile. Comme mentionné dans la littérature, un système de subvention flexible, qui partage le risque avec l'entreprise, peut éviter l'effet d'éviction. Cela réduit la probabilité de déplacement négatif des investissements privés en R&D et a un impact positif sur l'innovation [41].

De plus, l'agence de financement ne se limite pas à augmenter les apports en R&D grâce à des fonds publics. Elle remplit également d'autres objectifs en matière de R&D mentionnés dans la littérature, tels qu'offrir une formation de haut niveau en proposant aux étudiants des opportunités d'apprentissage au sein de ces projets ; améliorer l'accès à l'expertise en permettant aux entreprises de travailler aux côtés d'experts académiques ; et générer et exploiter des connexions et des complémentarités en encourageant la R&D collaborative et l'innovation [6].

Gestion des demandes de modification

Une autre particularité du processus de l'agence de financement réside dans sa flexibilité en matière de gestion des demandes de modification. En effet, comme illustré dans la Figure 4.3, tout changement concernant la taille ou l'objectif du projet peut être soumis à l'évaluation de l'agence de financement, à condition que tous les partenaires soient d'accord sur ces changements.

Étant donné qu'un projet de R&D est défini par son incertitude, il est attendu que la portée du projet puisse évoluer au cours de sa phase de réalisation. La littérature indique que, pour améliorer l'exécution des projets de R&D, il est nécessaire de combiner discrétion et formalité. La discrétion est définie comme la capacité à adapter les règles formelles à un environnement changeant et à des scénarios imprévus, tandis que la formalité désigne le degré auquel la structure et la stabilité gouvernent le projet de R&D [39]. Ce mécanisme mis en place par l'agence de financement permet aux gestionnaires du projet de R&D de s'adapter à leur environnement tout en continuant à bénéficier du financement et de l'accès à des experts académiques.

4.4.2 Inefficacités du processus de financement et de collaboration

Conflits et annulation de projet

Lors des discussions avec des experts sur les inefficacités de leurs processus, la principale remarque concernait l'annulation de projets en raison de conflits entre partenaires, principalement liés à des questions juridiques et des mécanismes contractuels. En effet, les entreprises ne sont généralement pas informées des politiques universitaires concernant les droits de propriété, les brevets et les licences, qui sont rigides car elles constituent une raison essentielle

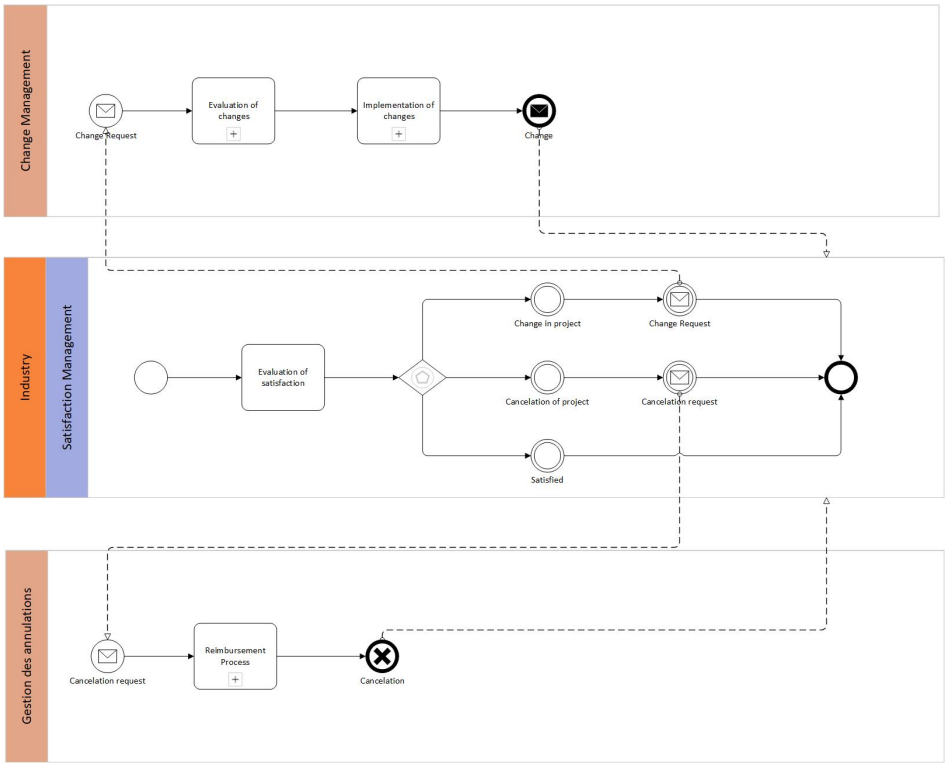

FIGURE 4.3 Change Request Management Process Mapping

de la participation des chercheurs à ces projets. Comme illustré dans la 4.3, si l'un des partenaires souhaite annuler le projet, l'agence accorde un délai de 30 jours aux deux partenaires pour trouver une solution. Si aucune solution n'est trouvée, le projet est annulé et les fonds restants sont retournés à l'agence de financement.

Dans la littérature, de nombreux facteurs ont été identifiés comme sources potentielles de conflits entre les universités et l'industrie, tels que le manque de ressources adéquates ou un faible engagement et soutien en leadership, ce qui pourrait avoir des conséquences négatives sur les relations professionnelles entre les chercheurs [17]. En effet, gérer un partenariat est une opération délicate nécessitant des individus capables de traiter avec différentes organisations et leurs exigences. Il est donc nécessaire d'adapter les méthodes et les modes de travail en conséquence. Une solution identifiée dans la littérature consiste à établir une structure de gestion convenue, à créer une unité indépendante des partenaires, et à stabiliser le travail du partenariat. Cependant, une telle structure nécessite des ressources et un engagement financier, ce qui pourrait constituer une étape vers l'établissement d'un partenariat à moyen et long terme entre les deux entités [47].

Contraintes des étudiants et des chercheurs académiques

Une autre inefficacité identifiée au cours de cette étude concerne l'interruption d'un projet en raison de l'indisponibilité des étudiants chercheurs. En effet, le programme de financement de l'agence vise à former des étudiants chercheurs en leur offrant des opportunités de stages avec des entreprises industrielles, sous la supervision de chercheurs experts. Ainsi, la condition pour qu'un projet ou une phase spécifique d'un projet de recherche commence est la disponibilité des étudiants, ce qui n'est pas toujours garanti.

Bien que le processus de financement offre une certaine flexibilité, permettant aux chercheurs de planifier des projets à plus long terme et de laisser des sections vides concernant les informations sur les étudiants pour chaque phase du projet, si aucun étudiant n'est trouvé au moment de démarrer une unité de recherche spécifique, les chercheurs doivent retarder le projet. Cela pourrait entraîner des conséquences indésirables, telles que l'annulation du projet ou le désintérêt des entreprises à établir des partenariats de recherche dans le cadre de ce programme ou d'autres programmes similaires.

De plus, les chercheurs peuvent être soumis à des contraintes académiques ayant un impact sur le succès du projet. Par exemple, les délais pour les étudiants chercheurs de terminer leurs diplômes peuvent affecter négativement la qualité du projet, car les chercheurs et les entreprises doivent s'adapter en conséquence. Heureusement, le programme de financement est flexible, et des modifications peuvent être apportées à la durée du projet, comme mentionné dans 4.4.2. Cependant, cela entraînerait un coût supplémentaire pour l'entreprise.

4.5 Conclusion

Une compréhension approfondie des processus par lesquels les universités, l'industrie et le gouvernement collaborent est essentielle pour bien saisir comment les innovations sont générées. En effet, cette étude visait à fournir une compréhension de ces processus en modélisant et en mettant en lumière les relations clés entre ces acteurs, depuis la création du partenariat jusqu'à la gestion de fin de projet. Cette étude a mis en avant les caractéristiques distinctives du processus de financement par une agence gouvernementale, qui offrent une plus grande flexibilité au partenariat de recherche tout en ayant un effet positif sur l'innovation. Elle a également identifié les inefficacités de ce processus, notamment la gestion des conflits, en raison de l'approche de gestion distante adoptée par l'agence.

Cette étude présente cependant des limites, car elle se concentre uniquement sur le processus d'une seule agence de financement. Toutefois, l'objectif de cette recherche est de constituer une base pour des travaux futurs, dans lesquels un outil de simulation serait développé pour

soutenir l'analyse des contextes politiques et la planification stratégique dans le domaine de la gestion de l'innovation.

CHAPITRE 5 ARTICLE 1 : AGENT-BASED MODELLING OF UNIVERSITY-INDUSTRY INNOVATION : A DECISION SUPPORT TOOL (soumis le 22 Mars 2025)

Ce chapitre explore l'utilisation de la simulation comme méthode pouvant apporter une aide à la décision dans un contexte de gouvernance d'écosystème d'innovation. Le manuscrit contenu dans ce chapitre a été rédigé [1] avec mon directeur de recherche, le professeur Fabiano Armellini, mon codirecteur de recherche, le professeur William de Paula Ferreira et le professeur Jean-Marc Frayret. Ce dernier, grâce à son expérience en simulation et validation de modèles, a contribué en fournissant des conseils pour la modélisation, en développant le plan d'expériences et en soutenant la communication des résultats. Je suis le premier auteur et ma contribution est estimée à 90%. Le manuscrit a été soumis au journal Technovation le 22 Mars 2025, et toujours en cours de révision.

1. **Author Contribution** : Guillaume Autissier : Conceptualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Visualization, Writing - original draft, Writing - review & editing. Fabiano Armellini : Methodology, Supervision, Validation, Funding acquisition, Writing - review & editing. William de Paula Ferreira : Methodology, Supervision, Validation, Funding acquisition, Writing - review & editing. Jean-Marc Frayret : Methodology, Supervision, Validation, Funding acquisition, Writing - review & editing.

Agent-based modelling of University-Industry innovation : A decision support tool

Authors : Guillaume Autissier, Fabiano Armellini, William De Paula Ferreira et Jean-Marc Frayret

Abstract : This study explores the role of simulation tools in accurately capturing, with sufficient detail, the emerging behaviours of the innovation ecosystem managed by a public funding agency. It aims to evaluate various public policy scenarios and addresses the critical question of how research funding agencies can best foster innovation and collaboration between the industrial and academic sectors. Unlike qualitative and descriptive approaches commonly found in the literature, simulation provides a quantitative alternative for analysing the complex dynamics of innovation ecosystems, modelling emergent organisational interactions, and exploring forward-looking scenarios to support managerial decision-making. This research develops and validates an agent-based simulation model (ABMS) of organisational behaviour in research project management, offering an analytical framework for innovation ecosystem orchestrators. By assessing the impact of public policies on ecosystem performance through a case study of a Canadian funding agency, the study demonstrates that public intervention can strategically shape organisational behaviour and help achieve ecosystem-wide objectives. By proposing a detailed, modular, and adaptable simulation model capable of describing inter-organisational dynamics in an innovation context, this research provides orchestrators with a means to model and evaluate ecosystem performance in alignment with their specific realities. This study underscores its potential for innovation management by contributing to a deeper understanding of the mechanisms governing innovation ecosystems.

Keywords : Innovation Ecosystem ; Agent-Based Simulation ; University-Industry Collaboration ; Decision Support Tool ; Policy Strategy ; Project Management.

5.1 Introduction

The governance of innovation ecosystems presents major challenges in a context marked by decreasing public funding, increased demands for transparency and a desire to align policies with sustainability objectives. The growing complexity of innovation systems, fuelled by the interaction between heterogeneous players and the emergence of disruptive technologies, highlights the limits of traditional management tools. As a result, ecosystem orchestrators, such as funding agencies, are faced with the need to adopt new, adaptive approaches to effectively coordinate the internal and external dynamics of ecosystems [10].

The objective of this research is to design a strategic decision-support tool for the development of public policies, taking into account organizational behaviors as well as the overall performance of an innovation ecosystem.

The literature proposes various tools and methods to support the management of collaborative projects in R&D and the analysis of innovation ecosystems. Agile and performance-oriented methods facilitate internal project management by offering flexibility and organizational efficiency, but they are limited to immediate organizational aspects and fail to integrate external dynamics [7, 48]. Decision support tools focus on funding optimization and project selection, simplifying orchestrators' decision-making processes, but focusing on isolated issues for ecosystem management [8, 9]. Finally, actor analysis and modelling frameworks offer a systemic understanding of ecosystems by mapping inter-dependencies and shared values, while struggling to capture emerging behaviours or address large-scale ecosystems [49–51]. These tools, while relevant in their respective fields, have significant shortcomings. They adopt a fragmented vision, neglecting essential dimensions such as factors external to the ecosystem, the behavioural dynamics of organizations or the strategic role of orchestrators. What's more, their ability to analyse complex systems remains limited by an often qualitative approach, making them ill-suited to the study of vast, dynamic ecosystems involving a diversity of innovation players.

Faced with these limitations, modelling and simulation (M&S) are emerging as promising solutions for overcoming the challenges of governance in innovation ecosystems. By enabling complex systems to be represented in the form of abstract models, simulation provides a safe environment in which to explore, analyse and test solutions. It facilitates the study of interactions between players, the evaluation of emerging dynamics and the optimisation of intervention strategies [52].

A literature review of simulation tools used in an innovation ecosystem context shows how simulation enables ecosystem orchestrators, such as funding agencies, to anticipate the impli-

cations of policies and management mechanisms, while taking into account the uncertainties inherent in innovative environments [27–29]. By combining analytical rigour and experimental flexibility, simulation contributes to adaptive and integrative governance, capable of tackling the complex issues linked to interactions, shared resources and the strategic objectives of innovation ecosystems.

However, although widely used in engineering, simulation remains an emerging approach and is not yet a widely adopted methodology in management and the social sciences [21]. This study contributes to a simulation model, both reproductible and scalable, that reproduces the behaviour of organisations in a innovation ecosystem, enriching knowledge of simulation by providing this model. The model is also used to analyze the potential impacts of the funding agency's strategic decisions on organizational behavior and the overall performance of the innovation network, which showcases the contribution of the model as a decision-support tool for orchestrators, helping them make intelligent decisions on policy choices.

Indeed, the model is tested and validated through a case study conducted with the Canadian research funding agency, Mitacs. Funded by the Canadian government, Mitacs plays a key role in facilitating collaborations between academia and industry. As a funding agency, it acts as an intermediary, helping companies to identify academic partners through its network of advisors. This support encourages the emergence of collaborative projects and the establishment of a cost-sharing model, thereby reducing financial barriers and limiting the risk of private investment in research and development being withdrawn. However, although Mitacs offers a flexible process to facilitate the setting up of research projects, academic constraints and unforeseen circumstances can lead to conflicts, sometimes resulting in the interruption of projects [12]. In this context, it is essential to assess the impact of the innovation policies put in place in order to anticipate these obstacles and optimise the mechanisms for supporting collaborations.

This paper is structured as follows. Section 5.2 provides an overview of the work related to the research topic. Section 5.3 describes the methodology adopted, detailing how the simulation model works. Section 5.4 sets out the approach used to calibrate and validate the model using data provided by the funding agency. Section 5.5 presents the experimental results, followed in Section 5.6 by a discussion of the main findings, the limitations of the study and prospects for future research.

5.2 Related Literature

This section examines the existing literature, firstly by looking at the challenges associated with innovation ecosystems from a governance perspective, and secondly by looking at existing simulation tools that seek to provide assistance to innovation ecosystem orchestrators.

5.2.1 Challenges in Innovation Ecosystem Governance

An innovation ecosystem can be defined as a set of interconnected players who interact in a complex way, creating value and new technologies [15]. An extension of the innovation ecosystem, the Triple-Helix model, considers the dynamic interaction between the three institutional spheres of academia, industry and government, leading to innovation being viewed from a systemic perspective, in which each type of player plays a unique role in regional economic growth [16]. In this model, the academic sphere is responsible for creating knowledge in collaboration with the industrial sphere, which applies this knowledge to derive value. These collaborations between academia and industry (UIC) strengthen innovation and economic competitiveness through the exchange of tacit knowledge and experience, which in turn brings benefits at the economic, institutional and social levels [17, 53]. For its part, government acts as a catalyst, stimulating innovation and collaboration through public intervention in the form of R&D funding, tax incentives or cluster and network programmes [6].

Choosing the right public intervention for the desired objectives is crucial, especially as collaborations can give rise to inefficiencies such as deviations from expected results, quality problems or even conflicts between partners [54]. Ecosystem orchestrators have to operate in a complex environment, where decisions are marked by many uncertainties.

Firstly, each player in the ecosystem is defined by a set of values. Sharing common values, whether ethical, social or environmental, makes it easier to overcome the barriers often encountered when initiating collaborations [49, 50]. These differences are all the more marked when it comes to collaborations between academia and industry, not least because of their different priorities. While companies have to deal with immediate economic constraints, academia follows a longer and more uncertain innovation process, due to the intrinsic complexity of research. What's more, in a collaborative project, managing the expectations of several partners, as well as coordinating their availability and deadlines, represents a major challenge [7]. These constraints can increase the risk of frustration and failure. Putting in place management mechanisms to facilitate the establishment of collaborations but also to guarantee their sustainability, by ensuring the commitment and satisfaction of stakeholders, is essential to the role of ecosystem orchestrator.

Furthermore, orchestrators pursue specific objectives, which leads them to formulate public interventions whose impact and scope must be strategically calibrated. The literature highlights several tools that enable organisations to access grant programmes, providing them with ways of identifying those that best match their needs [8]. These tools help orchestrators to reach their target audience while enabling organisations to choose the most suitable programmes, thereby reducing the risk of disengagement at a later date.

Finally, in addition to the support offered to organisations, the orchestrators must also evaluate the projects to be funded to ensure that they are aligned with the ecosystem's strategic objectives. This aspect once again highlights the importance of management and evaluation mechanisms in the success of funded collaborations [9].

5.2.2 Simulation Models for Innovation Ecosystems

This section looks at the tools presented in the literature that use simulation in an innovation ecosystem context, and how these provide a quantitative level of analysis that considers the complexity of the ecosystem and can help orchestrators make decisions. A review of the literature shows that these models differ in their level of ecosystem analysis, ranging from highly aggregated approaches to more detailed and fine-grained representations. This distinction highlights a fundamental divergence between the models, namely the type of modeling employed.

On the one hand, some models rely on system dynamics (SD), allowing them to adopt a more macro-level perspective and analyze the ecosystem through indicators such as knowledge management. Two articles illustrate this approach by examining factors that influence knowledge creation and technological innovation. The first, proposed by [23], highlights key variables such as investment in innovation and the development of highly qualified human resources. This system dynamics model enhances planning by directly linking these variables to measurable outcomes in organizational performance. The second article, by [24], examines knowledge flows within university–industry collaboration settings. It emphasizes the importance of trust and contractual mechanisms in ensuring effective knowledge transfer between stakeholders. These models underscore the complexity and importance of knowledge management in collaborative ecosystems, highlighting its essential role in enabling innovation and supporting decision-making by identifying critical levers for planning and ecosystem understanding. However, the high level of abstraction in these models leads to overlooking the heterogeneous and autonomous behaviors of organizations, including that of the orchestrator, in favor of a focus on the ecosystem's key factors [23, 24].

On the other hand, some models use Agent-Based Modeling (ABM) to represent the functio-

ning of the ecosystem, viewing organizations as a collection of autonomous entities capable of perceiving their environment and making decisions based on a set of defined rules. By adopting this decentralized perspective, ABM enables the modeling of each entity according to its own characteristics and allows for the analysis of complex behaviors emerging from interactions between agents [22]. Moreover, the level of analysis offered by ABM can vary depending on the model's objectives, making it possible to conduct both macro- and micro-level analyses of the system [2].

Indeed, some models use ABM to simulate and assess the impact of research policies on innovation networks. The model developed by [25] evaluates the sustainability of collaborations in business ecosystems by testing different strategies for improvement. Similarly, [26] presents a model that not only examines the dynamics leading to project initiation, but also those occurring during project execution that affect success or failure. This approach allows for the testing of various governance policies aimed at improving system performance. Additionally, the works of [27], [28], and [29] employ agent-based models to simulate policies that foster innovation cooperation. Collectively, these studies demonstrate the relevance of simulation as a methodology for evaluating and prescribing policy interventions that can be implemented by ecosystem orchestrators to enhance governance, encourage collaboration, and strengthen the impact of innovation policies.

Other models use ABM to simulate the dynamics of inter-organizational collaboration. The model by [30] explores how stakeholder dynamics affect the performance of BIM-based design projects by simulating social interactions and information flows, thereby emphasizing the importance of stakeholder engagement for optimal project management. Similarly, [31] adopt an ecological perspective of the Triple Helix innovation theory, modeling interactions between universities, industry, and government to assess the effects of these cross-sector relationships. The model by [11] investigates university–industry collaboration and its effects on research output, incorporating micro-dynamics such as collaboration initiation and potential project failure to offer a more detailed view of the innovation process. Finally, [32] propose a model to analyze inter-organizational fairness in agri-food value chains, identifying power asymmetries and the impact of policy interventions. These models shed light on organizational interactions within collaborative processes and demonstrate the value of simulation in analyzing inter-organizational dynamics. They provide deeper insights into stakeholder influence, governance mechanisms, and their effects on the performance of collaborative innovation.

Finally, some ABM simulation models delve deeper into the micro-dynamics of collaboration within projects. For instance, [33] propose a model simulating social dynamics and information flows in BIM-based design projects, highlighting issues such as communication break-

downs and collaboration challenges by modeling elements like feedback loops and conflict resolution, and examining their impact on team performance. Likewise, [19] present an agent-based model that simulates governance in inter-organizational project networks, focusing on how governance mechanisms influence project outcomes. These models demonstrate the potential of simulation to enhance our understanding of micro-level collaboration dynamics by analyzing actor interactions, governance strategies, and the influence of social processes on overall project performance. They help identify levers for improving coordination, communication, and team effectiveness in collaborative environments.

In summary, the choice of method used to simulate the functioning of an innovation ecosystem largely depends on the desired level of analysis, ranging from an aggregated approach to the study of the system's micro-dynamics. However, orchestrators operate in a complex and uncertain environment, aiming not only to enhance innovation performance but also to foster long-term collaborations among ecosystem members. In this context, there is a need for a decision-support tool that can address both the specific challenges faced by orchestrators and the dynamics of interorganizational collaboration, from project initiation to completion.

Consequently, simulation offers a valuable decision-support tool for orchestrators by formalizing organizational interactions and revealing complex emergent behaviors [55, 56]. However, as an emerging field in the literature, the use of simulation for ecosystem management remains underdeveloped. An integrated simulation model that captures inter-organizational collaboration dynamics, the development of research projects, and the policy-making processes of orchestrators appears to be lacking [44, 57].

5.3 Method

As mentioned in Section 5.1, the aim of this study is to develop a decision-support tool to help innovation ecosystem orchestrators make more informed public policy decisions, taking into account the diversity of organizations and the inherent complexity of such ecosystems.

Furthermore, as discussed in Section 5.2, simulation is a promising methodology explored in this study to assess the impact of public policies implemented by the funding agency Mitacs, specifically in terms of the performance of research projects initiated through collaborations between industrial firms and university researchers, as well as innovation performance, measured by the number of scientific articles published as a result of these collaborations. By considering the behaviours and interactions of each type of actor, from participating organisations to Mitacs as the orchestrator, during research projects within an innovation ecosystem, it becomes possible to derive both quantitative and qualitative insights. These insights can

support strategic planning and decision-making regarding ecosystem orchestration in a complex environment, within the limitations inherent to the model.

The methodology followed for developing the simulation model is based on the framework proposed by [1], which outlines eight distinct phases. The first two phases, problem definition and study design, were presented in the previous sections (5.1 and 5.2). The third and fourth phases, the conceptual model design (3) and input data formulation, assumptions, and process definition (4), is addressed in the current section (5.3).

For this phase, given the plurality of organizations acting independently, as well as the processes imposed by the funding agency, a hybrid simulation approach, combining agent-based modeling and discrete event modeling, was deemed the most suitable for the model's design. In this context, the ODD protocol introduced by [35] is particularly well-suited and will be used to describe the agent-based model in this section.

To achieve this, a preliminary study was conducted to identify endogenous elements, which evolve during the simulation as agents interact, and exogenous elements, which remain constant throughout the simulation but can be modified beforehand if defined as model parameters :

— Endogenous elements : Partnership formation ; the process of submitting and evaluating research proposals ; the progression of research projects ; the network effect on collaboration ; conflict management between partners ; and the publication of scientific articles.
— Exogenous elements : The agency's funding strategy ; the demographic characteristics of the ecosystem population ; organisations' R&D capacity ; the acceptance criteria for project funding ; and macroeconomic factors.

Given the stochastic nature of the innovation process, the simulation model will consider stages such as partnership formation, project evaluation by the funding agency, and even innovation development as events governed by probabilities. This means that simulation outcomes will vary from one run to another. The exogenous elements, as fixed parameters, provide a framework for comparing simulation results. This structure is based both on observations of the real ecosystem's functioning and on hypotheses. However, one exogenous element mentioned in the list—macroeconomic factors—will not be integrated into the model, as accounting for these would introduce an additional layer of complexity to the modelling process.

The agent-based model aims to represent organisations' innovation-related behaviours based on their demographic profiles. Although it is designed to reflect the funding model of the

Canadian agency Mitacs, it remains modular and can be adapted to reflect the demographic characteristics and funding rules of other regions.

The model elements are presented in Table 5.1, which describes the four types of agents used for modelling and simulating the innovation ecosystem. Upon model initialisation, each *Organisation* agent is assigned a category (i), distinguishing industrial firms from university researchers, and a parameter (e), indicating whether the organisation has previously participated in Mitacs-funded projects. Additionally, *Organisation* agents representing industrial firms are defined by further demographic characteristics, including their size (l) and type (j). Firms may be classified as small, medium, or large, and they may belong to government entities, non-profit organisations, or the private sector. These characteristics are determined based on distributions derived from an analysis of government and funding agency reports [58–61]. These attributes influence the behaviour of organisations in terms of project initiation. Specifically, each *Organisation* agent becomes active in seeking research partners at a monthly activation rate t, which varies according to the agent's characteristics, its capacity to carry out a maximum of C_i simultaneous projects, and the simulation year n.

The model agents operate and interact within the Main environment, as illustrated in Figure 5.1, which presents a simplified version of the UML class diagram. This diagram outlines the system components and their relationships as implemented in the model. The Main environment represents the innovation ecosystem, where Organisation Agents (OA) interact with each other and with the Funding Agency Agent (FAA) to secure funding, which is conditional upon the initiation of a collaborative research project (PA). To achieve this, OA agents engage in networking activities to identify potential partners with whom they wish to collaborate, leading to the creation of a PA agent, which represents the research project. Subsequently, the PA agent submits a funding request in the form of a Project Proposal Agent (PPA), which is then sent to and evaluated by the FAA agent. A positive response results in the project's launch, whereas a negative response leads to its abandonment. In the model, PA and PPA agents are not only the outcomes of collaboration between organisations but also serve as communication channels between the project stakeholders. Organisations communicate during the innovation development process, and they also interact with the funding agency to secure financial support.

At each stage of a project's lifecycle, the *Organisation* agents make a series of decisions. Figure 5.2 illustrates the different states an organisation can be in during the simulation.

First, during the initialisation phase, an organisation decides whether to initiate a partner search at a monthly rate t (1). If it chooses to do so, it selects a number X_d of organisations to contact, with a proportion p_{firms} belonging to the *Industry* category and a proportion

Tableau 5.1 Overview of Model Agents

Agent Type	**Description**
Funding Agency Agent (FAA)	This agent represents the organisation responsible for selecting projects eligible for funding based on predefined criteria. To carry out this task, it receives project proposals from specific agents called Project Proposal Agents (PPA). It evaluates these proposals and communicates the results of its assessment, determining whether the projects can proceed or not.
Organisation Agent (OA)	These agents represent the various organisations within the ecosystem that may participate in R&D activities and collaborate to develop a project proposal for funding from the *Funding Agency Agent* (FAA). Their role is to initiate collaborations by contacting potential partners based on their capacities. The agents are categorised into two types : *Industry* and *University* agents.
Project Agent (PA)	These agents represent the different projects initiated by collaborating organisations. A PA is created when the organisation initiating the project secures enough positive responses from other organisations, a necessary condition for accessing funding. At this stage, the number of internship units and the research topic are defined.
Project Proposal Agent (PPA)	These agents represent the proposals submitted to the funding agency for evaluation. Each proposal can either be accepted, allowing the project to proceed, or rejected, leading to the project's termination.

$p_{network}$ being part of its existing network (2). Once the invitations are received, the contacted organisations decide whether to accept the invitation and participate in the project, based on a probability p_{refus}, which varies depending on whether the contacted organisation is already part of the initiator's network or has previously taken part in a Mitacs-funded research project (3). If the initiating organisation receives at least one positive response, it proceeds to create the corresponding *PA* (4).

Next, at the project initiation stage, a *PPA* is created to represent the funding request submitted to the *FAA* for evaluation (5). The *FAA* agent then assesses the proposal by verifying its compliance with the eligibility criteria, including S_{Mitacs} (the minimum required number of internship units) and $I_{partners}$ (ensuring that the partnership includes at least the minimum required number of *Industry* and *University* agents), and decides to approve the application based on a probability p_{accept} (6). If the request is accepted, the project begins ; otherwise, the partnership is dissolved, effectively terminating the project (7).

Finally, during the project development stage, partners collaborate to advance their innovation at a monthly progress rate (8). Every four months (one internship unit), there is a probability $p_{conflict}$ that a conflict arises between the partners, leading to the termination of the partnership and an early project discontinuation (9). If the project is successfully comple-

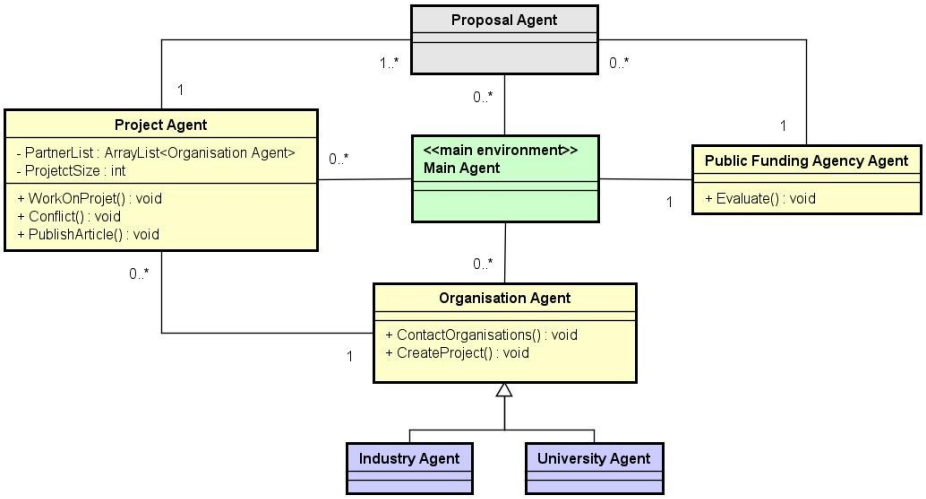

FIGURE 5.1 Simplified UML Class Diagram

ted without conflict, the project partners may publish a scientific article to disseminate their findings, marking the project's success and the satisfaction of the partners with its outcomes. The likelihood of publication, $p_{article,d}$, varies based on the characteristics of the partnership (10).

The agent-based model described earlier was implemented using the university edition of AnyLogic (version 8.9.3). A combination of agent-based modelling (ABM) and discrete event modelling was employed to create a digital representation of the innovation ecosystem, with a predominant emphasis on the agent-based paradigm. Figure 5.3 illustrates the different states of organisations and their interactions, as implemented in the model.

Once the model is implemented, it is essential to make it operational by conducting validation and calibration phases. Calibration involves adjusting certain model parameters with the same objective—enhancing the accuracy of the real-world representation. Validation, on the other hand, ensures that the digital replica effectively reproduces the behaviours of the real-world system. This process ensures that the model can be reliably used to explore different scenarios and make informed decisions regarding the governance of the innovation ecosystem. To achieve this, data from various sources were collected :

— **ISDE Organisational Plan** [58, 62–64] : These annual reports present the performance of Mitacs' funding programmes in terms of innovation. They provide data on the number of funded internship units, as well as the number and characteristics of the organisations participating in Mitacs projects ;

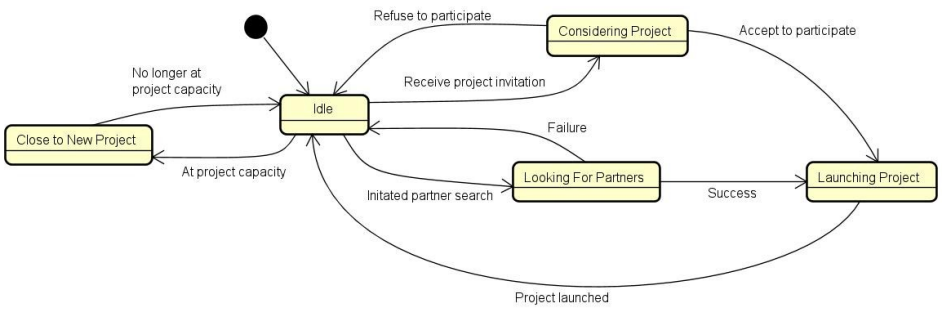

FIGURE 5.2 State Diagram of an Organisation

— **Canadian Census** [59–61] : These government reports provide an overview of the industrial and academic demographics at the national level ;
— **Web of Science Database** [65] : This database was used to extract the number of scientific articles published that acknowledge Mitacs as a funding agency. Given the time lag between the start of a project and the publication of an article, it was hypothesised that an article is published two years after the project launch ;
— **Mitacs Database** [66] : This internal database contains information on funding applications for each internship unit, including the industrial and academic partners involved and the project's status—whether it was approved, rejected, cancelled due to a conflict, or successfully completed.

Moreover, several hypotheses were formulated to compensate for the lack of data on certain topics or due to technical limitations. These hypotheses, along with their impact on the model and the simulation results, are presented in Table 5.2.

5.4 Model Calibration and Validation

This section elaborates on the fifth phase of the methodology, which focuses on the construction, verification, and validation of the simulation model [1]. The calibration method used in this study is based on gradient optimisation, enabling a more efficient calibration process by leveraging the internal information of the model. Using empirical data that describes the behaviour of firms and professors in their ability to initiate collaborative research projects, the model generates adoption curves that represent the number of agents engaging in collaborations over time, ensuring that these patterns closely align with real-world observations.

Each agent in the model is characterised by a set of attributes, including organisation size,

Tableau 5.2 Model hypotheses and their impacts

Hypothesis	**Impact**
Initial population size ($I = 1000$, $P = 1000$)	To reduce computational time, the number of organisation has been scaled down to a more manageable level. To maintain consistency with this reduction, the number of simulated projects has also been adjusted proportionally, ensuring realistic dynamics in the model's interactions.
Capacity of firms and universities (Firm cap = 1, Univ cap = 3)	A company can only participate in one project at a time, whereas a professor can manage multiple projects simultaneously. This assumption, made due to the lack of data on organisational capacity, imposes a constraint on project initiation and collaboration. However, it may underestimate the ability of organisations to launch projects, potentially leading to an overestimation of the number of organisations participating in Mitacs projects in the simulation.
Probability of accepting an invitation ($p = 0.95$)	Each organisation has a probability of responding positively to an invitation to collaborate on a project. This rate may vary depending on the familiarity between partners and their prior knowledge of Mitacs. This assumption introduces variability in collaboration formation and reflects a dynamic in which some actors may be more selective in their engagements.
Proportion of partners from the network $p \sim U(0.1, 1)$	When an organisation seeks partners, part of its invitations is sent to existing contacts within its network. The proportion of known partners varies according to a random distribution, allowing the simulation of different collaboration strategies, ranging from highly exploratory behaviour to one based on established partnerships.
Number of internship units per project $n_{us} \sim Beta(1, 3, 1, 10)$	Due to a lack of precise data on the exact number of projects, but with information on the total number of internship units, it was assumed that a project has an average of 3.25 internship units. The adopted distribution reflects this assumption, with most projects comprising one or two internship units. However, this approximation could influence the number of research projects initiated and the total number of funded internship units in the simulation compared to reality.
Number of partners per project $X_d \sim Beta(1.4, 23.8, 2, 10)$	This assumption was made due to a lack of precise data on the exact number of partners per project. However, since a project must have at least two partners to be launched, the adopted distribution remains consistent with this constraint. Nevertheless, this approximation could influence the number of participants in research projects during the simulation compared to reality.
Proportion of project proposals accepted by Mitacs ($p = 95\%$) and Proportion of projects prematurely terminated due to conflict ($p_{\text{conflict}} = 5\%$)	These assumptions were formulated based on the analysis of the database provided by Mitacs. They could influence the number of projects initiated by organisations (regardless of their acceptance) as well as the number of conflicts observed during the simulation compared to reality.

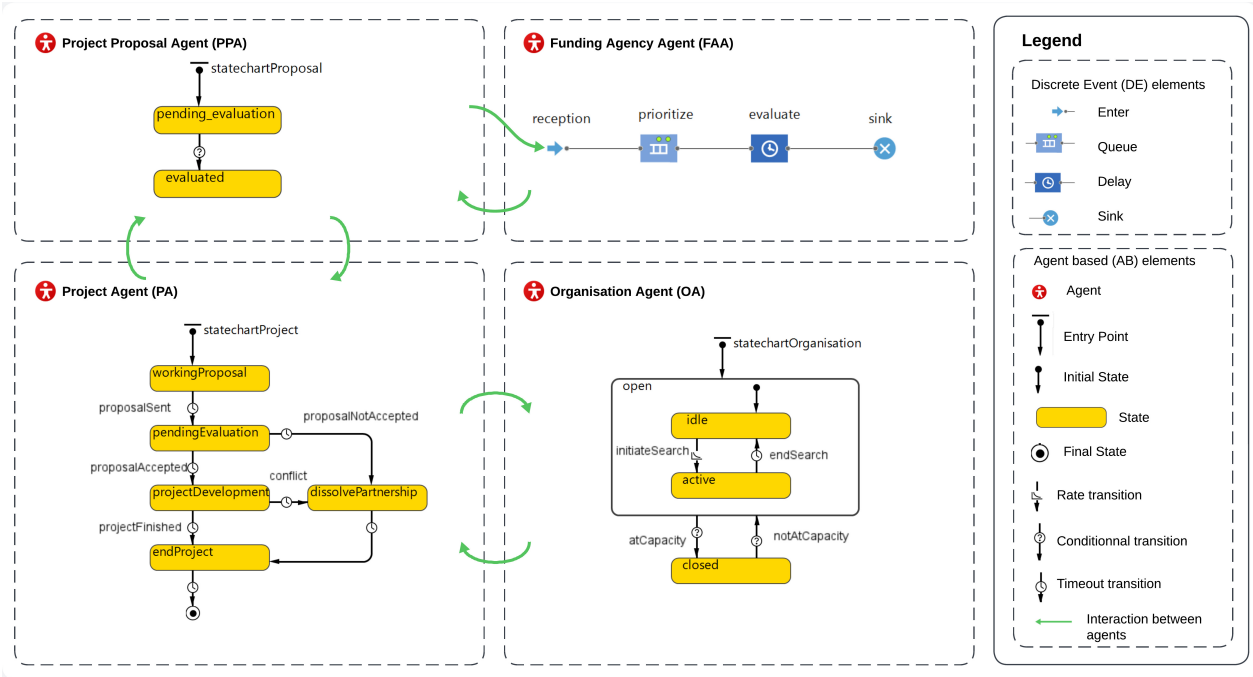

FIGURE 5.3 State Diagrams of Agents and Their Relationships in the Model

organisation type, familiarity with Mitacs, and their role as either a professor or a business entity. These attributes are incorporated into a function, referred to as the utility function, which represents their project initiation behaviour. The attributes are weighted by coefficients that reflect the impact of these characteristics on their propensity to engage in collaborations. These coefficients, adjusted during the calibration process, help refine the representation of ecosystem dynamics. Figure 5.4 illustrates the calibration steps, detailing the sequence of parameters to be calibrated, followed by the validation process.

To assess the quality of the model's predictions, we use a loss function that quantifies the discrepancy between the observed data $Y_{g,t}$ and the simulated data $\widetilde{Y_{g,t}}(\vec{\alpha})$. This loss function is defined as follows :

$$L = \sum_{g,t} \left(Y_{g,t} - \widetilde{Y_{g,t}}(\vec{\alpha}) \right)^2 \tag{2}$$

The calibration process aims to minimise this loss function by adjusting the coefficients α. This ensures that the simulated values align with the observed data, thereby ensuring that the model faithfully reproduces the real system's behaviour [67].

As shown in Figure 5.4, at each stage, the parameters defining the organisations' behaviour in initiating projects are calibrated and subsequently validated over multiple replication to

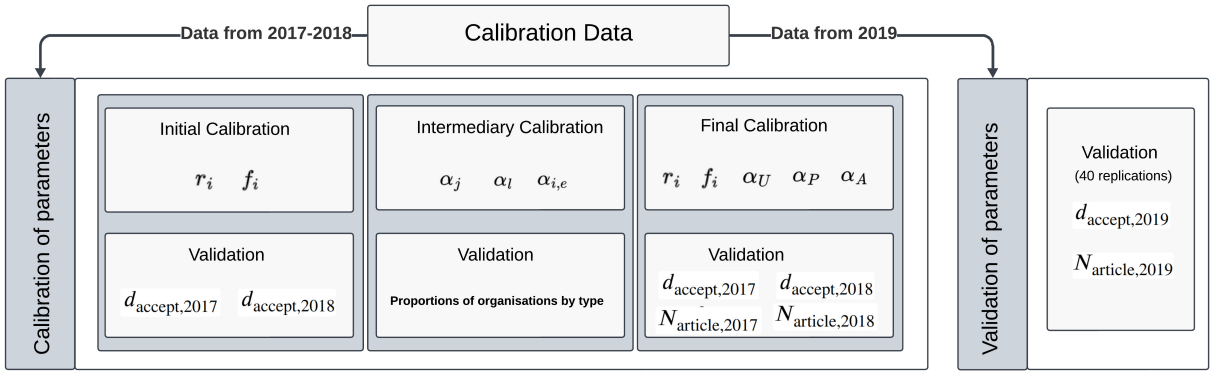

FIGURE 5.4 Calibration Approach

ensure coherence between the simulated and real values. The initial calibration provides a preliminary estimate of the monthly activation rates for *Industry* and *University Organisation* agents. This calibration is validated multiple times and then compared with the actual number of accepted projects $d_{\text{accept, n}}$ for the years 2017 and 2018. Subsequently, using behavioural data on organisations obtained from Mitacs reports, a calibration was conducted to accurately represent the behaviour of organisations based on their characteristics (size, type, familiarity with Mitacs) [58, 62–64]. To achieve this, the parameters α_j, α_l et $\alpha_{i,e}$ from equation 9, which define the monthly activation rate of organisations, were calibrated and validated to obtain results that closely match the real observed proportions. The results of the intermediate calibration are presented in Table 5.3.

$$t_{i,j,l,e,n,m} = \begin{cases} r_i \cdot f_i^n \cdot \alpha_j \cdot \alpha_l \cdot \alpha_{i,e}, & \text{si } N_{\text{projets},m} < C_i \\ 0, & \text{else} \end{cases} \tag{9}$$

Where r_i is the base activation rate for an organisation of type i (industry or professor) ; f_i^n, the factor reflecting the growth of the Mitacs network on the behaviour of organisations of type i in year n ; α_j, α_l, and $\alpha_{i,e}$, the calibrated constants that indicate respectively the impact of the firm's type, the firm's size, and the organisation's familiarity with Mitacs for category i on the activation rate ; $N_{\text{projects},i,m}$, the number of projects currently in progress for the organisation in month m ; and C_i, the maximum capacity of the organisation of type i.

$$p_{\text{article},d} = \min\left(1, U_d \cdot \alpha_U + P_d \cdot \alpha_P + A_d \cdot \alpha_A\right) \tag{10}$$

Where U_d corresponds to the number of internship units of the project ; P_d, the variable indicating whether

the members of project d have previously collaborated on a project ; A_d, the variable indicating whether at least one member of project d has previously published a scientific article ; and α_U, α_P, and α_A, the associated calibrated constants.

Tableau 5.3 Intermediate Calibration of Firms and Professors

Category	**Calibration Indicators**	**Real**	**Simulated**		**% Error**
			Avg	**Std**	
Firm	Proportion of firms that initiated a project, which are small-sized (%)	75%	75.18%	0.025	1.72%
	Proportion of firms that initiated a project, which are medium-sized (%)	10%	10.49%	0.015	1.33%
	Proportion of firms that initiated a project, which are large-sized (%)	15%	14.33%	0.020	1.58%
	Proportion of firms that initiated a project, which are private sector firms (%)	70%	67.64%	0.029	2.93%
	Proportion of firms that initiated a project, which are non-profit organisations (NPOs) (%)	25%	27.58%	0.027	2.75%
	Proportion of firms that initiated a project, which are government organisations (%)	5%	4.78%	0.011	0.82%
	Proportion of firms that initiated a project, which have previously participated in a Mitacs project (%)	56%	59.52%	0.020	3.71%
Professor	Proportion of professors that initiated a project, who have previously participated in a Mitacs project (%)	41%	41.74%	0.039	2.93%

Finally, a final calibration was performed to adjust the parameters r_i and f_i for the calculation of the monthly activation rate, as well as the parameters α_U, α_P, and α_A used for calculating the probability that a project leads to the publication of a scientific article, as presented in Equation 10.

Once this calibration was validated against the real values of the indicators d_{accept} and N_{article} for the years 2017 and 2018, an additional year was simulated in the model, and the generated data was compared with the real data of the same indicators for the year 2019.

In this study, the objective is to identify general trends rather than to obtain precise numerical values, placing it within the category of exploratory experiments rather than controlled simulations. Rather than being guided by a predefined theoretical framework, this approach aims to reveal patterns and emergent behaviours within the simulated ecosystem. Given the system's complexity and the limited availability of detailed empirical data, an exploratory methodology allows for the examination of interactions between different mechanisms, helping to uncover potential gaps or areas for refinement in the model. By systematically testing various assumptions, we can highlight key dynamics that may inform future hypothesis-driven research and model improvements [68]. For this reason, validation results, showing error rate

below 10% for both selected indicators, comparing real and simulated values, are acceptable, as shown in Table 5.4.

Additionally, it is important to note that the parameter $p_{\text{conflict_unité}}$ was adjusted during calibration to ensure that the number of projects leading to a conflict represents 5% of the total number of projects.

TABLEAU 5.4 Final calibration and validation of performance indicators : d_{accept}, the number of accepted projects, and P_{article}, the proportion of articles published per project (%).

KPIs	Final Calibration								Validation			
	Year 2017				Year 2018				Year 2019			
	Actual	Simulated		% Error	Actual	Simulated		% Error	Actual	Simulated		% Error
		Avg	Std			Avg	Std			Avg	Std	
d_{accept}	187.5	185.75	12.57	5.69%	192.9	195.5	12.64	5.33%	238.9	243.375	19.2	6.65%
P_{article}	45.39%	43.85%	0.04	3.81%	57.8%	49.94%	0.036	7.81%	59.06%	49.94%	0.036	9.12%

5.5 Experience

By analysing the literature, it was possible to identify several categories of performance indicators used to evaluate the functioning of an innovation ecosystem. Firstly, there are network indicators, which allow for the assessment of the structure and size of the Mitacs network, as well as its evolution [25, 27–29]. Secondly, there are indicators that measure the effectiveness of the funding system in leading to the development of research projects, which can be measured by the number of initiated projects [29] or by the amount of funding credits provided to organisations [26]. Finally, some studies use indicators related to innovation performance, such as the development of new products, services, or patents following a research project [11, 25, 26]. These categories served as the basis for developing the indicators used to evaluate the simulation model in this study, whose equations are presented in Table 5.5.

Indeed, the indicators *Number of accepted projects, Number of published articles, Number of participants, and Density of the Mitacs network (%)* align with these three categories, providing a comparative basis with other studies in the field. Additionally, another indicator was developed to measure the effectiveness of research projects in reaching completion, namely the *Number of conflicts*. This issue was raised by Mitacs managers and identified in the literature as a significant challenge in innovation management [17], yet it has been overlooked in the previously mentioned simulation studies. Furthermore, it was deemed relevant to assess the proportion of published articles and conflicts per accepted research project, in addition to the total number, as these are conditional on project creation. Their variations could obscure certain insights that these indicators specifically help to reveal.

Tableau 5.5 Mathematical formulation of the performance indicators

Indicator	Equations
Number of accepted projects	$$d_{\text{accept}} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{d=1}^{d_{\text{init},i}} I_{\text{criteria},d} \quad (1)$$ Where : $d_{\text{init},i}$ is the number of projects initiated in year n ; $I_{\text{criteria},d}$ is a variable that indicates whether the application for project d meets Mitacs' criteria. To be accepted, the project must have the required number of partners (I_{partners}), include a number of internship units exceeding the minimum requirement (S_{Mitacs}), and meet the required quality standards, with a probability of acceptance given by p_{accepted}.
Number of published articles	$$N_{\text{article}} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{d=1}^{d_{\text{accept},i}} (1 - p_{\text{conflict},d}) \cdot I_{\text{article},d} \quad (2)$$ Where : $d_{\text{accept},i}$ is the number of projects accepted in year i ; $p_{\text{conflict},d}$ is the probability of conflict occurring during project d ; and $I_{\text{article},d}$ is the variable indicating whether an article is published for project d.
Proportion of published articles per project	$$P_{\text{article}} = \frac{N_{\text{article}}}{d_{\text{accept}}} \quad (3)$$ Where : N_{article} is the number of published articles ; and d_{accept} is the number of accepted projects.
Number of conflicts	$$N_{\text{conflict}} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{d=1}^{d_{\text{accept},i}} p_{\text{conflict},d} \quad (4)$$ Where : $d_{\text{accept},i}$ is the number of projects accepted by Mitacs, initiated in year i ; and $p_{\text{conflict},d}$ is the variable indicating the presence of a conflict in project d.
Proportion of conflicts per project	$$P_{\text{conflict}} = \frac{N_{\text{conflict}}}{d_{\text{accept}}} \quad (5)$$ Where : N_{conflict} is the number of conflicts ; and d_{accept} is the number of accepted projects.
Number of internship units	$$N_{\text{units}} = \sum_{n=1}^{n} \sum_{d=1}^{d_{\text{accept},i}} (n_{\text{size},d} - n_{\text{conflict units},d}) \quad (6)$$ Where : $d_{\text{accept},i}$ is the number of projects accepted by Mitacs, initiated in year i ; $n_{\text{size},d}$ is the number of internship units in project d ; and $n_{\text{conflict units},d}$ is the number of internship units not completed due to a conflict.
Number of participants	$$N_{\text{participant}} = \sum_{o=1}^{O} I_{\text{project},o} \quad (7)$$ Where : $I_{\text{project},o}$ is the variable indicating whether organisation o has participated in a Mitacs project and O, the number of organisations in the ecosystem.
Mitacs network density (%)	$$\text{Density} = \frac{C}{C_{\max}} \quad (8)$$ Where : C is the number of connections between organisations with $I_{\text{project},o} = 1$; and $C_{\max}$ is the total number of possible connections, measured by the equation $\frac{N_{\text{participant}} \cdot (N_{\text{participant}} - 1)}{2}$

It is important to note that some of the articles mentioned earlier measure the performance of the innovation ecosystem using a different category of indicators, namely learning and knowledge transfer [11, 29]. Based on the concept of *Kene*, representing units of knowledge, these indicators describe organisations' areas of expertise and types of knowledge (basic or applied), which can evolve, be acquired (learning), or be lost (knowledge attrition) throughout the simulation. The studies using these indicators seek to evaluate how certain innovation policies impact learning within the ecosystem through collaborative research projects. That said, it was decided in this study not to model learning and knowledge transfer to simplify the model and due to a lack of empirical data on the subject. Instead, the *Number of published articles* indicator was preferred, as it provides an overview of the innovation developed and learning achieved during the research project.

5.5.1 Presentation of Experiences

This section elaborates on the sixth and seventh phases of the methodology, namely the formulation of the experimental design (6) and the presentation of results (7) [1]. The following experiments were designed to analyse the impact of three public policies that could be implemented by the funding agency Mitacs to promote the development of collaborative research projects. To define these experiments, an analysis of the issues discussed in the literature was conducted to justify their relevance. The experimental factors of the selected experiments are presented in Table 5.6.

The first series of experiments examines the impact of reducing conflicts by varying the probability that a project's internship unit leads to a conflict and causes the premature termination of the project. In our model, conflict management is considered an endogenous factor as it evolves based on the project's size. However, it also has an exogenous component, which is the subject of this experiment : the probability of conflict per internship unit, defined as fixed throughout the simulation. Identified as a critical issue by Mitacs, this experiment,

Tableau 5.6 Overview of the experiments

Experiment 1	**Experiment 2**	**Experiment 3**
Experimental Factor : Probability of conflict per internship unit ($p_{\text{conflict},units}$) **Benchmark Value** : $p_{\text{conflict},units} = 0.02$	**Experimental Factor** : Minimum number of internship units required to launch a project (S_{Mitacs}) **Benchmark Value** : $S_{\text{Mitacs}} = 1$	**Experimental Factor** : Minimum threshold of network partners contacted for a project ($p_{\text{network, min}}$). This parameter is used to calculate $p_{\text{network}} \sim \mathcal{U}(p_{\text{network, min}}; 1)$. **Benchmark Value** : $p_{\text{network, min}} = 0.1$

by varying this exogenous component, allows for the evaluation of how improved conflict management by Mitacs and project participants could enhance the ecosystem's performance.

The second series of experiments analyses the impact of introducing a minimum project size threshold for acceptance by Mitacs. Currently, no such threshold is imposed, and this experiment aims to assess how the funding agency selects the projects to be funded. This aligns with studies exploring the variation in selection criteria, such as [29], which modifies the number of required partners to initiate a project and evaluates its effects on various indicators.

The third series of experiments examines the impact of a change in participant behaviour, favouring repeated collaboration with the same partners rather than exploring new partnerships, within the Mitacs ecosystem. In the absence of precise data, the benchmark hypothesis assumes that organisations freely select their partners, regardless of past collaborations. However, encouraging recurring collaborations resembles the implementation of a clustering policy, a topic explored in the literature [27]. This experiment aims to assess the effect of this dynamic on network formation and innovation performance by analysing the consequences of increased concentration of collaborations.

Experiment 1 : Effect of Improved Conflict Management Between Partners

During interviews with Mitacs managers, a key issue for the organisation's leadership was identified : the number of conflicts between project partners, leading to premature termination of collaborations. These conflicts can arise from various causes, including cultural and institutional differences between academia and industry, which can result in divergent expectations regarding research outcomes. They may also stem from contractual disagreements, such as those concerning the ownership of patents and discoveries resulting from the project, among other examples [6]. These tensions present a major challenge in the governance of innovation projects, as they create inefficiencies that can hinder the innovation process.

With this in mind, this series of experiments was designed to assess the impact of improved conflict management by Mitacs. Such an improvement would be reflected in a reduction of the probability of conflict per internship unit, thereby decreasing the total number of conflicts.

We can then expect several results :

— Reduction in the number of conflicts : This is the most obvious outcome. Indeed, a reduction in the probability of conflict per internship unit ($p_{\text{conflict},units}$) logically leads to a decrease in the overall probability of conflict and, consequently, a reduction in the total number of conflicts.

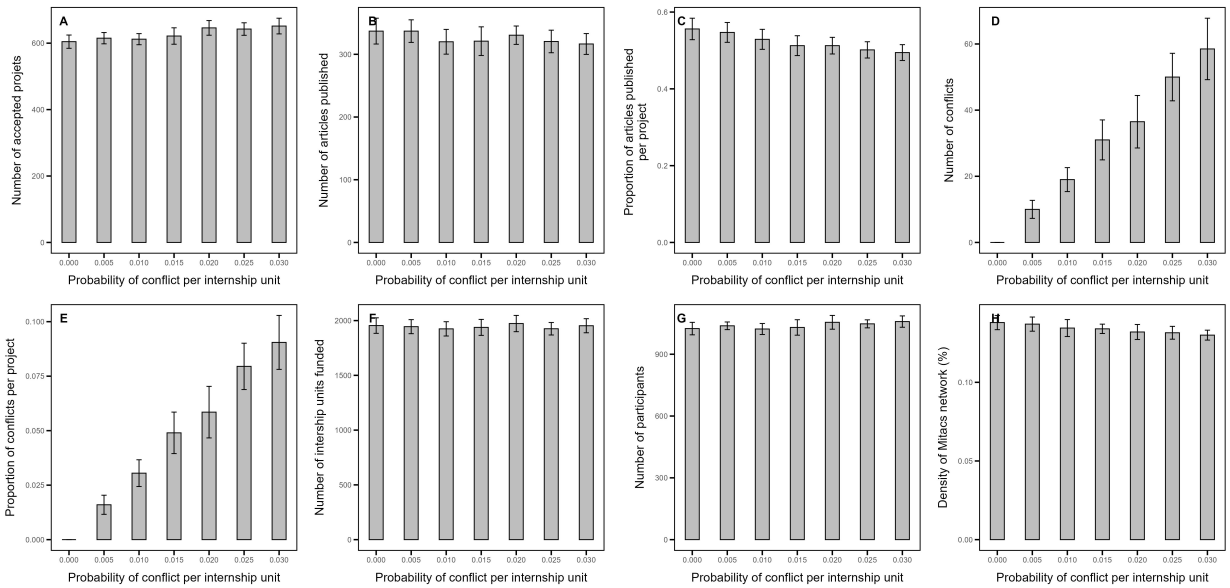

FIGURE 5.5 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) organisation participation, and (**H**) network density, based on the variation of the probability of conflict per internship unit.

— Decrease in the number of projects initiated : This result may seem counterintuitive, but it is a logical conclusion, given that participants spend more time developing innovations rather than searching for partners to initiate new projects. In effect, a decrease in conflicts would lead to an increase in successfully completed projects but a reduction in the number of projects initiated.

— Improvement in the proportion of articles published per project : Indeed, a decrease in the probability of conflict leads to an increase in the proportion of projects that result in a publication, as project success is a prerequisite for publication.

By reducing $p_{\text{conflict},units}$ from 2% to 0.5%, Figure 5.5A shows a 2.07% decrease in the number of accepted projects by Mitacs (from 628 ± 26.8 to 615 ± 16.9). This decrease confirms the expected outcome of this experiment. This result is partly due to the participants' capacity C_i, which, in the model, limits the number of simultaneous projects they can undertake.

However, while the number of accepted projects decreases, that is not the case for the number of accomplished projects. Indeed, Figures 5.5D and 5.5E illustrate the effect of reducing

$p_{\text{conflict},units}$, the probability of conflict per internship unit, on the total number of conflicts and the proportion of conflicts per project. A linear relationship between these variables is evident, as when $p_{\text{conflict},units}$ decreases from 2% to 0.5%, the total number of conflicts and the proportion of conflicts per project decrease by 75.61% and 74.4%, respectively. Specifically, the total number of conflicts drops from 41 ± 6.2 to 10 ± 2.7, while the proportion of conflicts per project declines from 6.25% ± 1.1% to 1.6% ± 0.4%. By reducing $p_{\text{conflict},units}$, the number of accepted projects decreases by 13, while the number of conflicts decreases by 31, resulting in a net gain of 18 successfully completed projects. This demonstrates that the reduction in conflicts outweighs the loss of projects, highlighting the positive impact of an effective conflict management policy.

Moreover, despite the decrease in the number of accepted projects when varying $p_{\text{conflict},units}$ from 2% to 0.5%, there is a 3.37% increase in the number of published articles, rising from 326 ± 18.3 to 337 ± 18 published articles (Figure 5.5B). However, this increase remains relatively small and subject to high variability, making it difficult to conclude that reducing the probability of conflict necessarily leads to an increase in the number of published articles. This is due to the overall reduction in the number of projects, which results in fewer projects that could potentially lead to publications. Nevertheless, there is a clear increase in the proportion of articles published per project, as shown in Figure 5.5C, thereby validating the initial hypothesis. Specifically, when varying $p_{\text{conflict},units}$ from 2% to 0.5%, the proportion of projects leading to a publication increases by 5.85%, rising from 51.68% ± 2.6% of accepted projects to 54.7% ± 2.5%, caused by the higher number of completed projects that result in publications.

Although the number of accepted projects decreases with improved conflict management, Figure 5.5F shows a relatively minor impact on the number of funded internship units. Specifically, a reduction of $p_{\text{conflict},units}$ from 2% to 0.5% results in a 0.91% increase in the number of funded internship units, rising from 1927 ± 70 to 1944.5 ± 64. This increase can be attributed to the completion of a greater number of internship units due to the decline in conflicts.

Regarding the number of participants, defined as the number of firms and professors engaged in research projects, Figure 5.5G illustrates the effect of varying $p_{\text{conflict},units}$ on this indicator. A decrease of 0.81% in the number of participants is observed (from 1046.5 ± 26.05 to 1038 ± 18.6) when $p_{\text{conflict},units}$ is reduced from 2% to 0.5%. Although this variation is relatively minor, it highlights a trend caused by the decline in participant activity. As fewer new research projects are initiated, the participation of new organisations also decreases. Organisations unfamiliar with Mitacs are less likely to be solicited by those already engaged

in the programme.

Finally, an increase of 3.4% in the density of the Mitacs network is observed, rising from 0.132% ± 0.005% to 0.137% ± 0.005% (Figure 5.5H). This increase in network density can be attributed to the reduction in conflicts. In this model, it was assumed that when a conflict arises, leading to the termination of a project, participants choose to "cut ties" and refrain from working together in the future. This is represented by the removal of the connection between members. However, this simplified representation of conflicts may be inaccurate, as conflicts can arise for various reasons beyond misunderstandings and may, in some cases, lead to further collaborations in the future.

Experiment 2 : Effect of Implementing a Minimum Threshold for Project Size

In this experiment, it is relevant to assess a policy that can be easily implemented by Mitacs : making a project eligible for funding only if its number of internship units exceeds S_{Mitacs}, i.e., more than one unit. The aim of this measure would be to encourage larger-scale projects and to incentivise industrial organisations to allocate more resources to their research projects. This experiment allows an analysis of the impact of this policy on the selected indicators.

First, several results are expected from this experiment :

- Decrease in the number of accepted projects : Since access to funding is more restrictive, a reduction in the number of projects accepted by Mitacs is expected ;
- Increase in the proportion of articles per project : During calibration, a positive weight was assigned to project size for calculating the probability $p_{\text{article},d}$, ensuring that the likelihood of publishing an article increases as the project size grows.
- Increase in the proportion of conflicts per project : Although implementing the threshold may lead to more published articles, it can also increase the number of conflicts. Indeed, the probability $p_{\text{conflict},d}$ rises with larger project sizes. Therefore, a higher proportion of conflicts per project is anticipated.

Figure 5.6A confirms the first assumption, showing a 16.9% decrease in accepted projects when setting a threshold of $S_{Mitacs} = 3$, reducing the number of accepted projects to 522 ± 20.9. This trend is further validated when observing the results at the threshold $S_{Mitacs} = 7$, where only 100 projects are accepted over the three years of simulation (115.5 ± 8.11 projects). This decline can be explained by the distribution used to model the number of internship units per project, $n_{us} \sim Beta(1, 3, 1, 10)$ (as mentioned in the Appendix). Indeed, smaller projects are more frequent than larger ones, making large-scale projects considerably rarer.

This negative trend manifests as a reduction in the number of published articles. Figure

5.6B shows a 20.1% decrease in published articles when imposing a threshold of S_{Mitacs} = 3, resulting in 260.5 ± 14.4 articles. Additionally, Figure 5.6C illustrates the impact of implementing a threshold on the proportion of articles per project, which initially drops by 3.9% at $S_{Mitacs} = 3$, reaching 49.65% ± 2.4% articles per project, before increasing by 27.3% to reach 65.8% ± 5.9%. This variation highlights the initially weak impact of project size on the probability $p_{\text{article},d}$, which then significantly increases for larger projects. Figure 5.6C confirms the assumption of a rise in the proportion of articles per project, but only once the threshold reaches a certain value ($S_{Mitacs} = 4$) ; otherwise, it declines.

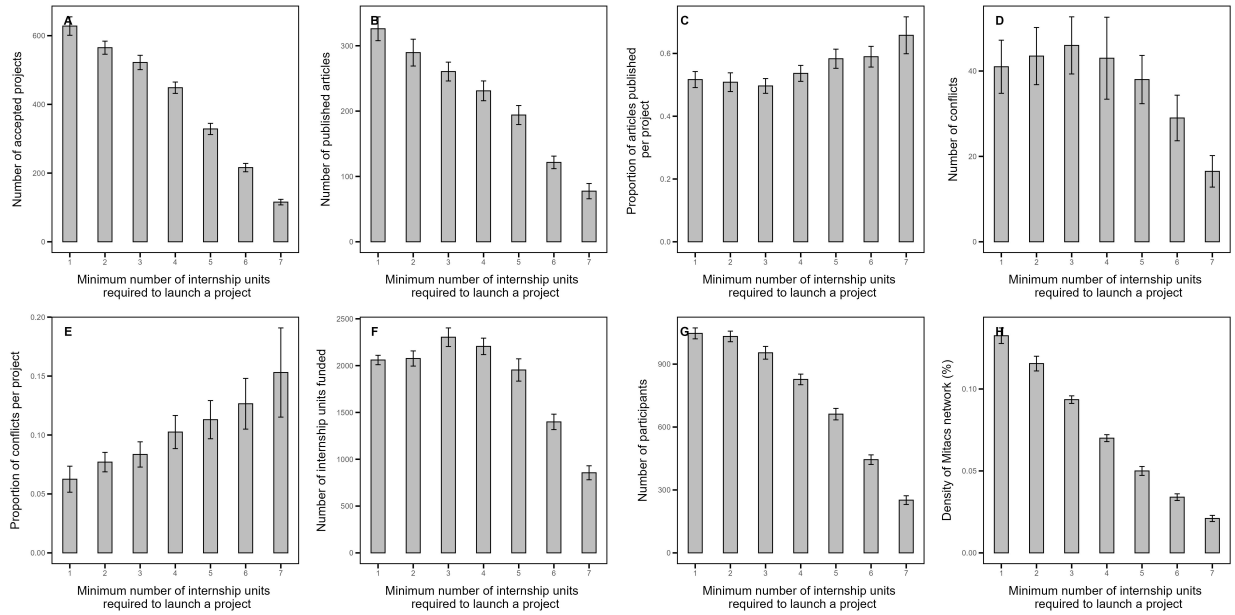

FIGURE 5.6 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) organisational participation, and (**H**) network density, according to variations in the minimum project size threshold.

Additionally, Figure 5.6E shows that the proportion of conflicts per project indeed increases as the threshold value rises, with increasingly larger projects being created, each with a higher probability $p_{\text{conflict},d}$. This proportion increases by 33.6% at a threshold of S_{Mitacs} = 3, reaching 8.35% ± 1.1% conflicts per project, validating our final assumption. Finally, as seen in Figure 5.6D, this rise in the proportion of conflicts initially results in an increase in the total number of conflicts, with a 12.2% rise to 46 ± 6.7 conflicts at $S_{Mitacs} = 3$, followed

by a decrease of 59.8%, dropping to 16.5 ± 3.7 conflicts at $S_{Mitacs} = 7$. This initial increase is due to the higher proportion of conflicts observed in Figure 5.6E, while the subsequent decline results from the significant drop in the number of accepted projects.

Regarding the number of internship units, the implementation of a threshold has the positive effect of encouraging larger projects, initially leading to an increase in the total number of internship units compared to the benchmark. Indeed, Figure 5.6F shows a 19.54% increase in the number of internship units at $S_{Mitacs} = 3$, reaching 2303.5 ± 99.1 units. The total number of internship units increases because organisations whose projects are rejected due to being too small tend to resubmit larger proposals, which are eventually accepted when they exceed the threshold. However, this indicator subsequently drops by 58.5% compared to the benchmark, reaching 855.5 ± 74.7 internship units at a threshold of $S_{Mitacs} = 7$. This variation is due to the decline in the number of accepted projects as S_{Mitacs} increases. While accepted projects are larger in scale, the total number of internship units initially rises, but this increase is not sustained as the number of accepted projects declines drastically.

Finally, this reduction in the number of projects results in a lower number of participants in research projects, as observed in Figure 5.6G. A decrease of 8.8% in participants is measured at $S_{Mitacs} = 3$, reaching 954 ± 30.4 participants. Figure 5.6H, meanwhile, illustrates a decrease in the density of the Mitacs network as the number of participants declines. Specifically, a 29.4% reduction in network density is observed, with a final density of 0.09% ± 0.002%. This indicates that even though fewer participants mean fewer possible connections, the actual number of connections formed is even lower. The Mitacs network becomes more fragmented, with fewer potential connections being established due to the reduction in accepted projects.

Experiment 3 : Effect of Intensifying Collaborations Among Network Partners

This experiment examines a crucial issue : the impact of frequent collaborations among network partners on innovation performance. The literature highlights that the structure of collaborative networks plays a decisive role in achieving highly novel innovations [69]. It is therefore relevant to assess how the mode of collaboration—whether organisations diversify their partners or favour a limited number of recurring collaborators—affects the performance of an ecosystem based on collaborative research between academics and industry actors.

Several outcomes are expected from this experiment :

— Similar number of accepted projects : Since this experiment does not alter the organisations' behaviour in terms of project initiation frequency (experiment 2) or project management (experiment 1), the number of accepted projects should remain comparable to the benchmark.

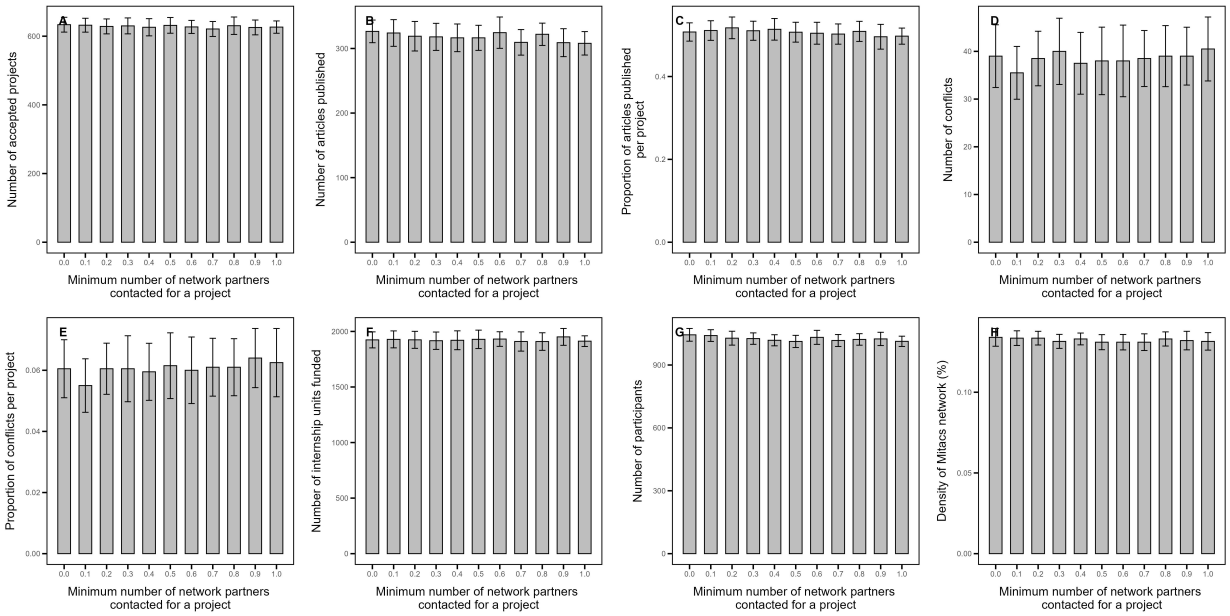

FIGURE 5.7 Evolution and uncertainties of (**A**) project acceptance, (**B**) article publication, (**C**) proportion of articles published per project, (**D**) number of conflicts, (**E**) proportion of conflicts per project, (**F**) number of internship units, (**G**) participation of organisations, and (**H**) network density, based on the variation of the minimum threshold for contacted network partners.

— Decrease in the number of participants : Although the number of projects is not expected to change, the way organisations initiate collaborations—specifically, which partners are contacted—does vary under this policy. It is anticipated that organisations will collaborate more frequently with past partners, leading to fewer new organisations being invited into Mitacs projects, reducing overall participation.

— Increase in the proportion of articles published per project : During calibration, a positive weight was assigned when project partners had collaborated on previous research projects. This weight influences the probability $p_{\text{article},d}$, increasing the likelihood of article publication if the partners have collaborated before.

However, contrary to expectations, the results presented in Figure 5.7 do not show significant variations when increasing the threshold $p_{\text{network, min}}$, making it difficult to establish a relationship between the experimental factor and performance indicators. The first assumption regarding the number of accepted projects is validated, as Figure 5.7A shows that increasing the threshold to $p_{\text{network, min}} = 0.9$—meaning that at least 90% of contacted partners

must come from the initiator's network—leads to a slight decrease of 0.4% in the number of accepted projects, reducing to 625.5 ± 21.5 projects.

Regarding the second assumption, while a decline in the number of participants was expected, very little variation is observed. Similarly, no significant impact on network density is observed, despite expectations that fewer connections would form when organisations almost exclusively collaborate with past partners (Figures 5.6G and 5.6H). This difference may be explained by the limited duration of the simulation, which may not be sufficient to observe substantial changes in the Mitacs network formation. It is therefore possible that more pronounced results would emerge if the simulation were run for a longer period than the current three-year span.

Finally, it is observed that the proportion of articles published per project does not vary with the increase in the threshold $p_{\text{network, min}}$, contrary to initial assumptions (Figure 5.6C). This observation can be explained by the calibration results of the probability $p_{\text{article, d}}$. Indeed, the weight P_d, associated with the fact that partners have previously collaborated, is set to 1. As a result, under this calibration, as soon as a partnership includes at least two organisations that have worked together before, the probability of publication reaches its maximum ($p_{\text{article, d}} = 1$). Consequently, beyond a certain threshold $p_{\text{network, min}}$, this variable ceases to influence the probability of publication, as every partnership will already include at least one former partner of the initiator, keeping the probability at its maximum level.

Additionally, since a significant proportion of organisations engage with Mitacs for the first time each year, any increase in the proportion of published articles should be gradual and primarily conditioned by network expansion. However, this expansion is expected to slow down with the decrease in the number of new firms being contacted, as organisations increasingly prefer to collaborate with already known partners.

5.6 Discussion

This section examines the key insights gained from the experimental design and discusses potential avenues for improving the model over time, corresponding to the eighth and final phase of the methodology proposed by [1].

Innovation evolves within complex systems where numerous actors interact and diverse knowledge circulates. This complexity presents challenges for researchers, as traditional analytical methods may have limitations in capturing such dynamics. To enhance the understanding of university-industry collaborations, it is valuable to consider approaches that account for these complexities. Multi-agent modelling offers a way to analyse these interactions and can

provide new insights.

A simulation model of collaborative innovation projects has been designed to assess the impact of strategic decisions made by a funding agency on the performance of the innovation ecosystem. The results of this study highlight the importance of considering all factors related to innovation management, not only those influencing the success of a research project but also the broader effects of innovation policies on the entire network.

The developed simulation model accurately reproduces the functioning of the Mitacs innovation ecosystem, a unique system that has not yet been studied in the literature. It stands out due to its validation using empirical data, the inclusion of key behaviours essential for studying the system, and its flexibility, allowing adaptation to different contexts.

Indeed, the lack of empirical validation represents a major weakness in certain simulation models examining the functioning of innovation ecosystems, posing a significant challenge in this field. This issue is exacerbated in contexts such as project management, where each project is unique and often launched sporadically, limiting the availability and comparability of key data. Additionally, data are often sensitive and held by companies, further complicating their collection. As highlighted by [70] and [71], data collection efforts have historically been restricted to general indicators such as R&D expenditure, thereby limiting the depth of analysis and the range of possible interventions. Regarding the developed model, the calibration performed enables the accurate prediction of the number of projects and scientific articles published, with a low error rate, over the simulated period.

Furthermore, the simplification of interactions in simulation models presents a major challenge, as it directly affects the relevance and accuracy of the results obtained. When developing a simulation model, it is crucial to select the appropriate level of abstraction based on specific objectives, which, for the study of an ecosystem, may involve capturing global dynamics such as knowledge creation or detailing interactions at the project and team levels. However, many models in the literature, particularly those focused on ecosystem management policies, tend to overlook micro-dynamics between actors [27–29]. They primarily focus on project initiation without accounting for the complex interactions and adjustments occurring at each stage of research projects. This omission prevents the capture of emergent behaviours essential for understanding project evolution and the impact of policies. In this study, it was deemed important to incorporate key dynamics of the Mitacs ecosystem, particularly project initiation, scientific output, and conflict management. This approach allows for a detailed analysis of the factors influencing system behaviour.

Finally, the specificity of solutions tailored to a particular domain represents another challenge in modelling innovation ecosystems. Many existing models in the literature focus on

specific contexts, such as a particular industry ([26, 28]) or a single type of actor ([25, 27]). While effective within their scope, these approaches are limited in their ability to be generalised or adapted to other sectors. For instance, the processes modelled by [11], although capturing relevant micro-dynamics in the biotechnology sector, cannot be effectively translated to innovation cases in other industries. Additionally, while models such as [29] have laid a solid foundation for inter-organisational collaboration and the role of orchestrators within an innovation ecosystem, they mainly focus on the establishment of partnerships. These models do not delve into the detailed dynamics and micro-dynamics specific to research project management or the intervention of orchestrators in complex environments. The model developed in this study aims to overcome these shortcomings, providing a detailed description to ensure reproducibility, modularity, and adaptability to other contexts.

The experiments conducted are aligned with the reality of Mitacs and the challenges faced by the agency, assessing the impact of public policies that it could implement. These experiments provided results consistent with the model's logic, indicating that it adequately represents reality. However, certain observations highlight its limitations.

In the first experiment, which evaluates the impact of improved conflict management on ecosystem performance, a decrease in the number of accepted projects is observed. This phenomenon can be attributed to the fact that organisations, whose projects would otherwise have been prematurely terminated, spend more time completing their ongoing projects, thereby initiating fewer new ones. While this outcome aligns with the model's logic, other possible dynamics could also be considered. For instance, improved conflict management might enhance organisations' experience, strengthening their engagement with Mitacs and potentially leading to an increase in the number of accepted projects over time. Introducing such feedback effects could provide a more comprehensive representation of reality.

Similarly, in the second experiment, which introduces a minimum threshold for project size, a decline in the number of accepted projects is observed. This result aligns with the model's expected behavior, as limiting smaller projects naturally reduces overall project acceptance. However, it is based on the assumption that the distribution of internship units per project remains fixed throughout the simulation. In practice, organisations might adapt their strategies in response to this constraint, adjusting project structures accordingly. Integrating such adaptive behaviors into the model could further enhance its realism and provide a more nuanced understanding of how project size constraints impact collaboration dynamics.

Ultimately, the model constitutes a simplification of a complex process. As an exploratory experiment, the model prioritizes uncovering key dynamics over precision, making it crucial to interpret the results in light of its underlying assumptions and limitations. However, an

analysis of existing models reveals a lack of comparability between obtained results due to the diversity of experiments conducted in the literature. None specifically address the implementation of policies aimed at better managing conflict dynamics within collaborative research projects. Additionally, some studies, such as [29], explore the impact of increasing the budget or the minimum number of partners per project, but they do not consider the effect of minimum thresholds in terms of project size (Experiment 2) or the number of network partners contacted (Experiment 3). Accordingly, this study seeks to bridge these gaps by proposing a novel experimental framework.

On the other hand, the results obtained could be taken out of context, potentially providing misleading information to decision-makers. Certain factors must therefore be considered during the analysis to improve the interpretation of results and ensure that the implemented public policies achieve the intended objectives.

First, it is essential to consider the characteristics of organisations and how they may be affected differently by public policies. During the intermediate calibration, the model was able to accurately reproduce, in accordance with real data, the dynamics of research project initiation by organisations based on their type and size. This ensured that the distribution of organisations using Mitacs in the model corresponded to that observed in reality. However, the lack of data limited the integration of relationships between organisational characteristics and behaviours, beyond project initiation. Yet, these relationships could prove crucial for analysing the different experiments.

In the first experiment, focusing on improved conflict management, it would be useful to identify which organisations are most exposed to conflicts and why. In the second, which imposes a minimum threshold on project size, it would be relevant to examine which organisations are capable of proposing larger-scale projects. While the results indicate an increase in the total number of funded internship units, this measure could impact certain categories of organisations more than others. It is reasonable to assume that small businesses, which represent 70% of the industrial organisations using Mitacs, would face greater difficulties in funding larger projects, potentially putting them at a disadvantage. Finally, in the third experiment, it would be interesting to analyse the size and structure of collaborative networks of organisations based on their characteristics. Such insights could reveal whether the most successful firms are those that diversify their collaborations or, conversely, those that favour recurring partnerships.

Additionally, it would be beneficial to integrate data on the quality of scientific articles published, in addition to their quantity. Currently, the calibration of the number of articles is based on aggregated data, which does not allow for an examination of the profile of organisa-

tions or their publication practices. Moreover, there is no precise information on the projects that resulted in published articles. A major yet highly relevant challenge would be to associate project characteristics and participating organisations with the quality and quantity of articles produced. For instance, in the second experiment, introducing a project size threshold leads to a decrease in the number of published articles, mainly due to the reduction in the number of accepted projects. However, it remains to be determined whether publication quality is also affected and whether it varies according to project size.

Finally, it would be relevant to examine the application domains of research projects to better understand their impact across different sectors. Indeed, certain public policies may influence sectors differently due to the more applied or fundamental nature of their research. These differences can affect project size, the time required for innovation development, and the likelihood of forming inter-organisational partnerships. A better understanding of sector-specific dynamics would enable the optimisation of funding strategies and better alignment with the specific needs of stakeholders.

This contextualisation highlights the importance of a sustained effort in longitudinal data collection to address current gaps and enable decision-makers to develop informed public policies that maximise positive impacts. The need for richer and better-structured data is already recognised in the literature. For instance, [70] illustrate how data collection and the development of indicators facilitate a better evaluation of large collaborative research projects.

5.7 Conclusion

This study developed a multi-agent model to simulate the complex dynamics of the Mitacs innovation ecosystem. By integrating multiple key factors and their interactions, the model enabled an analysis of the impact of strategic decisions made by the funding agency on organisational behaviour and the overall performance of the innovation network.

Through its calibration, the model provided an accurate representation of reality and offered valuable insights for public policy planning in the field of innovation. Additionally, this study contributes to the literature on simulation in project management and innovation ecosystems by proposing a detailed, modular, and adaptable model capable of describing inter-organisational dynamics in an innovation context. Furthermore, the case study, validated using empirical data from a funding agency, enhances knowledge on this subject.

This study highlighted the dilemmas faced by Mitacs managers, particularly the need to strike a balance between optimising innovation performance and expanding the collaboration

network. The results obtained can help improve Mitacs' public policies by offering a new perspective on certain measures and identifying areas for improvement.

One policy with noteworthy results is the introduction of a minimum threshold for the size of research projects. Up to a certain point, this measure encourages greater organisational engagement and increased research investment, leading to a higher total number of funded internship units compared to the benchmark. However, while this approach increases allocated resources, it also results in a decrease in the number of published articles. This experiment highlighted two essential aspects : firstly, the importance of selecting relevant indicators to guide decision-making, and secondly, the necessity of contextualising data. Access to additional information on organisational characteristics, the quality of scientific publications, or the application domains of projects would allow for a more precise identification of how different types of organisations or projects are affected by the tested policies.

The decision-support tool could still be improved in several ways. Firstly, closer collaboration with the funding agency would help better define the performance indicators integrated into the model so that they more accurately reflect the organisation's strategic priorities. This would enhance the alignment of the tool with the agency's needs and facilitate its adoption internally. Secondly, the model could be refined to better represent reality by integrating relationships between performance and organisational characteristics. While this would require a more extensive data collection effort, it would improve the predictive capabilities of the model.

In conclusion, this decision-support tool could play a crucial role in the development of effective and sustainable public policies. However, to fully leverage its potential, continuous collaboration between the scientific community, policymakers, and stakeholders is essential to address methodological challenges and make the best use of the advantages offered by multi-agent simulation.

CHAPITRE 6 DISCUSSION

Ce chapitre présente une discussion générale de la recherche. Il est divisé en deux parties. La première partie résume les principaux éléments et résultats de la recherche, qui se compose essentiellement de deux études interdépendantes. La deuxième partie présente les résultats de la recherche dans une perspective plus large.

6.1 Sommaire des résultats

L'objectif principal de ce mémoire est d'approfondir les connaissances sur la simulation et de développer un modèle capable de reproduire, de manière adéquate et avec un niveau de détail suffisant, les comportements émergents de l'écosystème d'innovation géré par Mitacs. Ce modèle est ensuite utilisé pour mener des expériences et explorer différents scénarios de politiques publiques. Pour ce faire, la recherche est structurée autour de deux sous-objectifs, chacun étant traité dans les deux études constituant ce mémoire. La figure 6.1, en lien avec l'introduction, illustre les relations entre les différents éléments du mémoire et met en évidence ses contributions générales.

La première étude (Chapitre 4) vise à atteindre le premier objectif de la recherche : identifier les éléments clés de la collaboration université-industrie dans le cadre d'un projet de recherche financé par une agence publique. Pour ce faire, une cartographie des processus, présentée initialement aux Figures 4.1, 4.2 et 4.3, puis détaillée dans l'Annexe C, a été développée et validée en collaboration avec des membres de la direction de Mitacs. Ces cartographies illustrent les étapes des processus ainsi que les interactions entre Mitacs, le milieu académique et les entreprises industrielles lors de la mise en place et du développement d'un projet de recherche. Les résultats de cette étude montrent comment Mitacs facilite la mise en place de collaborations grâce à son site web et à son réseau de conseillers présents dans les institutions universitaires partenaires. De plus, la flexibilité qu'elle offre, tant dans l'ajustement des objectifs et de la taille des projets après leur démarrage que dans les modalités de financement, permet aux entreprises d'atteindre leurs objectifs d'innovation sans que cela ne soit trop contraignant. Cependant, certaines inefficacités ont été mises en évidence. En effet, certains projets financés par Mitacs sont annulés en raison de conflits entre partenaires, principalement liés à des questions juridiques et aux mécanismes contractuels. Par ailleurs, des projets peuvent être interrompus en raison de contraintes liées à l'indisponibilité des étudiants chercheurs, responsables du pilotage du projet de recherche. Cette étude propose également une cartographie des processus de Mitacs, qui a servi de base à la modélisation et à la simulation

de l'écosystème d'innovation dans la seconde étude.

La deuxième étude (Chapitre 5) s'attache à atteindre les deuxième et troisième objectifs de la recherche, soit concevoir un modèle de simulation et d'analyser les impacts des scénarios de politiques publiques. Pour ce faire, une modélisation a été développée à l'aide du logiciel AnyLogic, puis présentée dans ce mémoire sous forme de diagrammes UML (Figures 5.1 et 5.2) et de diagrammes d'état (Figure 5.3). De plus, les Annexes A et B détaillent respectivement les algorithmes des codes tels qu'ils sont implémentés dans le modèle, ainsi que les éléments, paramètres et variables associés à chaque agent du modèle. Cette étude a démontré qu'une modélisation à base d'agents peut être développée afin de reproduire avec précision et suffisamment de détail les comportements de l'écosystème d'innovation géré par Mitacs. En outre, le modèle a été utilisé pour mener des expériences et évaluer des scénarios de politiques publiques pouvant être mis en œuvre par Mitacs.

En somme, ce mémoire a permis de répondre aux trois questions de recherche. Tout d'abord, en identifiant les principales phases et les éléments clés du processus d'innovation, il a permis de mieux comprendre les mécanismes mis en place par Mitacs dans un contexte de collaboration université-industrie. Ensuite, grâce à la proposition d'un modèle de simulation, il a été possible de reproduire les dynamiques de cet écosystème. Enfin, l'analyse de différents scénarios de politiques publiques en matière d'innovation a permis d'en mesurer les impacts potentiels et de formuler des recommandations à l'intention des orchestrateurs.

6.2 Implications dans un cadre plus large

Tout d'abord, cette recherche contribue à une meilleure compréhension des dynamiques de collaboration au sein des écosystèmes d'innovation en identifiant les éléments clés du processus collaboratif orchestré par Mitacs. En clarifiant les mécanismes institutionnels mis en place, elle permet d'analyser les facteurs qui influencent le succès ou l'échec des projets de recherche collaborative, qu'il s'agisse des modalités d'initiation des collaborations [46], des objectifs d'innovation multiples poursuivis par Mitacs [6], ou encore de la flexibilité du financement [39, 41]. Par ailleurs, en proposant une étude de cas et en cartographiant les processus de Mitacs, cette recherche formalise les interactions entre les différents acteurs de l'écosystème, offrant ainsi un cadre de référence permettant de comparer ce modèle de financement à d'autres dispositifs similaires.

Ensuite, cette recherche propose une modélisation détaillée du fonctionnement d'un écosystème d'innovation, en tenant compte des interactions complexes entre ses acteurs. Ce modèle constitue une base adaptable, pouvant être ajustée pour représenter numériquement d'autres

écosystèmes en intégrant leurs processus spécifiques et leurs contraintes propres. En mettant en avant les atouts de la simulation, cette étude souligne son rôle en tant qu'outil d'expérimentation puissant. Contrairement aux approches traditionnelles, elle permet aux chercheurs et aux orchestrateurs d'explorer divers scénarios dans un environnement contrôlé, sans les contraintes et les coûts liés aux expérimentations sur le terrain. Cette capacité à anticiper l'impact de différentes politiques et dynamiques de collaboration en fait un levier stratégique pour la gestion des écosystèmes d'innovation [21].

Cependant, l'usage de la simulation dans l'étude des écosystèmes d'innovation demeure peu répandu, comme le révèle l'analyse de la littérature, qui recense encore peu de travaux exploitant cette approche pour examiner la gestion de projets collaboratifs [71]. Cette recherche contribue ainsi à renforcer la légitimité de la simulation comme méthode d'analyse et d'optimisation des dynamiques d'innovation, ouvrant la voie à de nouvelles applications et perspectives pour la gestion des écosystèmes d'innovation.

contributions.png

FIGURE 6.1 Vue d'ensemble et relation entre les principaux éléments de la thèse

CHAPITRE 7 CONCLUSION

Ce chapitre présente les conclusions générales de la recherche. La première section résume les principales contributions de la recherche. La deuxième section aborde les limites de ce mémoire et fournit des orientations possibles pour les recherches futures.

7.1 Contributions

Ce mémoire vise à enrichir les connaissances sur la simulation et à développer un modèle capable de reproduire, avec un niveau de détail suffisant, les comportements émergents de l'écosystème d'innovation géré par Mitacs, afin d'apporter une aide à la décision. Cette recherche multidisciplinaire se situe à l'intersection de la gestion de l'innovation et de la modélisation et simulation (M&S).

Il apporte trois contributions majeures. La première consiste en l'identification des éléments clés du processus d'innovation impliquant les organisations industrielles et universitaires dans le cadre du financement de projets de recherche par Mitacs. Cette analyse a permis de mettre en lumière les défis auxquels Mitacs est confronté et de les relier aux processus spécifiques mis en place par l'agence. De plus, cette recherche fournit une cartographie détaillée des étapes menant à l'initiation d'une collaboration et au développement de projets de recherche, élaborée et validée en collaboration avec des représentants de Mitacs.

La seconde contribution est la conception d'un outil d'aide à la décision, prennant la forme d'une modèle de simulation multi-agents, qui formalise les dynamiques complexes de l'écosystème d'innovation de Mitacs. En intégrant plusieurs facteurs clés et leurs interactions, ainsi que des données fournies par Mitacs sur les caractéristiques des partenariats, ce modèle propose une représentation fidèle de la réalité. Il enrichit ainsi la littérature sur la simulation appliquée à la gestion de projet et aux écosystèmes d'innovation, en offrant un modèle détaillé, modulable et adaptable, capable de représenter les dynamiques interorganisationnelles dans un contexte d'innovation collaborative.

La troisième contribution réside dans la proposition d'un cadre d'analyse permettant de mesurer les impacts potentiels des décisions stratégiques de l'agence de financement sur le comportement des organisations et sur la performance globale de l'écosystème d'innovation. L'outil de simulation est en effet conçu pour élaborer et tester des politiques publiques en matière d'innovation, puis en évaluer et comparer les effets à l'aide d'indicateurs de performance. Il vise ainsi à orienter la prise de décision stratégique des orchestrateurs, en veillant

à ce qu'elle soit cohérente avec les objectifs écosystémiques définis.

En somme, ce mémoire contribue à l'avancement des connaissances sur la simulation dans un contexte d'innovation collaborative. D'une part, il éclaire les mécanismes contractuels mis en place par l'agence de financement, les défis auxquels elle est confrontée et les processus de collaboration, en proposant une cartographie détaillée des processus. D'autre part, il présente un outil d'aide à la décision, fondé sur la modélisation et la simulation, qui peut être utilisé par les orchestrateurs d'écosystèmes d'innovation pour élaborer des politiques publiques plus efficaces et durables.

7.2 Limitations et amélioration futures

Comme tout projet de recherche, cette étude présente certaines limitations. Tout d'abord, la cartographie des processus propose une modélisation des dynamiques générales de collaboration sans distinguer les spécificités propres à chaque département de l'agence de financement. Bien qu'elle repose sur une simplification des processus réels, elle demeure suffisamment détaillée pour fournir des informations pertinentes et répondre au premier sous-objectif de recherche.

Ensuite, dans la seconde étude de ce mémoire, bien que les expériences soient alignées avec la réalité de Mitacs et que les résultats soient cohérents avec la logique du modèle, certaines observations mettent en évidence ses limites. Par exemple, la diminution du nombre de projets créés dans la première expérience est conforme aux attentes du modèle, mais celui-ci offrant une représentation simplifiée de la réalité, il est possible que d'autres facteurs, non pris en compte, influencent les résultats et mènent à des conclusions différentes. Il est donc essentiel d'interpréter les résultats en tenant compte des hypothèses et des limites inhérentes au modèle.

Par ailleurs, des recherches futures pourraient explorer l'adaptation de ce modèle de simulation à d'autres contextes institutionnels afin de permettre des analyses comparatives et d'enrichir la littérature sur le sujet. Cette étude souligne également la nécessité d'un effort soutenu de collecte de données longitudinales afin de combler les lacunes actuelles et d'aider les décideurs à élaborer des politiques publiques mieux informées, maximisant ainsi leur impact positif. En effet, disposer de données sur le comportement des organisations selon leurs caractéristiques ou leur domaine d'application permettrait d'affiner l'interprétation des résultats et d'optimiser les stratégies de financement pour mieux les aligner avec les besoins spécifiques des acteurs concernés.

Enfin, l'intégration de données supplémentaires sur la production d'innovation faciliterait le

développement de nouveaux indicateurs, tels que la qualité des publications scientifiques ou le nombre de brevets déposés, fournissant ainsi aux orchestrateurs des outils supplémentaires pour l'évaluation et la mise en place de nouvelles politiques publiques.

RÉFÉRENCES

[1] O. M. Ulgen, “SIMULATION METHODOLOGY – A PRACTITIONER’S PERSPECTIVE.” [En ligne]. Disponible : Ãœlgen,O.,Black,J.J.,Johnsonbaugh,B.,& Klunge,R.(2006).Simulationmethodology:ApractitionerâĂŹsperspective.Dearborn,MI: UniversityofMichigan,1,7-8.

[2] A. Borshchev, *The Big Book of Simulation Modeling : Multimethod Modeling with Anylogic 6*. Chicago, IL, USA : AnyLogic North America, 2013.

[3] OECD et Eurostat, *Oslo Manual 2018 : Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition*, ser. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. OECD, oct. 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual-2018_9789264304604-en

[4] Moore, J.F., “Predators and Prey : A New Ecology of Competition,” 1993.

[5] R. Adner, “Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem,” 2006.

[6] J. Edler, P. Cunningham, A. G{\textbackslash"o}k et P. Shapira, “Impacts of Innovation Policy : Synthesis and Conclusions,” juin 2013.

[7] B. Kumari, A. Madhukar et I. Chattoraj, “E-profiling R&D involvement/earnings of researchers : a G2E tool for performance management at CSIR–NML,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 70, n°. 4, p. 808–833, mai 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-09-2019-0437/full/html

[8] Y. Hernández-González, C. García-Moreno, M. Rodríguez-García, R. Valencia-García et F. García-Sánchez, “A semantic-based platform for R&D project funding management,” *Computers in Industry*, vol. 65, n°. 5, p. 850–861, juin 2014. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361513002376

[9] J. Klapka et P. Piňos, “Decision support system for multicriterial R&D and information systems projects selection,” *European Journal of Operational Research*, vol. 140, n°. 2, p. 434–446, juill. 2002. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221702000814

[10] OECD, *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018 : Adapting to Technological and Societal Disruption*, ser. OECD Science, Technology and Innovation Outlook. OECD, nov. 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2018_sti_in_outlook-2018-en

[11] G. Triulzi, A. Pyka et R. Scholz, “R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals : an agent-based model,” *International Journal of Biotechnology*, vol. 13, n°. 1/2/3, p. 137, 2014. [En ligne]. Disponible : http://www.inderscience.com/link.php?id=59650

[12] Mitacs, “Plan organisationnel ISDE 2024-2025,” 2024. [En ligne]. Disponible : https://www.mitacs.ca/wp-content/uploads/2024/03/ISED-Corporate-Plan-2024-25-French-Final-report-2.pdf

[13] Dahesh, M. B., Tabarsa, G., Zandieh, M., & Hamidizadeh, M, “Reviewing the intellectual structure and evolution of the innovation systems approach : A social network analysis,” *Technology in Society*, 2020, edition : 63.

[14] Talmar, M., Walrave, B., Podoynitsyna, K. S., Holmström, J., & Romme, A. G. L, “Mapping, analyzing and designing innovation ecosystems : The Ecosystem Pie Model,” *Long Range Planning*, 2020, edition : 53(4).

[15] De Vasconcelos Gomes, L.A., Figueiredo Facin, A.L., Selerno, M.S et Kazuo Ikemani, R., “Unpacking the innovation ecosystem construct : Evolution, gaps and trends,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 136, 2018.

[16] Loet Leydesdorff et Henry Etzkowitz, “Triple Helix of innovation : introduction,” *Science and Public Policy*, déc. 1998. [En ligne]. Disponible : https://academic.oup.com/spp/article/25/6/358/1728222/Triple-Helix-of-innovation-introduction

[17] Ankrah, S. et Al-Tabbaa, O., “Universities–industry collaboration : A systematic review,” *Scandinavian Journal of Management*, p. 387–408, 2015, edition : Volume 31, Issue 3. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1016/j.scaman.2015.02.003

[18] N. Arranz et J. C. Fdez De Arroyabe, “Complex joint R&D projects : From empirical evidence to managerial implications,” *Complexity*, vol. 15, n°. 1, p. 61–70, sept. 2009. [En ligne]. Disponible : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cplx.20277

[19] J. Kujala et T. Vuorinen, “Design of an agent-based model to simulate governance in inter-organizational project networks,” dans *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Singapore : IEEE, déc. 2017, p. 1342–1346. [En ligne]. Disponible : http://ieeexplore.ieee.org/document/8290111/

[20] C. M. Macal et M. J. North, “Tutorial on agent-based modelling and simulation,” *Journal of Simulation*, vol. 4, n°. 3, p. 151–162, sept. 2010. [En ligne]. Disponible : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/jos.2010.3

[21] J. R. Harrison, Z. Lin, G. R. Carroll et K. M. Carley, “Simulation modeling in organizational and management research,” *Academy of Management Review*, vol. 32,

n°. 4, p. 1229–1245, oct. 2007. [En ligne]. Disponible : http://journals.aom.org/doi/10.5465/amr.2007.26586485

[22] E. Bonabeau, “Agent-based modeling : Methods and techniques for simulating human systems,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, n°. suppl_3, p. 7280–7287, mai 2002. [En ligne]. Disponible : https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.082080899

[23] M. I. Kammerer David et B. Murgas Téllez, “Technological innovation from a system dynamics approach,” *Región Científica*, p. 2024217, janv. 2024. [En ligne]. Disponible : https://rc.cienciasas.org/index.php/rc/article/view/217

[24] L. Xiao, S. Xu et X. Zeng, “Design and Analysis of Knowledge Transfer in the Process of University-Industry Collaborative Innovation Based on Social Network Theory,” *Journal of Internet Technology*, p. pp. 1155–1167, 2018.

[25] P. Graça et L. M. Camarinha-Matos, “Assessment of Sustainable Collaboration in Collaborative Business Ecosystems,” *Computers*, vol. 10, n°. 12, p. 167, déc. 2021. [En ligne]. Disponible : https://www.mdpi.com/2073-431X/10/12/167

[26] M. M. Mood, Y. Nesari et A. Mohaghar, “Simulation of research and development collaborations as complex socio-technical systems using a hybrid of agent-based modelling and system dynamics,” *International Journal of Technology, Policy and Management*, vol. 23, n°. 1, p. 81, 2023. [En ligne]. Disponible : http://www.inderscience.com/link.php?id=10054600

[27] A. Heshmati et F. Cesar, “Determinants and Policy Simulation of Firms Cooperation in Innovation,” *SSRN Electronic Journal*, 2013. [En ligne]. Disponible : https://www.ssrn.com/abstract=2293304

[28] M. Mahmoudzadeh et M. Alborzi, “Modeling Iranian innovation network in nanotech for policy : applying an adopted version of SKIN model,” *Journal of Science and Technology Policy Management*, vol. 8, n°. 2, p. 129–145, juill. 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JSTPM-08-2016-0017/full/html

[29] P. Ahrweiler, M. Schilperoord, A. Pyka et N. Gilbert, “Modelling Research Policy : Ex-Ante Evaluation of Complex Policy Instruments,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 18, n°. 4, p. 5, 2015. [En ligne]. Disponible : http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/5.html

[30] H. Abou-Ibrahim et F. Hamzeh, “Understanding Stakeholders’ impact on design workflow dynamics using agent-based modeling,” *Automation in Construction*, vol. 138, p. 104254, juin 2022. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580522001273

[31] J. R. Morris-King et L. Yilmaz, “Toward an Agent-Based Ecological Model of the Triple-Helix Theory of Innovation Dynamics.”

[32] S. McGarraghy, G. Olafsdottir, R. Kazakov, Huber, W. Loveluck, I. Y. Gudbrandsdottir, L. Čechura, G. Esposito, A. Samoggia, P.-M. Aubert, D. Barling, I. Đurić, T. J. Jaghdani, M. Thakur, N. M. Saviolidis et S. G. Bogason, “Conceptual System Dynamics and Agent-Based Modelling Simulation of Interorganisational Fairness in Food Value Chains : Research Agenda and Case Studies,” *Agriculture*, vol. 12, n°. 2, p. 280, févr. 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/280

[33] M. Al Hattab et F. Hamzeh, “Simulating the dynamics of social agents and information flows in BIM-based design,” *Automation in Construction*, vol. 92, p. 1–22, août 2018. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580517308075

[34] L. T. Blessing et A. Chakrabarti, *DRM, a Design Research Methodology.* London : Springer London, 2009. [En ligne]. Disponible : http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-587-1

[35] V. Grimm, S. F. Railsback, C. E. Vincenot, U. Berger, C. Gallagher, D. L. DeAngelis, B. Edmonds, J. Ge, J. Giske, J. Groeneveld, A. S. Johnston, A. Milles, J. Nabe-Nielsen, J. G. Polhill, V. Radchuk, M.-S. Rohwäder, R. A. Stillman, J. C. Thiele et D. Ayllón, “The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models : A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 23, n°. 2, p. 7, 2020. [En ligne]. Disponible : http://jasss.soc.surrey.ac.uk/23/2/7.html

[36] R. G. Sargent, “VERIFICATION AND VALIDATION OF SIMULATION MODELS.”

[37] Ahrweiler, P, “Agent-based simulation for science, technology, and innovation policy,” *Scientometrics*, p. 391–415, 2017, section : 110. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1007/s11192-016-2105-0

[38] Onggo, O.S.S, “BPMN pattern for agent-based simulation model representation,” *,″ Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*, p. 1–10, 2012, place : Berlin, Germany. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1109/WSC.2012.6465145.

[39] Naveh, E, “Formality and discretion in successful R&D projects,” *Journal of Operations Management*, p. 110–125, 2007, section : Volume 25, Issue 1. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.02.004

[40] Bagherzadeh, M., Markovic, S. & Bogers, M, “Managing Open Innovation : A Project-Level Perspective,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021, edition : vol. 68, no. 1, pp. 301-316. [En ligne]. Disponible : 10.1109/TEM.2019.2949714

[41] Martín-Barrera, G., Zamora-Ramírez, C. & González-González, J.M., “Impact of flexibility in public R&D funding : How real options could avoid the crowding-out

effect," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 813–823, 2017, section : Volume 76. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.086

[42] Philbin, S, "Process model for university-industry research collaboration," *European journal of innovation management*, p. 488 – 521, 2008, edition : Vol. 11, Issue 4. [En ligne]. Disponible : 10.1108/14601060810911138

[43] Ganotakis, P. and Love, J.H, "The Innovation Value Chain," *J Prod Innov Manag*, p. 839–860, 2012, edition : 29. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2012.00938.x

[44] F. Luciani, G. Autissier, R. Furlan De Assis, R., W. De Paula Ferreira et F. Armellini, "Mapping the innovation ecosystem of intermediaries," *CIGI QUALITA MOSIM 2023*, 2023.

[45] Barratt, M., Choi, T., & Li, M., "Qualitative case studies in operations management : Trends, research outcomes, and future research implications," *Journal of Operations Management*, 2011, edition : 29(4), 329-342. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.06.002

[46] Al-Tabbaa, O. et Ankrah, S., "Engineered University-Industry Collaboration : A Social Capital Perspective," *European Management Review*, 2019. [En ligne]. Disponible : 16:543âĂŞ565.10.1111/emre.12174

[47] OECD, "Successful Partnerships : A Guide," 2006. [En ligne]. Disponible : https://www.oecd.org/cfe/leed/36279186.pdf

[48] E. Senabre Hidalgo et M. Fuster Morell, "Co-designed strategic planning and agile project management in academia : case study of an action research group," *Palgrave Communications*, vol. 5, n°. 1, p. 151, déc. 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.nature.com/articles/s41599-019-0364-0

[49] W. Vorraber et M. Müller, "A Networked Analysis and Engineering Framework for New Business Models," *Sustainability*, vol. 11, n°. 21, p. 6018, oct. 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/6018

[50] H. Breuer et F. Lüdeke-Freund, "VALUES-BASED NETWORK AND BUSINESS MODEL INNOVATION," *International Journal of Innovation Management*, vol. 21, n°. 03, p. 1750028, avr. 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S1363919617500281

[51] K. O. Skjølsvik et A. Kaloudis, "Innovating the Innovation System Thinking : a Systemism Model," *Journal of the Knowledge Economy*, oct. 2023. [En ligne]. Disponible : https://link.springer.com/10.1007/s13132-023-01561-w

[52] N. A. Gómez-Cruz, I. Loaiza Saa et F. F. Ortega Hurtado, “Agent-based simulation in management and organizational studies : a survey,” *European Journal of Management and Business Economics*, vol. 26, n°. 3, p. 313–328, oct. 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/EJMBE-10-2017-018/full/html

[53] D. De Stefano et S. Zaccarin, “Modelling Multiple Interactions in Science and Technology Networks,” *Industry & Innovation*, vol. 20, n°. 3, p. 221–240, avr. 2013. [En ligne]. Disponible : http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13662716.2013.791130

[54] G. Autissier, F. Armellini et W. de Paula Fereira, “Modélisation d’un processus d’innovation basé sur la collaboration entre l’université, l’industrie et le gouvernement,” 2024.

[55] W. De Paula Ferreira, F. Armellini et L. A. De Santa-Eulalia, “Simulation in industry 4.0 : A state-of-the-art review,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 149, p. 106868, nov. 2020. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360835220305635

[56] C. Bruun, “The Economy as an Agent-based Whole–Simulating Schumpeterian Dynamics,” *Industry & Innovation*, vol. 10, n°. 4, p. 475–491, déc. 2003. [En ligne]. Disponible : http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1366271032000163694

[57] F. Luciani, W. De Paula Ferreira, F. Armellini et L. A. D. Santa-Eulalia, “An outlook on the contribution of agent-based modeling and simulation for innovation ecosystems,” *ISPIM Conference Proceedings*, p. (pp. 1–20), 2021.

[58] Mitacs, “RAPPORT ANNUEL 2022–23 pour Innovation, Sciences et Développement économique Canada,” 2023.

[59] Statistique Canada, “Organismes sans but lucratif dans les régions rurales et petites villes du Canada, 2021,” févr. 2024, publication Title : Statistique Canada. [En ligne]. Disponible : https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/240212/dq240212c-fra.htm

[60] Gouvernement du Canada, “Répertoire des organisations et intérêts fédéraux,” 2025. [En ligne]. Disponible : https://www.tbs-sct.canada.ca/ems-sgd/edb-bdd/index-fra.html#igoc/inst_form

[61] Innovation, Sciences et Développement économique Canada, “Principales statistiques relatives aux petites entreprises 2023,” 2025. [En ligne]. Disponible : https://ised-isde.canada.ca/site/recherche-statistique-pme/fr/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises-2023

[62] Mitacs, “Rapport annuel de Mitacs pour Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2015-2016,” juill. 2016.

[63] ——, “Rapport annuel 2017-2018 de Mitacs,” juill. 2018.

[64] ——, “RAPPORT ANNUEL 2018 – 2019 DE MITACS,” juill. 2019.

[65] Clarivate Analytics, “Web of Science : Access and features,” 2025, publication Title : Web of Science. [En ligne]. Disponible : https://www.webofscience.com

[66] Mitacs, “Projets financés par Mitacs de 2016 à 2019,” 2025.

[67] F. Kotthoff et T. Hamacher, “Calibrating Agent-Based Models of Innovation Diffusion with Gradients,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 25, n°. 3, p. 4, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.jasss.org/25/3/4.html

[68] V. Schiaffonati, “Stretching the Traditional Notion of Experiment in Computing : Explorative Experiments,” *Science and Engineering Ethics*, vol. 22, n°. 3, p. 647–665, juin 2016. [En ligne]. Disponible : http://link.springer.com/10.1007/s11948-015-9655-z

[69] M. J. Nieto et L. Santamaría, “The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation,” *Technovation*, vol. 27, n°. 6-7, p. 367–377, juin 2007. [En ligne]. Disponible : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166497206001064

[70] D. Nepelski et V. Van Roy, “Innovation and innovator assessment in R&I ecosystems : the case of the EU Framework Programme,” *The Journal of Technology Transfer*, vol. 46, n°. 3, p. 792–827, juin 2021. [En ligne]. Disponible : https://link.springer.com/10.1007/s10961-020-09814-5

[71] S. M. Shafer et T. L. Smunt, “Empirical simulation studies in operations management : context, trends, and research opportunities,” *Journal of Operations Management*, vol. 22, n°. 4, p. 345–354, août 2004. [En ligne]. Disponible : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1016/j.jom.2004.05.002

ANNEXE A ALGORITHMES

Algorithm 1 Define Contact List

```
Function DefineContactList(distribution, maxN, maxF)
partnersToContact ← distribution()
proportionFromNetwork ← UNIFORM(0; maxN)
proportionFirms ← UNIFORM(0; maxF)
numberOfFirms ← ROUNDUP(partnersToContact × proportionFirms)
numberOfUniversities ← partnersToContact − numberOfFirms
if Initiator instanceOf Industry then
    firmsToContact ← MAX(0; numberOfFirms − 1)
    universitiesToContact ← MAX(0; numberOfUniversities)
else
    firmsToContact ← MAX(0; numberOfFirms)
    universitiesToContact ← MAX(0; numberOfUniversities − 1)
end if
firmsFromNetwork ← COUNT(connections instanceOf Industry)
firmsOutsideOfNetwork ← numberOfFirms − firmsFromNetwork
universitiesFromNetwork ← COUNT(connections instanceOf University)
universitiesOutsideOfNetwork ← numberOfUniversities - universitiesFromNetwork
collection() ← (firmsFromNetwork, firmsOutsideOfNetwork universitiesFromNetwork ,
universitiesOutsideOfNetwork)
return collection()
End Function
=0
```

Algorithm 2 Contact Organisations in Ecosystem

```
Function ContactRandom(collection(), type)
organisation ← RANDOM(organisationInEcosystem instanceOf type)
if organisation ≠ null and not in collection() then
    send proposal to organisation
    add organisation to collection()
end if
End Function =0
```

Algorithm 3 Contact Organisations from Network

```
Function ContactFromNetwork(collection(), type)
organisation ← RANDOM(organisationInNetwork instanceOf type)
if organisation ≠ null and not in collection() then
    send proposal to organisation
    add organisation to collection()
end if
End Function =0
```

Algorithm 4 Initiate Partner Search

```
Procedure ContactOrganisations( partnershipSize(), maxProportionNetwork,
maxProportionFirm)
contactList ← DetermineContactList(partnershipSize(), maxProportionNetwork,
maxProportionFirm)
contacted ← ()
if contactList[0] ≠ 0 then
    for i = 0; i < contactList[0]; i++ do
        ContactFromNetwork(contacted(), Indutry)
    end for
end if
if contactList[1] ≠ 0 then
    for i = 0; i < contactList[1]; i++ do
        ContactRandom(contacted(), Indutry)
    end for
end if
if contactList[2] ≠ 0 then
    for i = 0; i < contactList[2]; i++ do
        ContactFromNetwork(contacted(), University)
    end for
end if
if contactList[3] ≠ 0 then
    for i = 0; i < contactList[3]; i++ do
        ContactRandom(contacted(), University)
    end for
end if
End Procedure =0
```

Algorithm 5 Measure Non-Payment and Refunds

```
Procedure MeasureUnits (nonPaymentProbability(), refundProbability())
numberOfUnpayedUnits ← 0
{Loop to determine non-payment cases}
for i ← 0 to projectSize − 1 do
    if randomTrue(nonPaymentProbability) then
        numberOfPayedUnits ← i
        numberOfUnpayedUnits ← size − i
        break {Exit the loop}
    end if
end for
{Check if there were no non-payment cases}
if numberOfUnpayedUnits = 0 then
    numberOfPayedUnits ← projectSize
end if
{Loop to determine refunds}
if numberOfPayedUnits ≠ 0 then
    for j ← 0 to numberOfPayedUnits − 1 do
        if randomTrue(refundProbability) then
            numberOfAccomplishedUnits ← j
            numberOfUnitsToReimburse ← numberOfPayedUnits − j
            break {Exit the loop}
        end if
    end for
else
    numberOfAccomplishedUnits ← 0
    numberOfUnitsToReimburse ← 0
end if
End Procedure =0
```

ANNEXE B ÉLÉMENTS DU MODÈLE

No	Name	Type	Description
1	project	Paramètre	Project – Ce paramètre fournit le projet auquel il est associé.

Tableau B.1 Paramètres des agents Project Proposal (PPA)

No	Name	Type	Description
1	Size	Paramètre	Integer – Ce paramètre fournit le nombre d'unités de stage prévu pour le projet de recherche.
2	Progress	Variable	Double – Cette variable décrit l'état actuel du projet.
3	n_versé	Variable	Double – Cette variable décrit le nombre d'unité de stage pour lequel l'organisation industriel a versé un montant à l'agence de financement.
4	n_accomplished	Variable	Double – Cette variable décrit le nombre d'unité de stage accompli durant le projet.
5	n_nonversé	Variable	Double - Cette variable décrit le nombre d'unité de stage pour lequel l'organisation industriel n'a pas versé un montant à l'agence de financement.
6	n_toReimburse	Variable	Double – Cette variable décrit le nombre d'unité de stage pour lequel l'organisation industriel devra remboursé un montant à l'agence de financement.
7	f_defineConflict	Fonction	Just Action – Cette fonction, déclenché au début du projet, détermine la valeur des variables n_versé, n_accomplished, n_nonversé et n_toReimburse.
8	newIntershipUnit	Évènement	Timeout, Cyclic, Recurence : 4 months – Cet évènement se déclenche lorsque le projet passe à l'état Project_Development et provoque l'avancement du progrès du projet (variable progress) de 1 unité, à chaque période de 4 mois.
9	hadConflicts	Variable	Boolean – Cette variable décrit si oui ou non le projet a connu un conflit.
10	nNewConnections	Variable	Integer - Cette variable fournit l'information du nombre de nouvelle connexion entre organisation, crée lors de ce projet.
11	nPartenaireContacté	Variable	Double - Cette variable fournit l'information du nombre d'organisations contacté à l'initiation du projet.
12	connections	Link To Agent	Agent – Ce lien permet à l'agence de financement de fournir leur évaluation du proposal.
13	partners	Link To Agent	Organisation – Ce lien dénombre les partenaires participants au projet.

Tableau B.2 Paramètres des agents Project (PPA)

No	Name	Type	Description
1	projectCapacity	Paramètre	Integer – Ce paramètre décrit le nombre de projets auquel l'organisation participe simultanément.
2	rateToActive	Paramètre	Double – Ce paramètre décrit le taux auquel l'organisation transitionne de l'état Idle à l'état Active
3	kenes	Agent population	Kene – Cette population correspond à la population de kene que possède l'organisation
4	nProjectCurrent	Variable	Integer – Cette variable correspond au nombre de projet en cours auquel l'organisation participe
5	capacity	Variable	Integer – Cette variable correspond à la capacité actuelle de l'organisation à participer à de nouveaux projets.
6	ProjectsToJoin	Collections	ArrayList <Organisation> - Cette collection correspond à la liste d'organisation proposant à celle-ci de participer à un projet collaboratif.
7	partnersToJoin	Collections	ArrayList <Organisation> - Cette collection correspond à la liste d'organisation qui a envoyé une réponse positive suite à l'invitation de celle-ci.
8	projectsToJoinPriority	Collections	ArrayList <Organisation> - Cette collection correspond à la liste d'organisation proposant à celle-ci de participer à un projet collaboratif, dont le domaine d'application est jugée prioritaire.
9	f_ActiveState	Fonction	Just Action – Cette fonction permet le contact de partenaires potentiels.
10	newMonth	Évènement	Timeout, Cyclic, Recurence : 1 month – Événements mensuels lors duquel l'organisation vérifie les réponses aux invitations envoyées ou les invitations à participer à des projets.
11	Connections	Link to Agent	Organisation – Liste des organisations auxquelles l'organisation est liée
12	Projects	Link to Agent	Projects - Liste des projets auxquels l'organisation a participé
13	nContacted	Variable	Double – Cette variable correspond au nombre d'organisations contactées lors de la dernière recherche de partenaires.
14	nÉchec	Variable	Double – Cette variable correspond au nombre d'organisations contactées lors de la dernière recherche de partenaires, qui ont refusé de participer au projet.
15	projectSearchFail	Variable	Boolean – Cette variable décrit si oui ou non, la dernière recherche de partenaires a abouti à un nouveau projet.

Tableau B.3 Paramètres des agents Organisation (OA)

ANNEXE C DIAGRAMMES BPMN

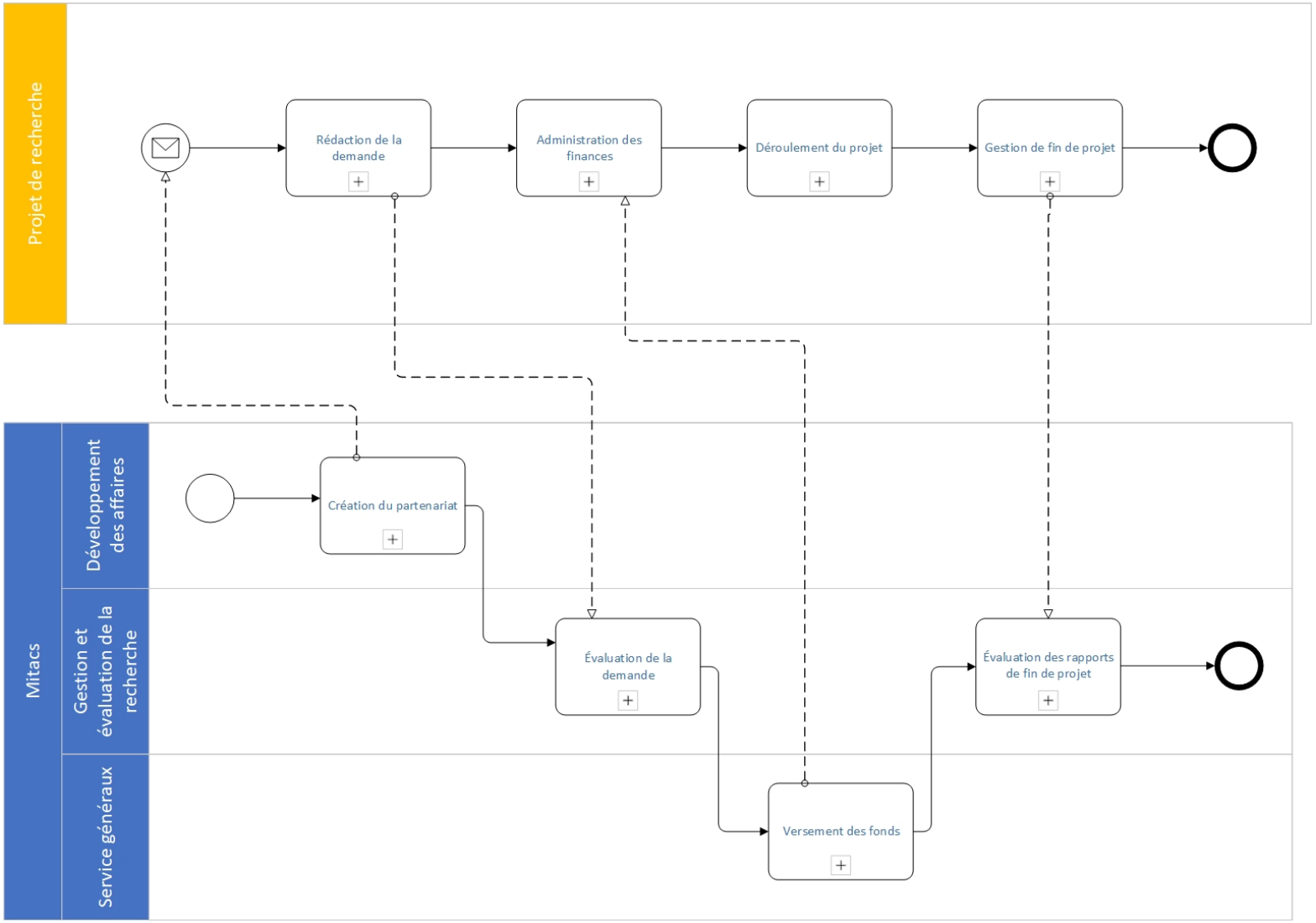

FIGURE C.1 Diagramme BPMN des processus globaux

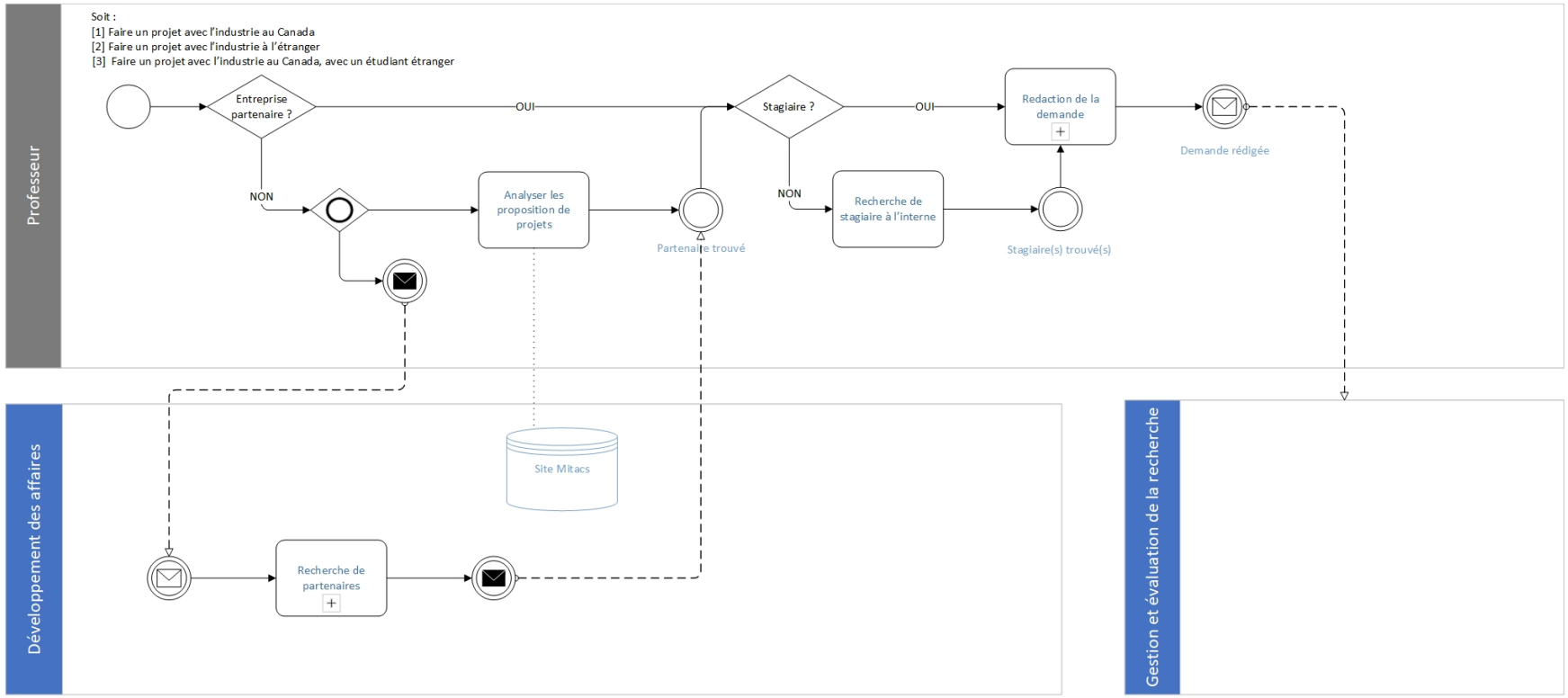

FIGURE C.2 Diagramme BPMN du processus de création de partenariat initié par un professeur et rédaction de la demande de collaboration

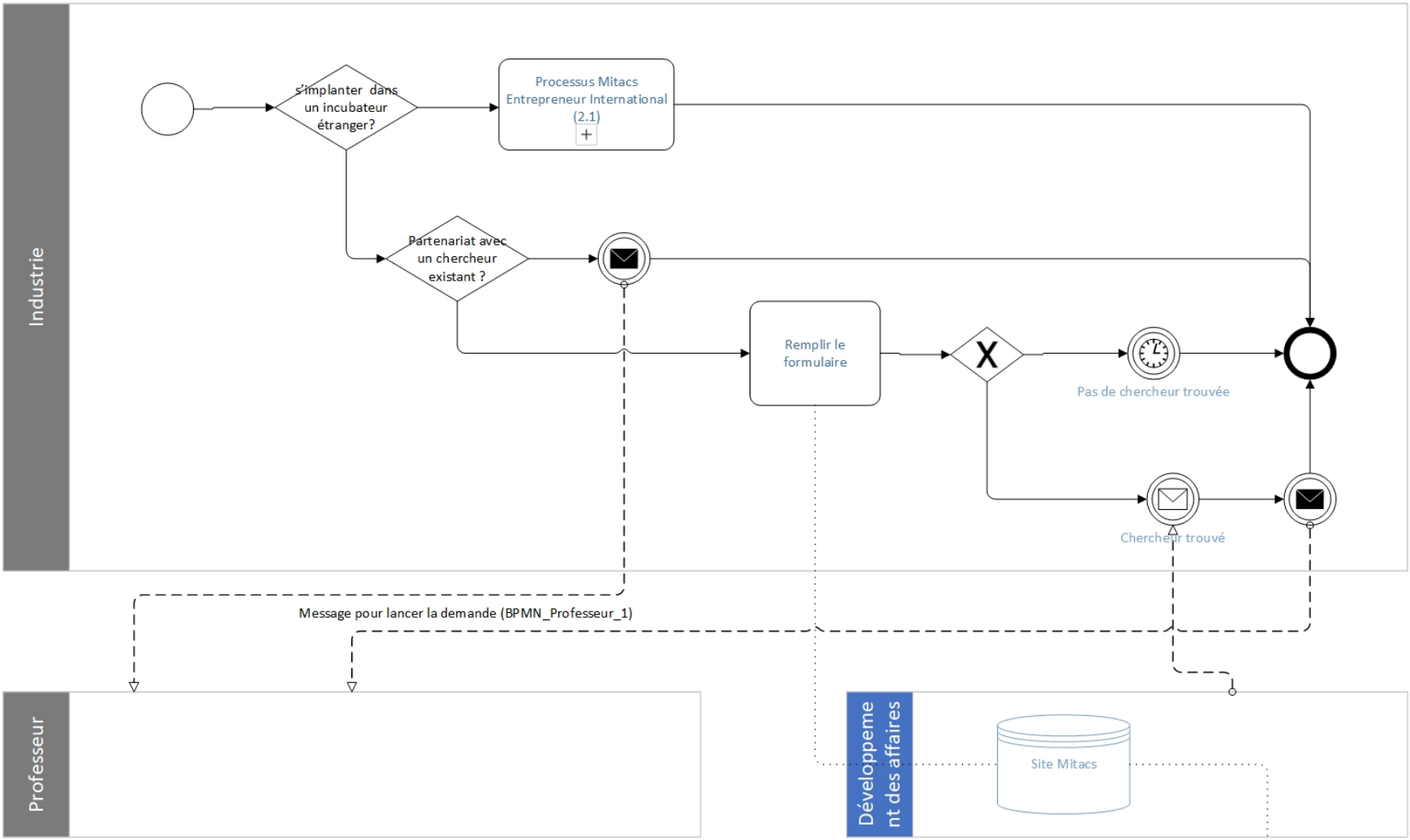

FIGURE C.3 Diagramme BPMN du processus de création de partenariat initié par une entreprise

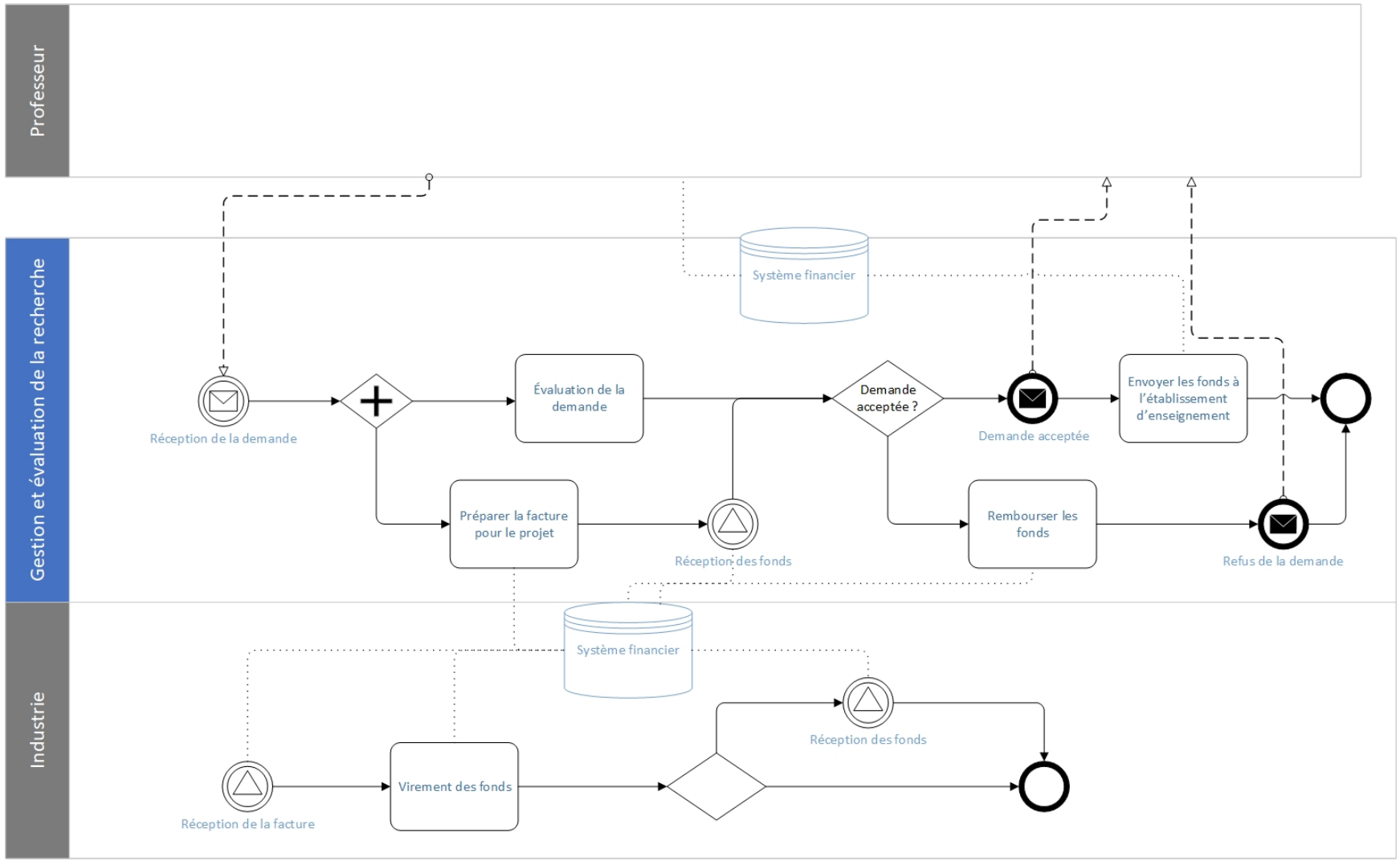

FIGURE C.4 Diagramme BPMN du processus d'évaluation de la demande et de l'envoi des fonds

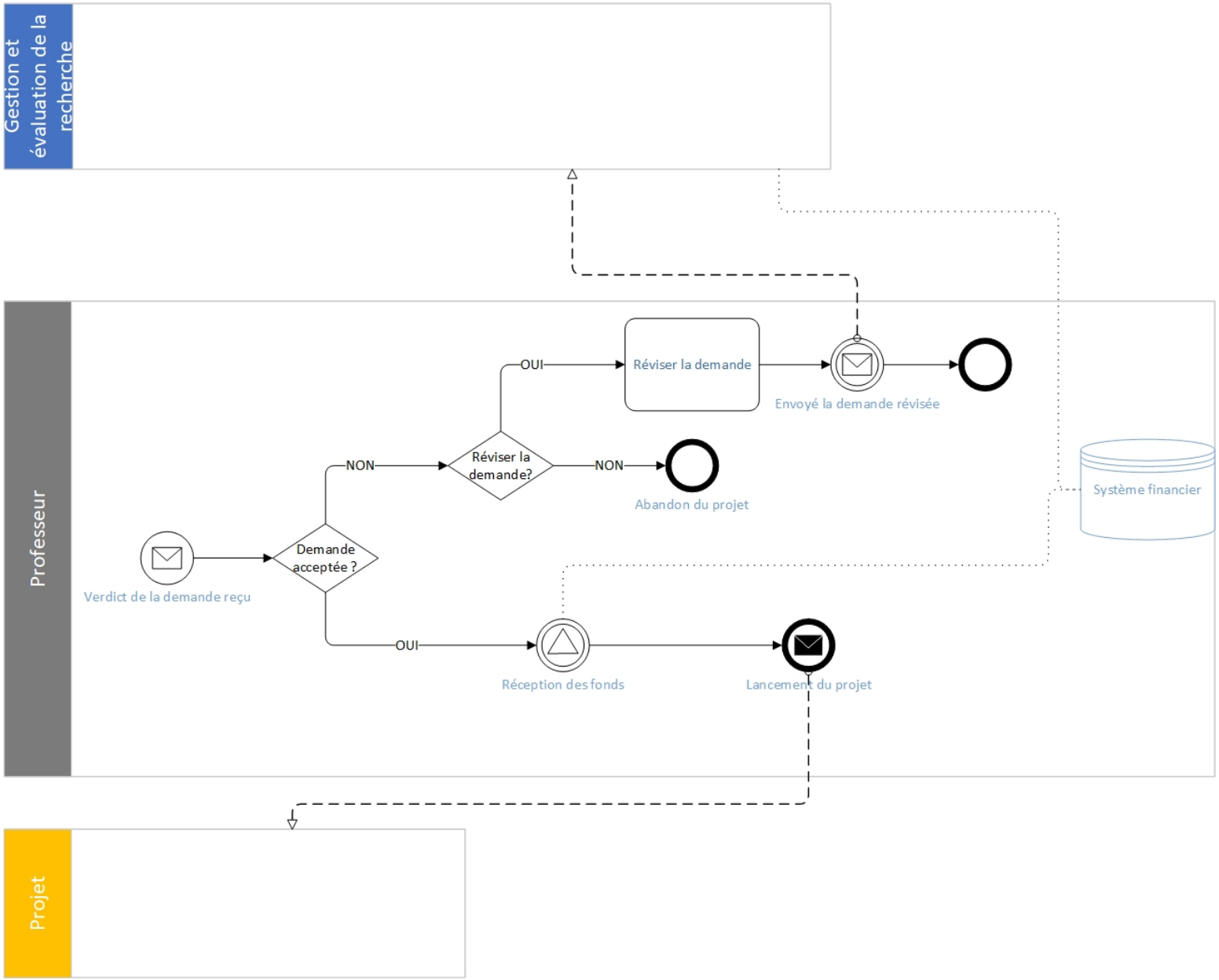

FIGURE C.5 Diagramme BPMN du processus de révision de la demande et de l'acceptation des fonds

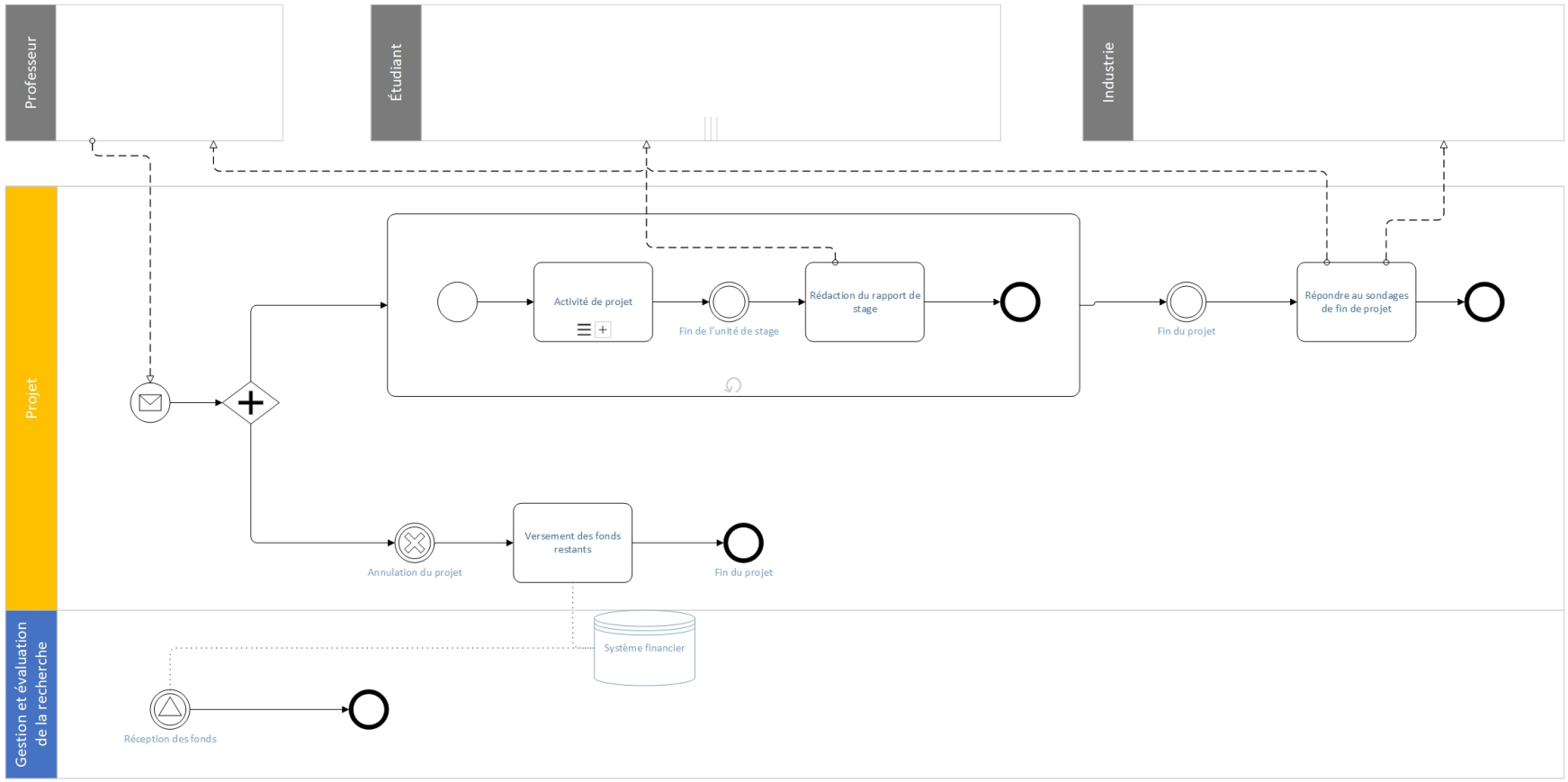

FIGURE C.6 Diagramme BPMN du processus de déroulement de projet

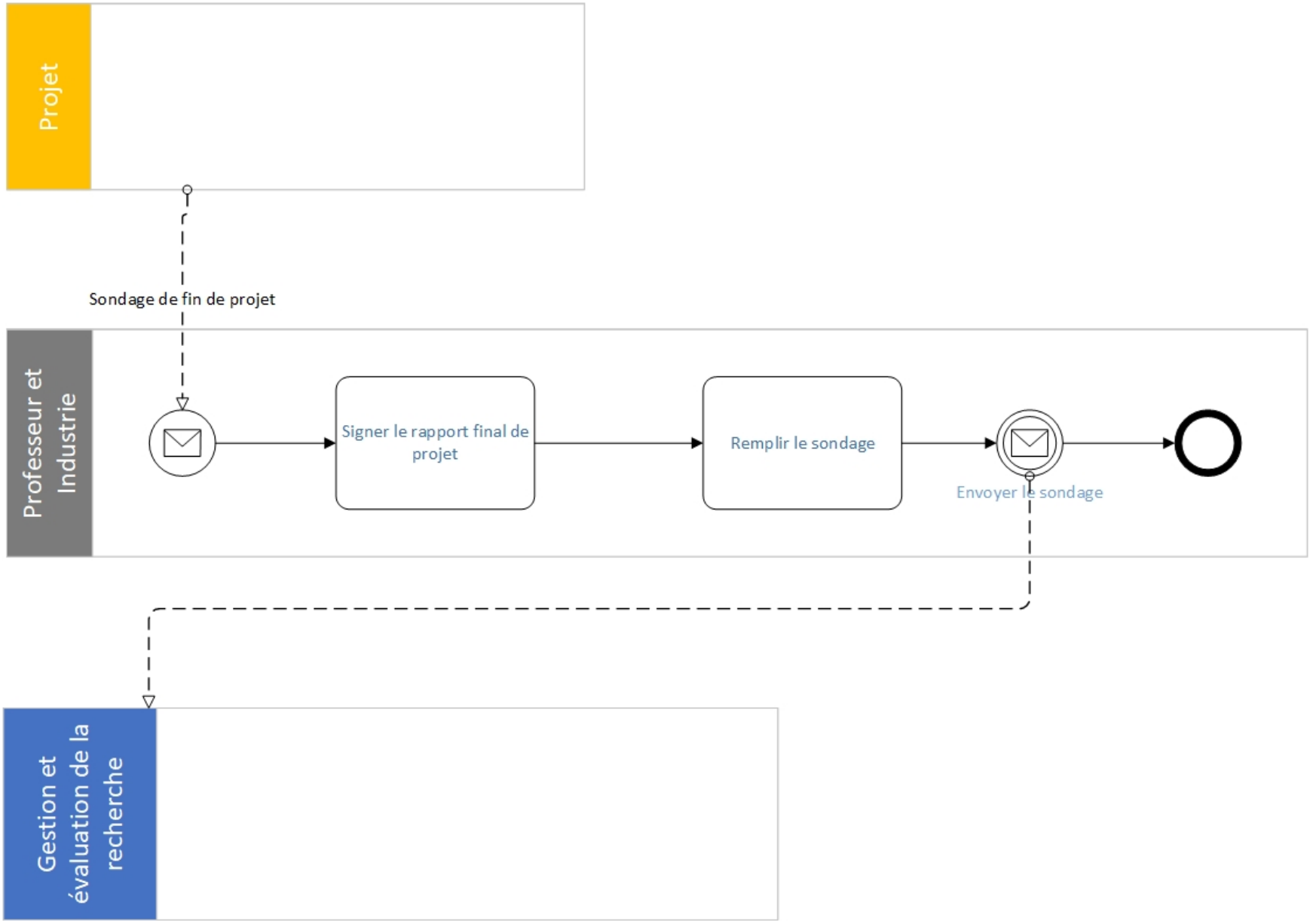

FIGURE C.7 Diagramme BPMN du processus de fin de projet

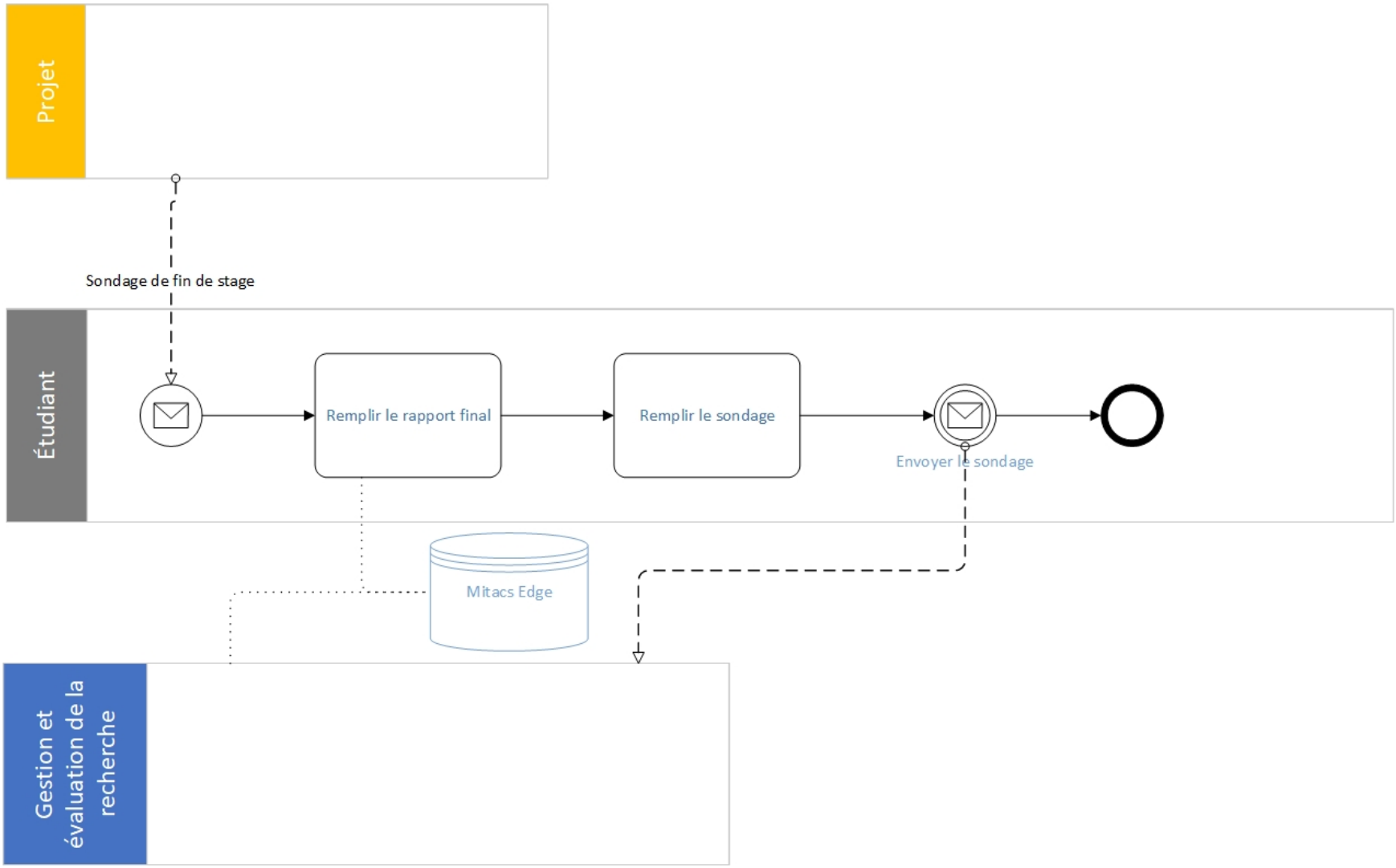

FIGURE C.8 Diagramme BPMN du processus de fin de projet