

Du contrôle linéaire au contrôle réflexif : Une lecture en Systèmes Adaptatifs Complexes des crises de projet

From linear control to reflexive control: A Complex Adaptive Systems perspective on project crises

AISSI Adéromou Boris Coffi

Docteur en Science, Technologie et Société
Canada

Date de soumission : 06/05/2026

Date d'acceptation : 30/06/2026

Pour citer cet article :

AISSI. A.B.C. (2026) «Du contrôle linéaire au contrôle réflexif : Une lecture en Systèmes Adaptatifs Complexes des crises de projet», Revue Internationale des Sciences de Gestion « Volume 9 : Numéro 3» pp : 150 - 174

Résumé

Cet article propose un cadre conceptuel I-C-P-E (Intrants-Commandes/Contrôles-Processus/Procédés-Extrants) pour analyser la dynamique des projets complexes dans une perspective de systèmes adaptatifs complexes. Il part du constat que la littérature en gestion de projet reste fragmentée, traitant séparément les entrées, les processus et les résultats, sans offrir de cadre causal intégré permettant de comprendre leurs interactions dynamiques. De plus, les mécanismes de rétroaction entre décision, exécution et performance sont insuffisamment formalisés, malgré leur importance dans les environnements non linéaires. Le cadre I-C-P-E vise à combler ces lacunes en structurant les projets comme des systèmes dynamiques où les Intrants sont transformés par des Processus régulés par des mécanismes de Contrôle, produisant des Extrants susceptibles de générer des rétroactions et des effets d'amplification. Cette approche cherche à expliquer la genèse des crises de projet par l'amplification de signaux. L'article adopte une démarche de conceptualisation théorique basée sur une revue systématique de la littérature. Il contribue à la théorie en intégrant complexité, dynamisme, incertitude et apprentissage organisationnel dans un cadre unifié, et à la pratique en proposant une lecture systémique des points critiques des projets complexes.

Mots clés : Systèmes Adaptatifs Complexes, système dynamique, complexité, signaux faibles, boucles de rétroaction, simple-boucle, double-boucle, volatilité, incertitude, chaos.

Abstract

This article proposes an I-C-P-O (Inputs–Controls–Processes–Outputs) conceptual framework to analyze project dynamics within a complex adaptive systems perspective. It starts from the observation that the literature on project management remains fragmented, treating inputs, processes and results separately, without offering an integrated causal framework to understand their dynamic interactions. In addition, feedback mechanisms between decision-making, execution, and performance remain insufficiently formalized, despite their central role in non-linear project environments. The I-C-P-O framework seeks to fill these gaps by structuring projects as dynamic systems in which Inputs are transformed through Processes regulated by Control mechanisms, producing Outputs that in turn generate feedback loops and amplification effects. This framework helps to explain the emergence of project crises through the amplification of weak signals. The study adopts a theoretical conceptualization approach based on a systematic literature review. It contributes to theory by integrating complexity, dynamism, uncertainty and organizational learning into a unified framework, and to practice by offering a systemic reading of the critical points of complex projects.

Keywords: Complex Adaptive Systems, dynamic system, complexity, weak signals, feedback loops, single-loop, double-loop, uncertainty, chaos.

Introduction

La gestion des projets évolue aujourd'hui dans un environnement marqué par une complexité croissante, une incertitude structurelle et des interactions multidimensionnelles entre acteurs et systèmes organisationnels (Aaltonen & Kujala, 2016; Yang et al., 2014). Les approches traditionnelles, fondées sur des logiques linéaires, prédictives et fortement orientées vers le contrôle, montrent des limites croissantes pour expliquer les dynamiques réelles des projets contemporains. De nombreux travaux récents soulignent ainsi la nécessité de considérer les projets comme des systèmes dynamiques non linéaires, dans lesquels de faibles perturbations peuvent produire des effets disproportionnés en raison de phénomènes d'amplification, d'émergence et de rétroaction (Butler et al., 2019; Zhu & Mostafavi, 2017).

Cependant, malgré cette reconnaissance croissante de la complexité, la littérature présente encore quelques lacunes. D'une part, il existe une absence de structuration causale intégrée permettant de relier explicitement les intrants d'un projet aux mécanismes internes de transformation et à leurs résultats. Les recherches abordent généralement de manière séparée les inputs, les processus et les outputs, sans proposer de cadre unifié permettant d'analyser leurs interactions dynamiques dans des environnements non linéaires. D'autre part, les modèles existants demeurent insuffisants pour expliciter les boucles de rétroaction entre les décisions de pilotage, les processus d'exécution et les résultats obtenus. Bien que la littérature reconnaisse l'existence des boucles de rétroaction, celles-ci sont rarement intégrées de manière systématique aux mécanismes de gouvernance et de transformation des projets.

Dans ce contexte, cet article propose un cadre conceptuel I-C-P-E (Intrants-Commandes/Contrôles-Processus/Procédés-Extrants) fondé sur la théorie des systèmes adaptatifs complexes. Ce modèle vise à expliquer la genèse des crises de projet par l'amplification de signaux faibles. Il permet ainsi de relier structure, dynamique et émergence dans une architecture causale unifiée, offrant une lecture systémique des projets comme systèmes adaptatifs.

Sur le plan scientifique, cet article s'inscrit dans une démarche de conceptualisation théorique. Il ne vise pas à tester empiriquement des hypothèses, mais à construire un cadre intégrateur permettant de structurer et de relier des mécanismes dispersés dans la littérature. Sur le plan théorique, le modèle contribue à l'intégration des dynamiques non linéaires et des boucles de rétroaction. Sur le plan pratique, il offre un outil d'analyse permettant d'identifier les points critiques d'amplification des signaux faibles et de renforcer les capacités de contrôle réflexif dans la gestion des projets complexes.

Cet article est structuré comme suit. La première section présente la méthode de recherche PRISMA adoptée dans le cadre de la revue systématique. La deuxième section expose les résultats thématiques issus de l'analyse de la littérature. La troisième section développe l'analyse et l'interprétation de ces résultats à la lumière du modèle I-C-P-E. Enfin, la dernière section discute les apports, limites et implications théoriques et pratiques du modèle proposé.

1. Méthode de recherches

Cette recherche adopte une démarche de revue systématique de littérature conformément aux recommandations du cadre méthodologique PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), largement utilisé pour assurer la transparence, la reproductibilité et la rigueur des processus de sélection documentaire. L'objectif de cette revue est d'identifier, d'analyser et de synthétiser les travaux scientifiques portant sur la dynamique des projets, la complexité, l'incertitude, les mécanismes d'émergence et les boucles de rétroaction afin de construire un modèle conceptuel capable d'expliquer la genèse des crises de projet dans une perspective de Systèmes Adaptatifs Complexes.

La recherche documentaire a été réalisée en mai 2025 dans les principales bases de données internationales en management et gestion de projet, notamment Sage Journal, Science Direct, Wiley Online Library, SpringerLink, Research Gate. La stratégie de recherche a été élaborée à partir des principaux concepts identifiés dans la littérature sur les systèmes complexes, la théorie du chaos et la dynamique des projets.

L'équation de recherche retenue est la suivante :

("project management", "complex systems", "complexity", "chaos theory", "non-linear systems", "emergence", "adaptive management") puis des expressions combinées par des opérateurs booléens ("project management") AND ("complex systems" OR "complexity" OR "chaos theory" OR "non-linear systems" OR "emergence" OR "adaptive management").

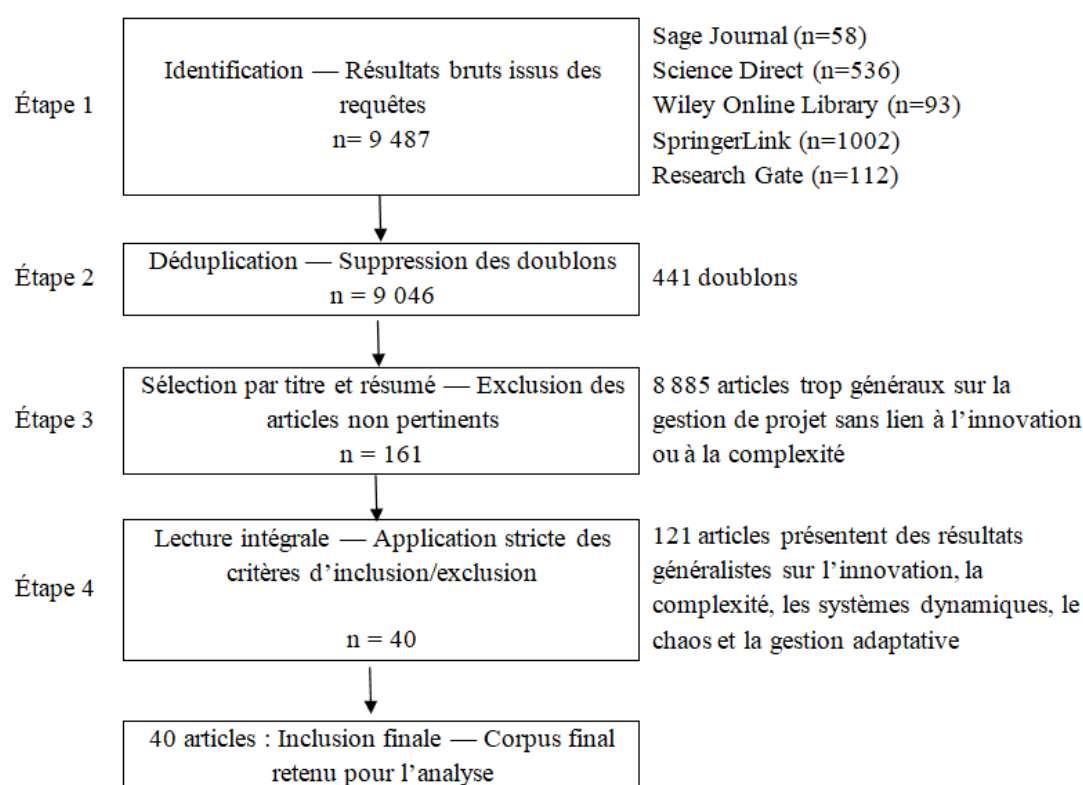
Cette requête a été adaptée aux spécificités syntaxiques de chaque base de données. La recherche a été limitée aux articles scientifiques évalués par les pairs, publiés en langue anglaise, dans les domaines de la gestion de projet et du management. Les actes de conférence, les éditoriaux, les chapitres d'ouvrages, les notes de recherche et les documents ne présentant pas de contribution explicite à la compréhension de la dynamique des projets ont été exclus.

Tableau N°1 : Critères d'inclusion et exclusion

Inclusions	Exclusions
Articles évalués par des pairs	Littérature grise (blogs, rapports non scientifiques)
Articles en anglais	Articles non accessibles en texte intégral
Publications entre 2000 et 2024	Articles trop généraux sur la gestion de projet sans lien à l'innovation ou à la complexité
Portant sur : innovation, complexité, systèmes dynamiques, chaos, gestion adaptative	Études de cas strictement techniques sans dimension managériale ou systémique

Source : Élaboration de l'auteur

La procédure de filtrage s'est déroulée en plusieurs étapes.

Figure N°1 : Étapes du processus de sélection des articles


Source : Élaboration de l'auteur

À l'issue de ce processus, un corpus final composé des 40 travaux a été constitué. L'analyse des données s'est appuyée sur une procédure de codification thématique inspirée des travaux de Braun & Clarke (2006) et de Saldaña (2021). Chaque article a été analysé selon une grille de codification construite à partir des dimensions récurrentes identifiées dans la littérature sur la complexité des projets (complexité, incertitude, dynamisme, apprentissage).

Tableau N°2 : Matrice des articles retenus (non exhaustif)

Références	Objet principal	Concept dominant	Approche / Méthode	Outil ou type de modélisation	Contribution principale
Aaltonen & Kujala (2016)	Comprendre les paysages de parties prenantes	Paysage des parties prenantes	Revue systématique de littérature	Cadre conceptuel multidimensionnel	Introduit les dimensions complexité-incertitude-dynamisme-contexte institutionnel
Antoniadis et al. (2011)	Effets de la complexité socio-organisationnelle sur la performance	Complexité socio-organisationnelle	Études de cas construction	Aucune modélisation formelle	Montre l'impact des interconnexions sociales sur les délais
Aritua et al. (2009)	Comprendre les environnements multi-projets	Systèmes adaptatifs complexes (CAS)	Analyse conceptuelle	Modèle conceptuel CAS	Montre que les multi-projets sont fondamentalement différents des projets uniques
Berggren et al. (2008)	Gestion de systèmes complexes	Intégration et innovation organisationnelle	Développement conceptuel qualitatif	Lagomizing, Organic Integration, Systems Emergency Wards	Développe des pratiques innovantes d'intégration
Biglin et al. (2022)	Relations entre facteurs de complexité dans les mégaprojets	Complexité structurelle des mégaprojets	Revue + Delphi + ISM	Interpretive Structural Modeling (ISM)	Identifie les facteurs moteurs et dépendants de la complexité
Bjorvatn & Wald (2018)	Effet de la complexité sur la performance	Capacité d'absorption (ACAP)	Enquête quantitative (285 répondants)	PLS-SEM	Montre le rôle médiateur de l'ACAP
de Rende et al. (2022)	Complexité dans les projets de défense	Réseau de facteurs de complexité	Entretiens + revue de littérature	Réseau contextualisé de complexité	Met en évidence les interdépendances et comportements émergents
Boonstra & Reezigt (2023)	Adapter la stratégie à la complexité	Complexité technique et socio-organisationnelle	Développement conceptuel	Matrice contingente 2x2	Associe chaque type de complexité à une stratégie de gestion
Bosch-Rekvelid et al. (2011)	Caractériser la complexité des grands projets	Cadre TOE	Revue + entretiens	TOE Framework	Structure la complexité selon dimensions Technique, Organisationnelle et Environnementale
Butler et al. (2020)	Alignement approche-projet	Complexité et dynamisme	Enquête quantitative	SEM	Montre que l'agilité convient au dynamisme et la planification à la complexité
Chang et al. (2013)	Rôle de l'IMS comme objet frontière	Objets frontières temporels	Études de cas multiples	IMS (Integrated Master Schedule) + CAS	Montre le rôle du planning comme outil de sensemaking collectif

Source : Élaboration de l'auteur

Le protocole de codification reposait sur cinq construits principaux correspondant à l'objectif de recherche. Le premier construit concernait l'incertitude et regroupait les manifestations liées à l'ambiguïté, à l'imprévisibilité, à la nouveauté, aux informations incomplètes et aux risques émergents. Le deuxième construit portait sur le dynamisme et regroupait les phénomènes d'évolution temporelle, d'itération, d'adaptation organisationnelle et de transformation des trajectoires de projet. Le troisième construit concernait la complexité et incluait les interdépendances, les interactions multiples, l'émergence, la non-linéarité, les comportements collectifs et les propriétés des systèmes adaptatifs complexes.

L'analyse thématique a été réalisée en plusieurs cycles successifs. Dans un premier temps, un codage ouvert a permis d'identifier les concepts récurrents présents dans les articles.

Tableau N°3 : Tableau de codification

Code	Dimension	Sous code	Description opérationnelle	Indicateurs dans les articles
INC	Incertitude	INC-T	Incertitude technique	Itérations, rework, inconnues techniques (Yang et al. 2014; Odusanya et al, 2021)
INC	Incertitude	INC-O	Incertitude des objectifs	objectifs flous, livrables instables (Odusanya et al, 2021)
INC	Incertitude	INC-DY	Incertitude dynamique	évolution non anticipée dans le temps
DYN	Dynamisme	DYN-IT	Dynamique par itérations	boucles de rework et apprentissage
DYN	Dynamisme	DYN-OV	Chevauchement / overlap	parallélisations des tâches
DYN	Dynamisme	DYN-EM	émergence organisationnelle	ajustements continus, adaptation locale
COM	Complexité	COM-ORG	complexité organisationnelle	interdépendances, coalitions
COM	Complexité	COM-TEC	complexité technique	innovations, systèmes techniques
COM	Complexité	COM-STR	complexité structurelle	taille, variété, multi-acteurs
COM	Complexité	COM-EM	complexité émergente	non-linéarité, auto-organisation
RET	Rétroactions	RET-P	rétroactions positives	amplification des effets
RET	Rétroactions	RET-N	rétroactions négatives	contrôle et stabilisation
RET	Rétroactions	RET-L	boucles d'apprentissage	apprentissage organisationnel
CTRL	Contrôle	CTRL-REF	contrôle réflexif	ajustement en temps réel
CTRL	Contrôle	CTRL-ADP	contrôle adaptatif	adaptation continue
CTRL	Contrôle	CTRL-DEC	décision contingente	choix méthode (plan/agile)

Source : Élaboration de l'auteur

Dans un deuxième temps, les codes ont été regroupés en catégories intermédiaires correspondant aux mécanismes dynamiques observés dans les projets. Enfin, une phase de codage axial a permis d'établir les relations entre les catégories afin de reconstruire les chaînes causales reliant les conditions initiales du projet aux résultats observés.

Cette démarche a conduit à l'identification de plusieurs thèmes transversaux, notamment l'amplification des signaux faibles, les phénomènes de rétroaction positive et négative, les mécanismes d'apprentissage adaptatif, l'émergence organisationnelle et les crises systémiques de projet.

Tableau N°4 : Matrice de synthèse des articles retenus (non exhaustif)

Auteurs	Type d'incertitude	Type de dynamisme	Type de complexité	Mécanisme de contrôle	Rôle de rétroaction
Aaltonen & Kujala (2016)	Incertitude des parties prenantes	Dynamisme du réseau d'acteurs	Complexité relationnelle et institutionnelle	Adaptation de la gestion des parties prenantes	Ajustement continu selon évolution du paysage
Antoniadis et al. (2011)	Incertitude organisationnelle	Interactions non linéaires	Complexité socio-organisationnelle	Mesures correctives de coordination	Les problèmes sociaux amplifient les écarts de performance
Aritua et al. (2009)	Incertitude émergente	Auto-organisation	Complexité systémique CAS	Règles simples plutôt que contrôle centralisé	Boucles d'émergence et d'adaptation
Berggren et al. (2008)	Incertitude technologique	Ajustements continus	Complexité d'intégration système	Structures d'intégration dédiées	Apprentissage collectif et résolution rapide
Bilgin et al. (2022)	Incertitude liée aux facteurs interdépendants	Propagation hiérarchique	Complexité structurelle des mégaprojets	Gestion des facteurs moteurs	Effets indirects entre facteurs
Bjorvatn & Wald (2018)	Incertitude de traitement des connaissances	Adaptation de l'équipe	Complexité globale du projet	Développement de l'ACAP	L'apprentissage réduit partiellement les impacts
de Rezende et al. (2022)	Incertitude systémique	Comportements émergents	Complexité interconnectée	Pensée systémique	Propagation des effets à travers le réseau
Boonstra & Reezigt (2023)	Incertitude technique et sociale	Variable selon l'archétype	Complexité technique et socio-organisationnelle	Stratégies contingentes	Réajustement de la stratégie selon l'évolution
Bosch-Rekvelde et al. (2011)	Incertitude technique, organisationnelle et environnementale	Évolution du contexte projet	Complexité TOE	Adaptation du front-end	Réévaluation périodique des dimensions TOE
Butler et al. (2020)	Incertitude liée au changement	Dynamisme des exigences	Complexité structurelle du projet	Choix Agile ou Plan	Boucles d'apprentissage Agile ou contrôle planifié
Chang et al. (2013)	Incertitude temporelle et coordination	Dynamique de planification évolutive	Complexité organisationnelle	IMS comme objet frontière	Feedback de coordination continue
Chapman (2016)	Incertitude contextuelle	Dynamique temporelle de la complexité	Complexité multidimensionnelle	Distinction contrôle / contexte	Ajustement progressif des dimensions
Cooke-Davies et al. (2008)	Incertitude radicale	Dynamique non linéaire	Complexité émergente	Approche systémique adaptative	Boucles d'émergence et auto-organisation
Costantini et al. (2021)	Incertitude + volatilité	Dynamique hybride	Complexité contingente	Choix méthodologique hybride	Ajustement plan/agile en boucle
Danilovic & Browning (2007)	Incertitude des dépendances	Dynamique inter-domaines	Complexité structurelle	DSM/DMM comme contrôle structurel	Feedback inter-domaines explicite
Edkins et al. (2007)	Incertitude cognitive	Dynamique des perceptions	Complexité cognitive	Sensemaking collectif	Rétroaction interprétative

Source : Élaboration de l'auteur

La synthèse des articles a été réalisée à l'aide d'une matrice comparative permettant de croiser les principaux construits étudiés avec les approches théoriques et méthodologiques mobilisées. Cette matrice comportait notamment les dimensions relatives aux facteurs d'entrée du projet, aux mécanismes de contrôle et de gouvernance, aux processus de transformation organisationnelle et aux résultats observés. L'analyse transversale de cette matrice a permis de mettre en évidence une fragmentation importante de la littérature :

certaines recherches se concentrent sur les intrants du projet, d'autres sur les mécanismes de pilotage, les processus ou les résultats, sans proposer de représentation intégrée des interactions entre ces dimensions. Cette observation constitue le fondement du développement du modèle I-C-P-E, conçu comme un cadre systémique destiné à relier les Intrants, les mécanismes de Contrôle, les Processus adaptatifs et les Extrants dans une logique de causalité dynamique et de rétroaction continue.

2. Résultat thématique

2.1. Théorie des systèmes adaptatifs complexes

La théorie des systèmes adaptatifs complexes constitue aujourd'hui un cadre paradigmatique majeur pour analyser les projets contemporains, en particulier lorsqu'ils se déploient dans des environnements caractérisés par une forte incertitude, une multiplicité d'acteurs et une interdépendance marquée de leurs composantes (Aaltonen & Kujala, 2016; Cooke-Davies et al., 2007; Daniel & Daniel, 2023; Jaafari, 2003; Sweetman & Conboy, 2018; Zhu & Mostafavi, 2017). Plutôt que de considérer le projet comme un dispositif linéaire, où les résultats globaux seraient une simple fonction de la somme des contributions locales, cette approche propose de le conceptualiser comme un système au sein duquel le comportement global résulte d'un enchevêtrement d'interactions non linéaires entre agents, qu'il s'agisse des équipes, des tâches ou des ressources mobilisées (Butler et al., 2019; de Rezende et al., 2022). Cette perspective permet de rendre intelligibles des phénomènes qui échappent aux modèles déterministes classiques, tels que l'apparition soudaine de crises ou, à l'inverse, de solutions innovantes inattendues. Au cœur de ce cadre théorique se trouve la notion d'émergence, entendue comme l'apparition de propriétés, de comportements ou de résultats qui ne peuvent être déduits de la seule analyse des composantes prises isolément (Cooke-Davies et al., 2007; Zhu & Mostafavi, 2017). Dans un projet conçu comme système adaptatif complexe, l'émergence peut se manifester de manière positive, mais également de manière négative, lorsque des enchaînements d'événements mineurs conduisent à une situation de crise (Antoniadis et al., 2011; Daniel & Daniel, 2023; Homer-Dixon et al., 2015; Zhu & Mostafavi, 2017).

Dès lors, ce ne sont pas seulement les éléments du système qui importent, mais la manière dont ils interagissent, se coordonnent, s'ajustent ou se désajustent, ce qui impose de déplacer le regard de la structure statique vers la dynamique des relations (Berggren et al., 2008; Mamédio & Meyer, 2020; Zhu & Mostafavi, 2017). Cette dynamique est indissociable de la

propriété de non-linéarité, autre concept central de la théorie des systèmes adaptatifs complexes (Cooke-Davies et al., 2007; Daniel & Daniel, 2023).

2.2. Dynamique des projets et complexité

Depuis le début des années 2000, la littérature en gestion de projet s'est progressivement éloignée des approches strictement planificatrices et déterministes pour intégrer des perspectives fondées sur la complexité, l'incertitude et l'adaptation. Cette évolution repose notamment sur l'idée que les projets constituent des systèmes ouverts caractérisés par de multiples interactions, des comportements émergents et des trajectoires difficilement prévisibles (Nachbagauer, 2021; Sweetman & Conboy, 2018; Thomas & Mengel, 2008). Dans cette perspective, la théorie des Systèmes Adaptatifs Complexes (Complex Adaptive Systems - CAS) est devenue un cadre de référence important pour comprendre comment les projets évoluent sous l'effet des interactions entre acteurs, ressources, structures organisationnelles et environnement externe.

Plusieurs travaux se sont attachés à identifier les sources de la complexité des projets. Qureshi & Kang, (2015) montrent que la complexité organisationnelle résulte principalement de la variété des composantes du projet, de leurs interdépendances et de leur taille. Dans la même logique, Vidal et al. (2011) proposent un indice multicritère fondé sur l'Analytic Hierarchy Process (AHP) afin de mesurer différentes dimensions de la complexité, tandis que Rolstadås & Schiefloe (2017) développent un modèle conceptuel visant à identifier les moteurs de complexité tels que l'ambiguïté, l'incertitude, l'imprévisibilité et le rythme du projet. Ces travaux contribuent à mieux caractériser les facteurs générateurs de complexité mais demeurent principalement centrés sur l'identification ou la mesure des déterminants de la complexité plutôt que sur les mécanismes dynamiques qui transforment ces facteurs en crises ou en perturbations majeures.

D'autres recherches se sont intéressées à la dimension dynamique de la complexité. Lu et al. (2015) proposent un modèle de mesure de la complexité des grands projets fondé sur la notion de « charge de travail cachée » et démontrent que la complexité émerge de manière dynamique à travers les interactions organisationnelles. Yang et al. (2014) montrent, à travers des simulations Monte Carlo et des modèles à événements discrets, que l'augmentation des itérations et des chevauchements d'activités produit des effets non linéaires sur les délais des projets. Leurs résultats illustrent comment de faibles variations dans les paramètres initiaux peuvent engendrer des conséquences disproportionnées sur la performance globale. Toutefois, ces travaux se concentrent essentiellement sur les processus opérationnels sans proposer un

cadre systémique permettant de relier explicitement les conditions initiales du projet aux mécanismes de transformation et aux résultats observés.

Parallèlement, plusieurs auteurs ont cherché à développer des cadres conceptuels destinés à guider la gestion de la complexité. Seely & Duong (2001) introduisent le Dynamic Baseline Model (DBM) afin d'adapter les approches de gestion à différents niveaux de complexité et d'apprentissage. Jaafari (2003) propose une vision du projet comme système adaptatif complexe nécessitant des mécanismes d'apprentissage et d'autorégulation continus. Plus récemment, Nachbagauer (2021) étend le cadre Cynefin en combinant complexité et nouveauté afin de distinguer différentes situations de gestion et d'orienter les stratégies de pilotage. Ces contributions reconnaissent explicitement l'existence de phénomènes émergents et de bifurcations dans les projets, mais elles demeurent essentiellement prescriptives et ne modélisent pas précisément les mécanismes causaux reliant les perturbations initiales aux résultats finaux.

Les travaux portant sur les systèmes d'information de gestion de projet apportent également un éclairage important sur la dynamique des projets complexes. Li et al. (2015) développent un système d'information multi-projets destiné à améliorer la circulation de l'information et à renforcer la contrôlabilité organisationnelle dans les grands programmes d'infrastructures urbaines. Mikkelsen et al. (2021) proposent la « Complexity Navigation Window », tandis que Mikkelsen & Aaltonen (2023) développent un artefact numérique permettant de surveiller les perceptions des parties prenantes afin de détecter précocement les problèmes émergents. Ces recherches mettent en évidence l'importance des mécanismes de rétroaction et des systèmes de surveillance dans la gestion de la complexité. Toutefois, elles s'intéressent principalement aux outils de soutien à la décision sans formaliser le rôle des rétroactions dans la transformation progressive des perturbations en crises systémiques.

Une autre partie de la littérature s'intéresse aux réponses organisationnelles face à la complexité. Mamédio & Meyer (2020) montrent que l'improvisation stratégique constitue un mécanisme essentiel pour faire face aux situations imprévues dans les projets hospitaliers complexes. De leur côté, Odusanya et al. (2021) soulignent que les incertitudes techniques et l'ambiguïté des objectifs influencent directement la performance des projets de transformation numérique. Zaman et al. (2019) démontrent quant à eux que les compétences sociales et politiques des chefs de projet atténuent les effets négatifs de la complexité sur la performance. Bien que ces travaux mettent en évidence différents mécanismes d'adaptation et de régulation,

ils n'expliquent pas comment ces mécanismes interagissent avec les processus du projet pour produire ou éviter des trajectoires critiques.

Sur le plan conceptuel, plusieurs auteurs ont également cherché à clarifier les notions de complexité et d'incertitude. Padalkar & Gopinath (2016) montrent que ces deux concepts sont fréquemment confondus dans la littérature et proposent une taxonomie permettant de distinguer leurs différentes composantes. Mikkelsen (2020) met en évidence l'importance de la perception de la complexité par les praticiens et souligne le rôle central de la clarté des objectifs dans cette perception. Ces travaux contribuent à préciser les construits théoriques mobilisés dans l'analyse des projets complexes, mais ils ne proposent pas de modèle permettant d'articuler ces construits dans une dynamique causale cohérente.

2.3. Limites des modèles existants

Dans l'ensemble, la littérature reconnaît désormais largement que les projets doivent être appréhendés comme des systèmes complexes caractérisés par l'émergence, l'incertitude, l'adaptation et les interactions non linéaires (Jaafari, 2003; Nachbagauer, 2021; Sweetman & Conboy, 2018; Thomas & Mengel, 2008). Cependant, les recherches existantes demeurent fragmentées. Certaines études se concentrent sur les facteurs de complexité (Qureshi & Kang, 2015; Vidal et al., 2011), d'autres sur les mécanismes de mesure (Lu et al., 2015), les outils de gestion (Y. Li et al., 2015; Mikkelsen & Aaltonen, 2023), les stratégies d'adaptation (Mamédio & Meyer, 2020) ou encore les compétences des acteurs (Zaman et al., 2019). Cette fragmentation conduit à deux lacunes théoriques.

La première concerne l'absence de structuration causale intégrée permettant de relier explicitement les intrants d'un projet, les mécanismes internes de transformation et les résultats produits. Les travaux existants analysent généralement séparément les facteurs d'entrée, les processus organisationnels ou les performances finales, sans proposer un cadre systémique unifié permettant d'expliquer comment les perturbations initiales se propagent à travers le système projet pour générer des effets émergents.

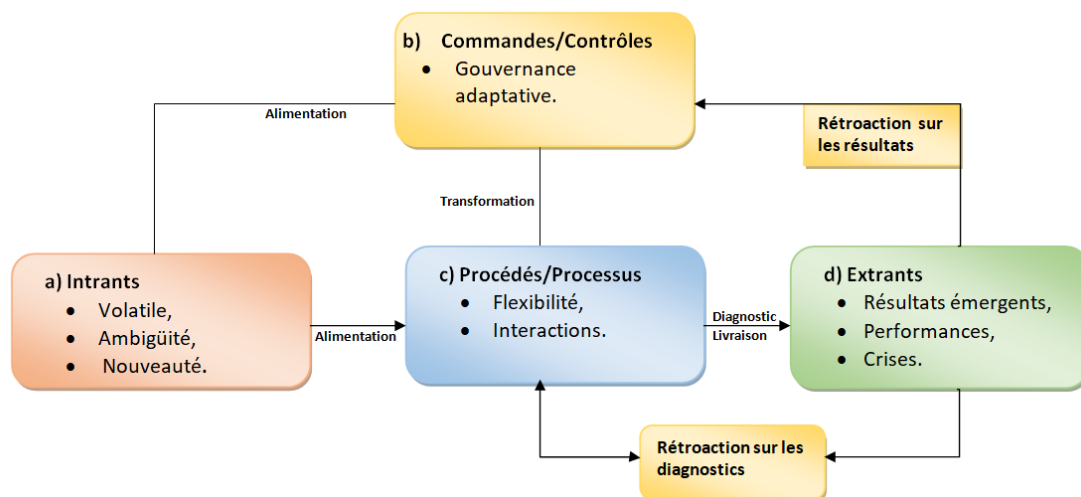
La seconde lacune concerne l'insuffisance de modèles explicatifs des boucles de rétroaction entre décision, exécution et résultat. Bien que les phénomènes de feedback soient régulièrement évoqués dans les travaux sur la complexité, l'apprentissage organisationnel ou les systèmes adaptatifs complexes (Jaafari, 2003; Y. Li et al., 2015; Mikkelsen & Aaltonen, 2023; Sweetman & Conboy, 2018), ils ne sont généralement pas intégrés dans une représentation cohérente reliant les mécanismes de pilotage aux transformations opérationnelles et aux résultats observés. En particulier, la littérature explique rarement

comment les signaux faibles issus des extrants peuvent être amplifiés ou atténués par les processus décisionnels et conduire à des bifurcations critiques dans la trajectoire d'un projet. C'est précisément dans ces deux espaces théoriques que s'inscrit le cadre I-C-P-E (Intrants-Commandes/Contrôles-Processus-Extrants), dont l'ambition est de fournir une représentation systémique intégrée des mécanismes d'amplification, des boucles de rétroaction et des points de bifurcation à l'origine des crises de projet au sein des systèmes adaptatifs complexes.

3. Analyse et interprétation des résultats

L'élaboration du cadre I-C-P-E résulte du processus d'abstraction théorique fondé sur l'analyse thématique des travaux recensés dans la revue systématique. L'objectif était de comprendre comment les facteurs de complexité, d'incertitude ou de dynamisme présents dans les projets, interagissent dans le temps pour produire des trajectoires stables ou, au contraire, des situations de crise. L'analyse transversale des études retenues révèle que la littérature sur la complexité des projets demeure largement fragmentée. De plus, elle a progressivement fait émerger quatre grandes catégories de variables.

Figure N°2 : Cadre analytique des interactions, des rétroactions et d'adaptations des projets complexes.



Source : Élaboration de l'auteur

La première regroupe les éléments qui préexistent à l'exécution du projet et qui conditionnent sa trajectoire future. Elle comprend notamment les ressources, les exigences, les contraintes, les objectifs, les parties prenantes, les dépendances techniques ainsi que les différentes formes d'incertitude identifiées par Mikkelsen (2020); Padalkar & Gopinath (2016) ou Yang et al. (2014). Ces éléments ont été regroupés dans la catégorie des Intrants.

La deuxième catégorie rassemble les mécanismes de gouvernance, les décisions de pilotage, les dispositifs de coordination et les processus de régulation mobilisés pour orienter l'évolution du projet. Cette dimension apparaît de manière récurrente dans les travaux portant sur les systèmes d'information de gestion, la navigation de la complexité ou les approches adaptatives de la gestion de projet (Li et al., 2021; Mikkelsen et al., 2021; Mikkelsen & Aaltonen, 2023; Nachbagauer, 2021). Ces mécanismes jouent un rôle central dans la capacité du système à détecter, interpréter et corriger les écarts observés au cours de l'exécution ou à interroger soit les hypothèses de base, soit les objectifs initiaux. Ils constituent la dimension Commandes/Contrôles du cadre.

Tableau N°5 : Composants du cadre I-C-P-E

Composants du système	Descriptions	Rôle du composant	Fonction clé
Intrants	Représentent les sources initiales d'incertitude qui définissent le défi du projet.	L'alimentation du système.	Vecteur d'incertitude (volatilité, ambiguïté, nouveauté).
Commandes/Contrôles	Représentent le mécanisme de régulation et de prise de décision.	Le mécanisme de régulation et d'orientation.	Gouvernance adaptative.
Procédés/Processus	Représentent les méthodes de travail et les interactions par lesquelles les Intrants sont transformés	Le mécanisme de transformation interne.	Flexibilité.
Extrants	Représentent les résultats, qu'ils soient planifiés ou imprévus.	Le produit ou la conséquence du système.	Résultats émergents.
(a) → (b), (c)	Le travail est directement influencé par la volatilité, l'ambiguïté ou la nouveauté.	Alimentation	Les Intrants fournissent la matière et les contraintes de base.
(b) → (c)	La Gouvernance adaptative dicte le niveau de flexibilité ou de rigueur nécessaire.	Transformation	Les Commandes (gouvernances) guident et ajustent le Procédé pour répondre à l'environnement d'incertitude.
(c) → (d)	L'exécution mène aux livrables et aux performances réelles.	Livraison	Flèche principale indiquant que le Processus produit les résultats du projet.
	Permet une autocorrection rapide avant la fin d'une phase.	Diagnostic	Flèche secondaire indiquant que le Processus lui-même génère des données de performance continues.
(d) → (b)	Le système apprend de ses résultats pour déterminer l'écart entre le plan et l'émergence.	Rétroaction sur les résultats	Boucle critique (simple) : les Extrants sont remontés aux Commandes/Contrôles pour évaluation.
	Le système est adaptatif et module la flexibilité du Processus pour mieux absorber l'incertitude.	Rétroaction sur les diagnostics	Boucle dynamique (double) : Les Commandes, après avoir diagnostiqué l'Extrant, renvoient des directives pour ajuster le Procédé.

Source : Élaboration de l'auteur

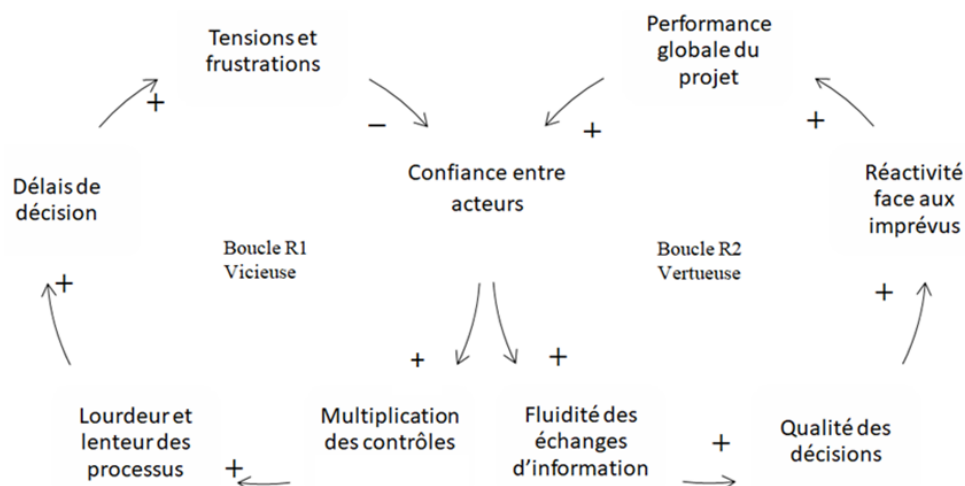
La troisième catégorie correspond aux activités de transformation proprement dites. Elle regroupe les interactions entre acteurs, les processus opérationnels, les mécanismes d'apprentissage, les phénomènes d'itération, de coordination, d'adaptation et de réorganisation observés dans les projets complexes. Les travaux de Lu et al. (2015); Sweetman & Conboy

(2018) ; Yang et al. (2014) ainsi que Mamédio & Meyer (2020) montrent que c'est à ce niveau que se développent les mécanismes d'émergence et les comportements non linéaires caractéristiques des systèmes adaptatifs complexes. Cette dimension constitue les Procédés ou Processus du cadre.

La quatrième catégorie concerne les conséquences produites par le fonctionnement du système projet. Elle comprend les résultats attendus mais également les effets inattendus tels que les retards, les dépassements de coûts, les conflits, les réorganisations ou les crises. Ces conséquences sont largement documentées dans les travaux de Odusanya et al. (2021); Shenhar et al. (2016); Yang et al. (2014) ou Zaman et al. (2019). Elles forment la catégorie des Extrants.

Par ailleurs, le passage des résultats de la revue aux boucles causales repose sur une seconde étape d'analyse visant à identifier les relations dynamiques récurrentes entre ces différentes catégories. L'examen des études révèle que les projets complexes ne peuvent être expliqués uniquement par des relations linéaires de type cause-effet. Au contraire, la plupart des phénomènes observés résultent de mécanismes de rétroaction dans lesquels les conséquences d'une action influencent en retour les conditions de fonctionnement du système. Cette logique est particulièrement visible dans les travaux inspirés de la théorie des systèmes adaptatifs complexes, de la dynamique des systèmes et des approches fondées sur l'émergence (Jaafari, 2003; Nachbagauer, 2021; Sweetman & Conboy, 2018).

Figure N°3 : Cercle vicieux et vertueux de la confiance et du contrôle

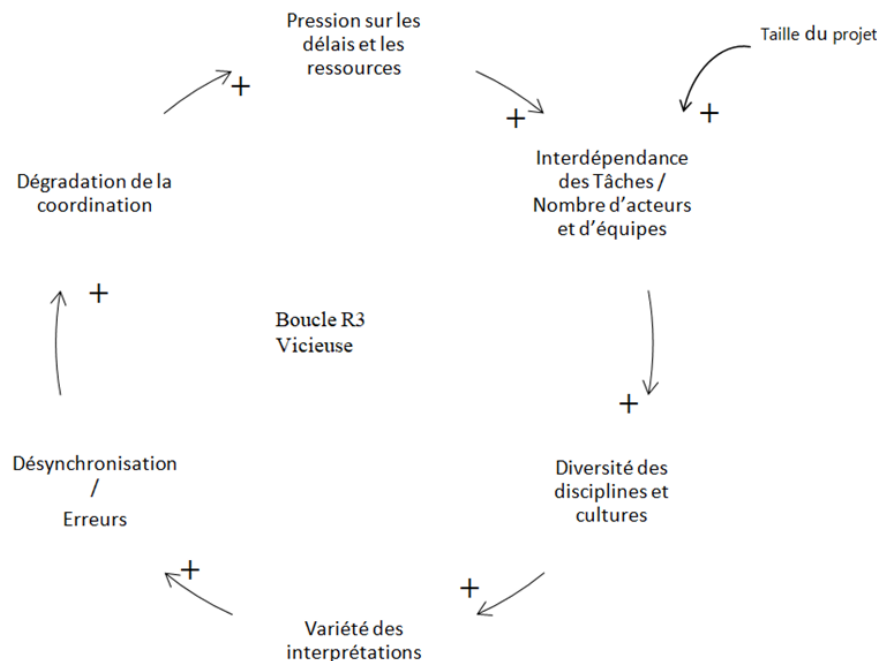


Source : Élaboration de l'auteur

L'analyse a ainsi permis d'identifier plusieurs boucles de rétroaction structurantes. Parmi celles-ci, la boucle R1, qualifiée de cercle vicieux de la méfiance et du contrôle, met en

évidence la manière dont l'augmentation de la complexité socio-organisationnelle génère des difficultés de coordination, accroît les mécanismes de contrôle et produit finalement davantage de tensions organisationnelles. Cette dynamique réduit progressivement la fluidité des interactions, ralentit l'avancement du projet et contribue à l'augmentation des coûts. Cette boucle rejoint les observations de Bosch-Rekvelde et al. (2011); Mamédio & Meyer (2020); et de Qureshi & Kang (2015), qui soulignent le rôle central des interdépendances humaines et organisationnelles dans la production de la complexité.

Figure N°4 : Cercle vicieux de la désynchronisation et de la coordination



Source : Élaboration de l'auteur

La boucle R3, qualifiée de cercle vicieux de la désynchronisation, traduit quant à elle la dynamique propre à la complexité technique et structurelle. Les interdépendances techniques, les itérations et les chevauchements d'activités augmentent les besoins de coordination et multiplient les possibilités de reconfiguration des tâches. Cette situation favorise les retards, les révisions de conception et les réaffectations de ressources, ce qui accroît à son tour la complexité structurelle du projet. Les travaux de Lu et al. (2015); Shenhar et al. (2016) et de Yang et al. (2014) montrent que ce type de mécanisme est particulièrement fréquent dans les projets innovants ou technologiquement complexes.

L'identification de ces boucles causales a constitué une étape intermédiaire essentielle entre les résultats de la revue et la formalisation du cadre I-C-P-E. Les boucles ont permis de rendre visibles les mécanismes d'amplification et de propagation des perturbations à l'intérieur du système projet. Elles montrent que les phénomènes de complexité ne sont pas simplement des

caractéristiques statiques du projet mais qu'ils agissent comme des mécanismes dynamiques capables de renforcer ou de freiner certaines trajectoires organisationnelles. Dans cette perspective, la complexité apparaît comme un facteur susceptible d'amplifier les rétroactions positives ou de neutraliser les rétroactions correctrices, favorisant ainsi l'émergence de comportements non linéaires (de Rezende et al., 2022).

De plus, l'approche I-C-P-E met l'accent sur la capacité intrinsèque du système à évoluer et à s'adapter, une propriété jugée cruciale pour gérer la volatilité, l'ambiguïté et l'incertitude propres aux environnements de projets contemporains (Costantini et al., 2021; Giezen, 2012; Rolstadås & Schiefloe, 2017). Le système de Commandes/Contrôles est alors explicitement positionné comme le moteur de l'apprentissage organisationnel, exploitant le diagnostic en continu des Extrants pour décider s'il convient de déclencher une régulation de type purement opérationnel (contrôle classique) ou une révision de portée plus stratégique (contrôle réflexif). L'apprentissage en simple boucle, associé à un contrôle classique, porte principalement sur les Procédés en cherchant à répondre à la question de savoir si les acteurs font les choses correctement, ce qui conduit à ajuster les méthodes, les outils et les modes de coordination pour mieux atteindre des objectifs inchangés (Danilovic & Browning, 2007; Nachbagauer, 2021).

À l'inverse, l'apprentissage en double boucle, associé à un contrôle réflexif, remonte jusqu'aux Intrants et aux hypothèses fondamentales qui sous-tendent la définition même du projet. Il s'attache à répondre à la question de savoir si l'organisation fait les bonnes choses, ouvrant la possibilité de modifier la stratégie, la mission ou la configuration des exigences initiales avant même d'ajuster de nouveau les processus (Nachbagauer, 2021).

Le cadre I-C-P-E constitue alors un niveau supérieur d'abstraction visant à intégrer l'ensemble de ces mécanismes dans une architecture systémique unique. Ainsi, les Intrants représentent les sources potentielles de perturbation et les conditions initiales du système. Les Commandes/Contrôles correspondent aux mécanismes réflexifs chargés d'interpréter les informations et de réguler les écarts ou d'interroger les hypothèses initiales. Les Processus représentent l'espace où se développent les interactions, les apprentissages, les adaptations et les phénomènes émergents. Enfin, les Extrants matérialisent les conséquences observables de ces dynamiques. Les boucles causales assurent la connexion entre ces quatre dimensions en montrant comment les résultats produits réinjectent continuellement de nouvelles informations dans le système et modifient les décisions futures.

Cette démarche permet de dépasser les approches fragmentées de la littérature actuelle et de proposer un cadre explicatif capable de rendre compte simultanément des conditions initiales, des mécanismes de régulation, des processus d'émergence et des résultats observés dans les projets complexes. Le cadre offre ainsi une lecture dynamique de la genèse des crises de projet en montrant comment de faibles perturbations initiales peuvent être amplifiées par les interactions internes du système et conduire, en l'absence de mécanismes réflexifs appropriés, à des bifurcations critiques susceptibles de transformer profondément la trajectoire du projet.

4. Discussions

4.1. Cadre ICPE (Intrants-Commandes/Contrôles-Processus/Procédés-Extrants)

Le cadre I-C-P-E repose sur un ensemble de fondements théoriques issus principalement de la théorie des systèmes adaptatifs complexes, de la pensée systémique et de la littérature contemporaine en gestion de projet. Son ancrage théorique principal se situe dans les travaux sur les systèmes complexes adaptatifs (Holland, 1992; Mitchell, 2009; Stacey, 1995), qui considèrent les organisations et les projets comme des systèmes ouverts caractérisés par des interactions non linéaires, des phénomènes d'auto-organisation et des dynamiques émergentes.

Dans cette perspective, le projet n'est pas conçu comme une chaîne linéaire d'activités, mais comme un système dynamique dans lequel les interactions entre composants produisent des comportements globaux imprévisibles. Cette approche est renforcée par les travaux de Sterman (2002) sur la dynamique des systèmes, qui mettent en évidence le rôle central des boucles de rétroaction dans l'amplification ou la stabilisation des comportements organisationnels.

Le cadre s'appuie également sur la littérature en gestion de projet qui souligne la montée de la complexité et de l'incertitude dans les environnements contemporains (Cooke-Davies et al., 2007; Jaafari, 2003; Shenhar et al., 2016). Ces travaux ont montré que les approches traditionnelles de planification linéaire sont insuffisantes pour rendre compte des dynamiques réelles des projets complexes, ce qui justifie le recours à des cadres systémiques intégrateurs.

Par ailleurs, le cadre intègre les apports des recherches sur la complexité organisationnelle et la multi-dimensionnalité des projets (Lu et al., 2015; Vidal et al., 2011), ainsi que les approches contemporaines mettant en avant la perception et la construction sociale de la complexité (Mikkelsen, 2020). Enfin, les travaux récents sur la gouvernance adaptative et les systèmes socio-techniques complexes (Daniel & Daniel, 2023; Zhu & Mostafavi, 2017)

renforcent l'idée selon laquelle les projets doivent être appréhendés comme des systèmes évolutifs soumis à des dynamiques d'interaction non linéaires.

Ainsi, le cadre I-C-P-E constitue une synthèse théorique intégrative visant à articuler structure, dynamique et émergence dans une même architecture explicative.

4.2. Positionnement du cadre I-C-P-E par rapport à la littérature existante

Par rapport certains travaux tels que Jaafari (2003), le cadre I-C-P-E constitue une évolution conceptuelle majeure dans la mesure où il dépasse une lecture essentiellement paradigmatique de la complexité pour proposer une architecture systémique structurée des dynamiques projet. Là où Jaafari met en avant le changement de paradigme nécessaire face à la complexité et au chaos, le cadre I-C-P-E propose une décomposition fonctionnelle permettant de relier explicitement les mécanismes internes du projet aux phénomènes de crise et d'émergence.

En comparaison avec les travaux de Cooke-Davies et al, (2007), centrés sur les facteurs critiques de succès et les mécanismes de performance, le cadre I-C-P-E introduit une dimension dynamique causale plus explicite. Il ne se limite pas à identifier des facteurs de succès mais cherche à expliquer comment des perturbations initiales peuvent être amplifiées par les processus internes du projet pour générer des trajectoires non linéaires, y compris des crises systémiques.

Par rapport à la littérature plus récente, notamment Daniel & Daniel (2023), qui mobilise la vision des systèmes adaptatifs complexes pour comprendre les interactions non linéaires dans les projets, le cadre I-C-P-E apporte une granularité supplémentaire en structurant ces interactions à travers quatre fonctions interdépendantes. Il transforme ainsi une lecture systémique générale en une architecture analytique opérationnalisable.

4.3. Contribution scientifique

La contribution scientifique de cette recherche s'inscrit dans le prolongement des travaux portant sur les systèmes adaptatifs complexes appliqués à la gestion de projet, tout en proposant un cadre conceptuel permettant de dépasser certaines limites identifiées dans la littérature. Alors que de nombreuses recherches reconnaissent l'existence de phénomènes d'émergence, d'auto-organisation, d'incertitude et de rétroaction au sein des projets complexes, peu d'entre elles offrent une architecture intégrée permettant d'articuler simultanément les conditions initiales du projet, les mécanismes de pilotage, les processus de transformation et les résultats produits par ces interactions. Le cadre I-C-P-E répond à cette lacune en proposant une représentation systémique qui relie explicitement les dimensions de

complexité, d'incertitude, de dynamisme et d'apprentissage organisationnel au sein d'un même cadre d'analyse.

Sur le plan théorique, cette recherche contribue à l'enrichissement des approches fondées sur les systèmes adaptatifs complexes en gestion de projet. Le modèle proposé permet de conceptualiser le projet comme un système ouvert et évolutif dont les comportements émergent des interactions non linéaires entre ses différentes composantes. Il établit un lien explicite entre les intrants du projet (Intrants), les mécanismes de contrôle et de gouvernance (Commandes/Contrôle), les processus de transformation organisationnelle (Processus/Procédés) et les extrants produits par le système (Extrants). Cette articulation contribue à une meilleure compréhension des mécanismes par lesquels l'incertitude initiale, les interactions entre acteurs et les dynamiques organisationnelles peuvent conduire à des trajectoires divergentes, à des phénomènes de bifurcation et, dans certains cas, à des crises systémiques. Le cadre apporte ainsi une contribution originale à l'explication des processus d'amplification des signaux faibles et des mécanismes générateurs de complexité dans les projets.

Sur le plan conceptuel, la recherche formalise le cadre I-C-P-E comme une architecture systémique du projet complexe. Cette formalisation constitue une avancée par rapport aux approches existantes qui abordent généralement de manière séparée les facteurs de complexité, les mécanismes de gouvernance ou les processus organisationnels. En structurant le projet autour des quatre fonctions fondamentales que sont les Intrants, les Commandes/Contrôles, les Procédés/Processus et les Extrants, le cadre fournit une grille de lecture cohérente permettant d'analyser les relations causales, les boucles de rétroaction et les mécanismes d'émergence qui caractérisent les systèmes projet. Cette architecture offre également un cadre théorique susceptible d'être mobilisé dans de futurs travaux de modélisation dynamique, de simulation ou de validation empirique.

Sur le plan managérial, le modèle met en évidence le rôle central du contrôle réflexif comme mécanisme de régulation des dynamiques complexes. Contrairement aux approches traditionnelles fondées sur la planification et le contrôle prédictif, il souligne l'importance d'une gouvernance adaptative capable de détecter les signaux faibles, d'interpréter les transformations émergentes du système et d'ajuster continuellement les décisions de pilotage. Le cadre mobilise également les principes de la double boucle d'apprentissage organisationnel, selon lesquels le système de Commandes/Contrôles ne se limitent pas à corriger les écarts observés mais questionnent également les hypothèses, les règles et les

représentations qui orientent l'action. Cette perspective favorise le développement d'une capacité d'adaptation organisationnelle essentielle dans les environnements caractérisés par l'incertitude, l'ambiguïté et la complexité croissante des projets contemporains.

La contribution principale du cadre I-C-P-E réside finalement dans sa capacité à intégrer au sein d'un même cadre explicatif les dimensions de complexité, d'incertitude, de dynamisme et d'apprentissage organisationnel, tout en offrant une représentation structurée des mécanismes par lesquels les projets évoluent, se transforment et parfois basculent vers des situations de crise. À ce titre, il constitue à la fois une contribution théorique à la compréhension des projets comme systèmes adaptatifs complexes et un outil conceptuel susceptible de soutenir le pilotage et la gouvernance des projets dans des contextes fortement incertains et dynamiques.

4.4. Limites du cadre I-C-P-E

Dans la littérature, certains travaux se concentrent principalement sur les facteurs initiaux de complexité, tels que la taille du projet, les interdépendances ou l'incertitude (Padalkar & Gopinath, 2016; Qureshi & Kang, 2015; Vidal et al., 2011), tandis que d'autres s'intéressent davantage aux mécanismes de pilotage, aux dispositifs de contrôle ou aux capacités d'adaptation organisationnelle (Y. Li et al., 2015; Mikkelsen & Aaltonen, 2023; Nachbagauer, 2021). Une troisième catégorie de recherches analyse les conséquences de ces phénomènes sur la performance, les délais, les coûts ou l'apprentissage organisationnel (Mamédio & Meyer, 2020; Yang et al., 2014; Zaman et al., 2019).

Toutefois, peu d'études proposent un cadre intérateur permettant de relier simultanément les conditions initiales du projet, les mécanismes de régulation, les processus de transformation et les résultats produits. Cette observation a conduit à rechercher une structure analytique capable d'articuler les différentes dimensions identifiées dans la littérature.

Malgré cela, une limite importante concerne l'absence de validation empirique du modèle I-C-P-E. Dans sa formulation actuelle, le modèle constitue une proposition conceptuelle élaborée à partir d'une synthèse théorique de la littérature sur la complexité, l'incertitude et la dynamique des projets. Bien que cette démarche permette d'identifier des relations causales plausibles entre les intrants, les mécanismes de contrôle, les processus de transformation et les extrants, elle ne permet pas d'établir que ces relations se manifestent effectivement dans les contextes organisationnels réels.

L'absence de validation empirique limite ainsi la portée scientifique du modèle. Aucune étude de cas, enquête qualitative, analyse comparative, simulation dynamique ou expérimentation n'a été mobilisée pour évaluer sa robustesse, sa cohérence opérationnelle ou sa capacité

explicative. Il demeure donc difficile d'apprécier dans quelle mesure les mécanismes d'amplification des signaux faibles, les phénomènes de bifurcation ou les effets des boucles de rétroaction se traduisent concrètement dans différents types de projets. De même, les conditions dans lesquelles le contrôle réflexif est susceptible d'atténuer ou d'interrompre ces dynamiques ne sont pas encore démontrées empiriquement.

Cette absence de validation soulève également des interrogations quant à la généralisabilité du modèle. Les projets se caractérisent par une grande diversité de contextes organisationnels, technologiques, institutionnels et humains. Sans confrontation empirique, il demeure impossible de déterminer si le modèle est applicable de manière uniforme à différents secteurs ou s'il nécessite des adaptations en fonction des caractéristiques spécifiques des projets étudiés. En outre, l'importance relative des facteurs d'incertitude, de complexité ou de dynamisme peut varier considérablement d'un contexte à l'autre, ce qui pourrait modifier les mécanismes décrits par le modèle.

Ainsi, le modèle I-C-P-E doit être considéré, à ce stade, comme un cadre conceptuel exploratoire offrant une représentation cohérente des dynamiques complexes des projets plutôt que comme un modèle explicatif validé. Son potentiel scientifique réside principalement dans sa capacité à générer des hypothèses de recherche et à structurer l'analyse des phénomènes de crise projet. Toutefois, la consolidation de sa légitimité théorique et pratique nécessite des travaux empiriques complémentaires reposant sur des études de cas longitudinales, des analyses qualitatives approfondies, des méthodes Delphi auprès d'experts ou encore des approches de simulation dynamique permettant de tester les mécanismes proposés. Une telle démarche constituerait une étape essentielle pour transformer ce cadre conceptuel en un modèle opérationnel capable d'éclairer la compréhension et la gestion des crises dans les projets complexes.

Conclusion

Le pilotage de projets complexes ne peut plus être appréhendé comme une simple extension des méthodes de gestion traditionnelles. La transition vers la science de la complexité impose de reconnaître l'instabilité chronique et l'imprévisibilité comme des propriétés intrinsèques du système (Jaafari, 2003; Rolstadås & Schiefloe, 2017). Cette perspective modélise la réalité à travers une architecture systémique où la structure, l'humain, les processus et les flux d'information s'auto-organisent de manière non linéaire (Daniel & Daniel, 2023; Danilovic & Browning, 2007). Au sein de ce cadre, la convergence des dynamiques dans le système I-C-P-E démontre que la complexité agit par saturation et amplification. D'une part, la boucle de

désynchronisation technique illustre comment l'interconnectivité et la multiplicité des états possibles transforment une défaillance locale en une dégradation systémique globale (Padalkar & Gopinath, 2016). D'autre part, la boucle de mésentente socio-organisationnelle confirme que les interactions sociales, considérées comme des variables endogènes, peuvent alourdir le système de Commandes/Contrôles jusqu'à provoquer une véritable asphyxie bureaucratique.

Pour contrer ces forces, la détection des signaux faibles devient l'outil privilégié du système de Commandes/Contrôles pour anticiper les crises ou les points de bifurcation critiques. En agissant comme des capteurs de l'émergence, ils réduisent l'ambiguïté et la volatilité caractéristiques de la complexité (Nachbagauer, 2021). Le pilote devient proactif en interprétant les bruits de fond du système pour ajuster les trajectoires avant que l'effet boule de neige ne soit irréversible. L'efficacité de cette gouvernance repose sur sa double capacité d'apprentissage : si la simple boucle permet une régulation opérationnelle du Procédé, l'apprentissage en double boucle, ou contrôle réflexif, constitue la réponse ultime. En remettant en question les Intrants stratégiques et les hypothèses fondatrices, ce niveau de Commande assure l'adéquation continue entre la mission et un environnement volatil. En somme, le gestionnaire n'est plus un administrateur de certitudes, mais le pilote de systèmes instables chargé d'orchestrer la réflexivité pour transformer chaque perturbation en opportunité d'ajustement stratégique (Jaafari, 2003), réconciliant ainsi la rigueur structurelle avec la fluidité nécessaire aux environnements mouvants (Butler et al., 2019).

BIBLIOGRAPHIE

- Aaltonen, K., & Kujala, J. (2016). Towards an improved understanding of project stakeholder landscapes. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1537-1552. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.08.009>
- Antoniadis, D. N., Edum-Fotwe, F. T., & Thorpe, A. (2011). Socio-organo complexity and project performance. *Complexities in Managing Mega Construction Projects*, 29(7), 808-816. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.006>
- Berggren, C., Järkvik, J., & Söderlund, J. (2008). Lagomizing, Organic Integration, and Systems Emergency Wards: Innovative Practices in Managing Complex Systems Development Projects. *Project Management Journal*, 39(1_suppl), 111-112. <https://doi.org/10.1002/pm.j.20065>
- Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H., & Verbraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728-739. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.008>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Butler, C. W., Vijayasarathy, L. R., & Roberts, N. (2019). Managing Software Development Projects for Success: Aligning Plan- and Agility-Based Approaches to Project Complexity and Project Dynamism. *Project Management Journal*, 51(3), 262-16. <https://doi.org/10.1177/8756972819848251>
- Cooke-Davies, T., Cicmil, S., Crawford, L., & Richardson, K. (2007). We're not in Kansas Anymore, Toto: Mapping the Strange Landscape of Complexity Theory, and Its Relationship to Project Management. *Project Management Journal*, 38(2), 50-12. <https://doi.org/10.1177/875697280703800206>
- Costantini, S., Hall, J. G., & Rapanotti, L. (2021). Using complexity and volatility characteristics to guide hybrid project management. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(5), 1135-1162. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2020-0187>
- Daniel, P. A., & Daniel, E. (2023). Multi-level project organizing: A complex adaptive systems perspective. In *Research handbook on complex project organizing* (p. 138-147). Edward Elgar Publishing.
- Danilovic, M., & Browning, T. R. (2007). Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management*, 25(3), 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.003>
- de Rezende, L., Denicol, J., Blackwell, P., & Kimura, H. (2022). The main project complexity factors and their interdependencies in defence projects. *Project Leadership and Society*, 3, 100050. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2022.100050>

- Giezen, M. (2012). Keeping it simple ? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning. *International Journal of Project Management*, 30(7), 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.01.010>
- Holland, J. H. (1992). Complex Adaptive Systems. *Daedalus*, 121(1), 17-30.
- Homer-Dixon, T., Walker, B., Biggs, R., Crépin, A. S., Folke, C., Lambin, E. F., & Troell, M. (2015). Synchronous failure : The emerging causal architecture of global crisis. *Ecology and Society*, 20(3).
- Jaafari, A. (2003). Project Management in the Age of Complexity and Change. *Project Management Journal*, 34(4), 47-11. <https://doi.org/10.1177/875697280303400407>
- Li, C.-H., Yang, W.-G., & Shih, I.-T. (2021). Exploration on the gap of single- and double-loop learning of balanced scorecard and organizational performance in a health organization. *Heliyon*, 7(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08553>
- Li, Y., Lu, Y., Kwak, Y. H., & Dong, S. (2015). Developing a city-level multi-project management information system for Chinese urbanization. *International Journal of Project Management*, 33(3), 510-527. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.06.011>
- Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., & Shi, Q. (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal of Project Management*, 33(3), 610-622. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.12.005>
- Mamédio, D. F., & Meyer, V. (2020). Managing project complexity : How to cope with multiple dimensions of complex systems. *International Journal of Managing Projects in Business*, 13(4), 727-744. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2019-0147>
- Mikkelsen, M. F. (2020). Perceived project complexity : A survey among practitioners of project management. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(3), 680-698. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-03-2020-0095>
- Mikkelsen, M. F., & Aaltonen, K. (2023). IT-enabled management of project complexity—An Action Design Research project. *International Journal of Managing Projects in Business*, 16(1), 141-164.
- Mikkelsen, M. F., Venable, J., & Aaltonen, K. (2021). Researching navigation of project complexity using action design research. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(1), 108-130. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-02-2020-0040>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity : A guided tour* (New York, NY). Oxford University Press.
- Nachbagauer, A. (2021). Managing complexity in projects : Extending the Cynefin framework. *Project Leadership and Society*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2021.100017>
- Odusanya, S., Ochoa, J. J., Chileshe, N., & Ahn, S. (2021). Linking complexity factors and project management approaches to performance : An embedded single case study of IT-enabled change projects in Australia. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(7), 1504-1528. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-11-2020-0354>

- Padalkar, M., & Gopinath, S. (2016). Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management ? A taxonomical examination from literature. *International Journal of Project Management*, 34(4), 688-700. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.02.009>
- Qureshi, S. M., & Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.04.006>
- Rolstadås, A., & Schiefloe, P. M. (2017). Modelling project complexity. *International Journal of Managing Projects in Business*, 10(2), 295-314. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-02-2016-0015>
- Saldaña. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4th ed.). Sage Publications.
- Seely, M. A., & Duong, Q. P. (2001). The Dynamic Baseline Model for Project Management. *Project Management Journal*, 32(2), 25-12. <https://doi.org/10.1177/875697280103200204>
- Shenhar, A. J., Holzmann, V., Melamed, B., & Zhao, Y. (2016). The Challenge of Innovation in Highly Complex Projects : What Can We Learn from Boeing's Dreamliner Experience? *Project Management Journal*, 47(2), 62-17. <https://doi.org/10.1002/pmj.21579>
- Stacey, R. D. (1995). The science of complexity : An alternative perspective for strategic change processes. *Strat. Mgmt. J*, 16, 477-495. <https://doi.org/10.1002/smj.4250160606>
- Sterman, J. (2002). *System Dynamics : Systems thinking and modeling for a complex world*.
- Sweetman, R., & Conboy, K. (2018). Portfolios of Agile Projects : A Complex Adaptive Systems' Agent Perspective : A Complex Adaptive Systems' Agent Perspective. *Project Management Journal*, 49(6), 18-21. <https://doi.org/10.1177/8756972818802712>
- Thomas, J., & Mengel, T. (2008). Preparing project managers to deal with complexity – Advanced project management education. *Excellence in Teaching & Learning for Project Management*, 26(3), 304-315. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.01.001>
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J.-C. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718-727. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.005>
- Yang, Q., Lu, T., Yao, T., & Zhang, B. (2014). The impact of uncertainty and ambiguity related to iteration and overlapping on schedule of product development projects. *International Journal of Project Management*, 32(5), 827-837. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.010>
- Zaman, U., Jabbar, Z., Nawaz, S., & Abbas, M. (2019). Understanding the soft side of software projects : An empirical study on the interactive effects of social skills and political skills on complexity – performance relationship. *International Journal of Project Management*, 37(3), 444-460. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.015>
- Zhu, J., & Mostafavi, A. (2017). Discovering complexity and emergent properties in project systems : A new approach to understanding project performance. *International journal of project management*, 35(1), 1-12.