

Interdépendance Des Risques Et Effets En Cascade Sur La Performance Des Projets Routiers Au Sénégal. Vers Une Approche Systémique Du Management Du Risque

Dr Ing. Ibrahima SOW

Consultant indépendant, docteur en Géosciences, Doctorant en Sciences de Gestion – Universidad Internacional Iberoamericana (UNINI-México)

Auteur Correspondant: Dr Ing. Ibrahima SOW



Résumé: Les projets routiers sont généralement analysés à travers des catégories de risques considérées séparément. Cette lecture, utile pour l'identification, devient toutefois insuffisante lorsque plusieurs événements se combinent et transmettent leurs effets d'une dimension de performance à une autre. Cet article, extrait d'une recherche doctorale sur le management du risque dans les projets d'infrastructures routières au Sénégal, examine les interdépendances entre risques et les mécanismes d'effets en cascade. L'étude mobilise une approche mixte fondée sur des questionnaires auprès de professionnels de trois grandes entreprises opérant dans les infrastructures au Sénégal, des entretiens semi-directifs et une revue documentaire. Les résultats montrent que les risques techniques sont les plus fréquemment cités (42 %), devant les risques financiers (31 %), environnementaux (17 %) et institutionnels (10 %). Cependant, fréquence et criticité ne se confondent pas : les retards de paiement, la hausse des prix, les contraintes administratives, les conditions climatiques extrêmes et les insuffisances d'études peuvent présenter une criticité élevée. L'analyse met surtout en évidence des chaînes de propagation telles que risque financier → retard → surcoût, risque technique → non-conformité → reprise → retard et surcoût, ou risque HSE → arrêt de travail → délai, coût et réputation. Les risques institutionnels jouent un rôle transversal d'amplification. L'article propose ainsi une lecture systémique de la performance articulant coûts, délais, qualité, sécurité et satisfaction des parties prenantes, et recommande un pilotage fondé sur la criticité, les indicateurs clés de risque et le suivi continu.

Mots-clés : interdépendance des risques ; effets en cascade ; projets routiers ; performance ; risques institutionnels ; Sénégal.

Abstract: Road projects are commonly analysed through separate risk categories. Although useful for risk identification, this approach becomes insufficient when multiple events interact and transmit their effects across performance dimensions. This article, derived from doctoral research on risk management in road infrastructure projects in Senegal, investigates risk interdependencies and cascading effects. The study adopts a mixed-method approach combining questionnaires administered to professionals from three major infrastructure companies operating in Senegal, semi-structured interviews and documentary review. Findings show that technical risks are the most frequently cited (42%), followed by financial (31%), environmental (17%) and institutional risks (10%). However, frequency should not be confused with criticality: payment delays, material price increases, administrative constraints, extreme weather conditions and inadequate studies may reach high levels of criticality. More importantly, the analysis reveals propagation chains such as financial risk → delay → cost overrun, technical risk → non-conformity → rework → delay and cost overrun, and HSE risk → work stoppage → delay, cost and reputation. Institutional risks appear as cross-cutting amplification factors. The article therefore proposes a systemic reading of project performance linking cost, time, quality, safety and stakeholder satisfaction, and recommends risk governance based on criticality, key risk indicators and continuous monitoring.

Keywords: risk interdependencies; cascading effects; road projects; project performance; institutional risks; Senegal.

1. Introduction

Les infrastructures routières occupent une place centrale dans la mobilité, l'intégration territoriale et le développement économique. Leur réalisation demeure néanmoins exposée à des incertitudes techniques, financières, environnementales, contractuelles, organisationnelles et institutionnelles. Dans les pratiques de gestion de projet, ces risques sont souvent identifiés, classés et traités séparément. Une telle démarche facilite la construction d'un registre des risques, mais elle peut masquer les relations de dépendance entre événements et, surtout, la manière dont un choc initial se propage dans le système projet.

La recherche doctorale dont est issu cet article met en évidence une différence essentielle entre la fréquence de citation d'une catégorie de risque, la probabilité d'occurrence d'un événement, la gravité de ses conséquences et sa criticité. Un risque relativement peu cité peut ainsi devenir prioritaire lorsqu'il possède une gravité élevée ou lorsqu'il déclenche d'autres risques. Cette distinction est particulièrement importante dans les projets routiers sénégalais, où des décisions administratives, des retards de paiement, des difficultés de libération des emprises ou des variations de prix peuvent produire des effets qui dépassent largement leur catégorie d'origine.

La problématique de cet article est donc la suivante : comment les différentes catégories de risques interagissent-elles et comment leurs effets se propagent-ils entre les dimensions de performance des projets routiers au Sénégal ? L'objectif principal est d'identifier les principales chaînes d'effets, d'examiner le rôle amplificateur de certains risques et de proposer une lecture systémique du management du risque. Cette perspective complète les approches centrées uniquement sur la maturité des pratiques ou sur la seule vulnérabilité institutionnelle en mettant l'accent sur les relations dynamiques entre risques et performance.

2. Cadre conceptuel et revue de littérature

2.1. Du risque isolé au système de risques

La norme ISO 31000:2018 conçoit le management du risque comme un processus intégré à la gouvernance et à la prise de décision. Aven (2018) souligne que l'incertitude doit être explicitement considérée dans l'analyse du risque. Dans les projets complexes, la simple constitution d'une liste d'événements ne suffit donc pas : il faut comprendre les relations entre causes, événements, conséquences et réponses. Le risque devient un phénomène relationnel dont les effets peuvent évoluer au cours du cycle de vie du projet.

Dans le secteur de la construction, Zou, Zhang et Wang (2019) rappellent l'importance des risques propres aux économies en développement, tandis que Cagliano, Grimaldi et Rafele (2019) mettent en avant l'intérêt d'une évaluation intégrée. Les projets routiers associent en effet plusieurs systèmes interdépendants : financement, approvisionnement, études, production, contrats, institutions, environnement, sécurité et parties prenantes. Une perturbation affectant l'un de ces systèmes peut modifier les conditions de fonctionnement des autres.

2.2. Performance multidimensionnelle des projets routiers

La performance ne peut être réduite au triptyque coût-délai-qualité. Dans la recherche analysée, elle est appréhendée à travers cinq dimensions : coûts, délais, qualité, sécurité et satisfaction des parties prenantes. Ces dimensions ne fonctionnent pas comme des compartiments indépendants. Une prolongation de délai peut augmenter les charges de mobilisation ; la pression financière peut affecter l'approvisionnement ou la qualité ; un accident peut entraîner un arrêt de chantier et détériorer la réputation ; une non-conformité peut imposer une reprise et générer simultanément délai et surcoût.

2.3. Criticité et capacité d'amplification

La criticité résulte de la combinaison de la probabilité et de la gravité. Cette approche doit être complétée par la capacité d'amplification : certains risques deviennent stratégiques parce qu'ils créent les conditions de matérialisation d'autres risques. Les risques institutionnels sont particulièrement importants sous cet angle. Une lenteur administrative ou une décision différée peut retarder l'exécution, prolonger la mobilisation, augmenter l'exposition à l'inflation et provoquer des tensions de trésorerie. La criticité systémique d'un risque dépend ainsi non seulement de son impact direct, mais aussi de sa position dans les chaînes causales du projet.

3. Méthodologie

L'article exploite les résultats empiriques de la thèse intitulée « Stratégie de management du risque dans les projets d'infrastructures routières au Sénégal ». La recherche adopte une approche mixte combinant des techniques quantitatives et qualitatives. Le champ empirique est centré sur le personnel de trois grandes entreprises multinationales africaines opérant dans le domaine des infrastructures au Sénégal, observées sur une période de cinq années. Pour préserver la confidentialité, les organisations sont désignées dans la thèse par Projet X, Projet Y et Projet Z.

Les données ont été recueillies au moyen de questionnaires adressés aux professionnels du secteur, d'entretiens semi-directifs avec des spécialistes et d'une revue documentaire de rapports de projets. Les données quantitatives ont été traitées par analyses statistiques descriptives, tandis que les matériaux qualitatifs ont fait l'objet d'une analyse thématique. La triangulation des sources permet de confronter les perceptions opérationnelles, les observations organisationnelles et les informations documentaires.

Pour le présent article, l'analyse secondaire a été structurée en trois opérations. Premièrement, les catégories de risques ont été distinguées de leur niveau de criticité afin d'éviter d'assimiler fréquence de citation et importance stratégique. Deuxièmement, les impacts observés sur les cinq dimensions de performance ont été reliés afin d'identifier des chaînes de propagation. Troisièmement, les risques susceptibles d'agir comme facteurs d'amplification ont été isolés, en particulier lorsque leurs conséquences dépassent leur domaine initial. Cette démarche reste descriptive et interprétative : elle ne prétend pas établir une causalité expérimentale entre variables.

4. Résultats

4.1. Une hiérarchie de fréquence différente de la hiérarchie de criticité

Les résultats montrent que les risques techniques représentent 42 % des catégories citées, suivis des risques financiers (31 %), environnementaux (17 %) et institutionnels (10 %). La forte visibilité des risques techniques s'explique notamment par leur proximité avec les opérations de chantier : défauts de conception, pannes d'équipement ou qualité des matériaux. Toutefois, les risques techniques sont perçus comme relativement mieux maîtrisés grâce à l'expertise des équipes, aux laboratoires, aux contrôles et au retour d'expérience.

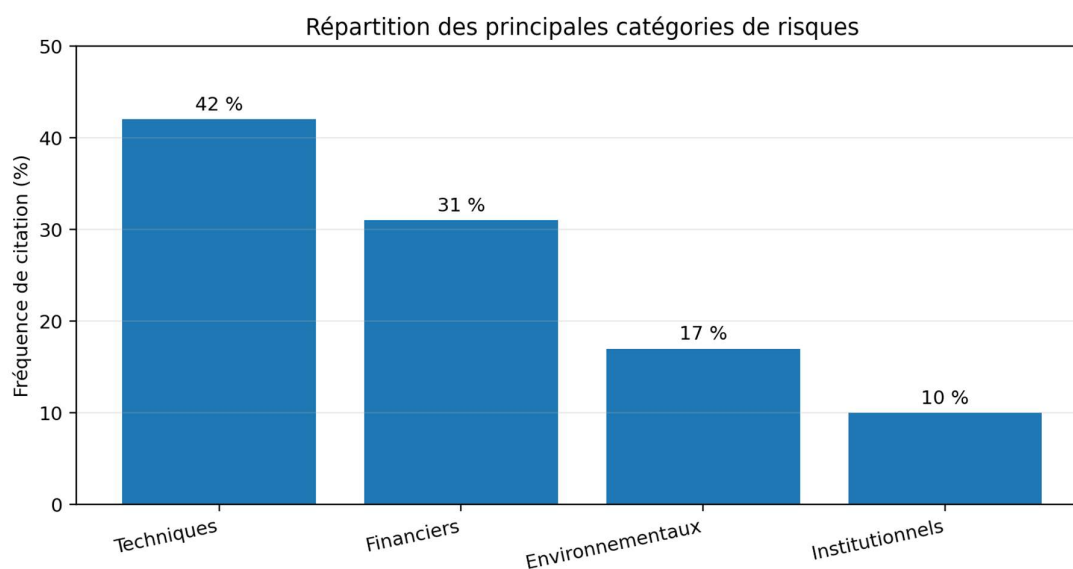


Figure 2. Fréquence de citation des principales catégories de risques. Source : élaboration de l'auteur à partir des résultats de la thèse.

Tableau 1. Catégories et fréquence des risques identifiés. Source : élaboration à partir des résultats de la thèse.

Catégorie de risque	Fréquence (%)	Exemples	Niveau de maîtrise perçue
Techniques	42	Défaut de conception, panne d'équipement, mauvaise qualité des matériaux	Élevé
Financiers	31	Retards de paiement, inflation, fluctuation du taux de change	Faible à moyen
Environnementaux	17	Pollution, déchets, impacts écologiques / conditions défavorables	Moyen
Institutionnels	10	Lenteurs administratives, changements de politique, litiges	Faible

La matrice de criticité modifie cependant cette lecture. Les retards de paiement, l'augmentation du coût des matériaux, les conditions climatiques extrêmes, l'insuffisance des études géotechniques et les faiblesses institutionnelles ou administratives figurent parmi les risques les plus menaçants. Le résultat essentiel est donc qu'une fréquence catégorielle élevée n'implique pas automatiquement une criticité supérieure.

4.2. Chaîne dominante : risque financier → délai → coût

La chaîne la plus nettement observée relie le risque financier au délai puis au coût. Les retards de paiement peuvent réduire la liquidité disponible, ralentir les approvisionnements, perturber la rémunération des ressources et limiter la capacité de l'entreprise à maintenir le rythme de production. Le ralentissement qui en résulte prolonge la mobilisation des équipes et des équipements et accroît les charges de fonctionnement. Le risque financier initial se transforme alors en risque temporel puis en surcoût.

Cette propagation peut elle-même produire une boucle de rétroaction : le surcoût augmente les besoins de financement, ce qui renforce la vulnérabilité de trésorerie. Dans un contexte de variation des prix, une prolongation du calendrier augmente également la durée d'exposition à l'inflation. Le délai n'est donc pas seulement une conséquence ; il devient un mécanisme de transmission et d'amplification.

4.3. Chaîne technique : non-conformité → reprise → délai et surcoût

Les risques techniques suivent une logique différente mais convergent vers les mêmes dimensions de performance. Une erreur de conception, une étude insuffisante ou une non-conformité peut imposer une reprise des travaux. Cette reprise consomme des matériaux, des heures de travail et du temps d'équipement supplémentaires. Elle peut aussi nécessiter une validation technique ou contractuelle, prolongeant encore le calendrier. Le risque technique se diffuse ainsi vers les coûts et les délais et peut, lorsque la correction est insuffisante, affecter la durabilité de l'ouvrage et la satisfaction du maître d'ouvrage ou des usagers.

4.4. Chaîne HSE : incident → arrêt → performance et réputation

La sécurité constitue une autre voie de propagation. Un accident de chantier peut entraîner l'arrêt temporaire d'une activité, des investigations, des mesures correctives et une réorganisation des ressources. Les conséquences dépassent donc le seul indicateur HSE : elles peuvent affecter le délai, le coût, la productivité et la réputation de l'organisation. La performance dégradée peut ensuite réduire la satisfaction des parties prenantes et fragiliser les perspectives de collaboration future.

4.5. Le rôle structurant des risques institutionnels

Le résultat le plus significatif pour une lecture systémique concerne les risques institutionnels. Bien qu'ils ne représentent que 10 % des catégories citées, ils peuvent exercer une influence transversale. Les lenteurs administratives, les difficultés de coordination, la libération tardive des emprises ou les décisions différées agissent sur le calendrier ; le calendrier agit sur la mobilisation et les coûts ; l'allongement de la durée augmente l'exposition aux variations de prix et aux contraintes climatiques. Le risque institutionnel apparaît ainsi comme un facteur potentiel d'amplification plutôt que comme une catégorie périphérique.

Réseau simplifié de propagation des risques vers la performance

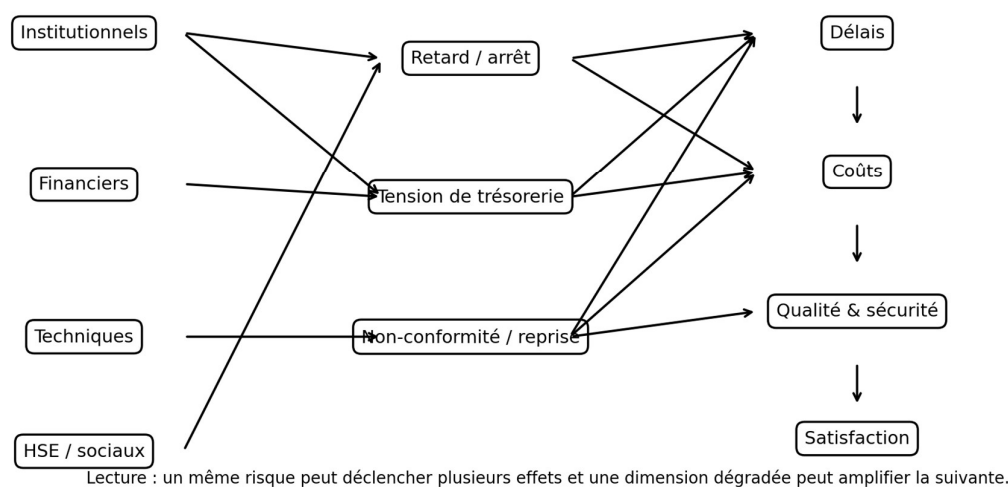
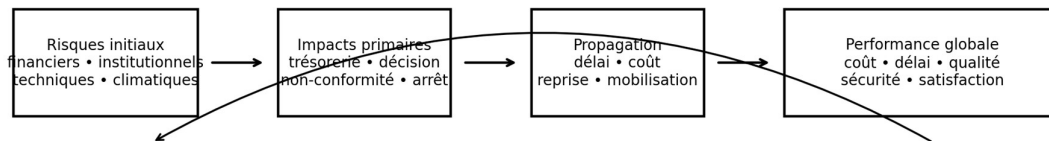


Figure 3. Réseau simplifié de propagation des risques vers les dimensions de performance. Source : élaboration de l'auteur.

Tableau 2. Principales chaînes de propagation identifiées dans la thèse.

Risque déclencheur	Impact primaire	Effets secondaires	Dimensions finales affectées
Retard de paiement	Tension de trésorerie	Ralentissement, prolongation de mobilisation, besoin de financement	Délai, coût, satisfaction
Hausse des prix	Pression budgétaire	Réallocation, besoin de financement, arbitrages	Coût, délai, qualité
Lenteur administrative / emprise	Décision ou accès retardé	Décalage du calendrier, exposition accrue à l'inflation	Délai, coût, satisfaction
Insuffisance d'étude / non-conformité	Erreur technique	Reprise, validation, consommation	Qualité, délai, coût

		supplémentaire	
Incident HSE	Arrêt / correction	Perte de productivité, coûts additionnels, réputation	Sécurité, délai, coût, satisfaction
Conditions climatiques extrêmes	Interruption / dégradation	Remobilisation, travaux supplémentaires	Délai, coût, qualité



Mécanismes d'amplification et boucles de rétroaction

Lecture systémique : un risque peut déclencher une chaîne d'effets au-delà de sa catégorie d'origine.

Figure 1. Cadre conceptuel des effets en cascade dans les projets routiers. Source : élaboration de l'auteur à partir des résultats de la thèse.

5. Discussion

5.1. Dépasser la logique de registre statique

Les résultats invitent à dépasser une gestion fondée uniquement sur un registre statique de risques. Un registre reste indispensable pour identifier, affecter et suivre les événements, mais il devient insuffisant si les relations entre risques ne sont pas explicitées. Deux événements présentant la même probabilité et le même impact direct peuvent avoir une importance systémique différente si l'un d'eux déclenche plusieurs effets secondaires. La hiérarchisation devrait donc intégrer la capacité de propagation, en complément de la matrice Probabilité/Impact.

Cette interprétation rejoint l'idée d'une gestion intégrée défendue par les référentiels internationaux. ISO 31000 insiste sur l'intégration du risque dans la gouvernance, tandis que le PMI recommande l'identification continue, l'analyse qualitative et quantitative, la planification des réponses et le suivi. La contribution du contexte sénégalais est de montrer concrètement pourquoi cette intégration est nécessaire : les frontières entre risques financiers, institutionnels, techniques et opérationnels deviennent poreuses dès que les effets se propagent.

5.2. Le risque institutionnel comme amplificateur

La faible fréquence de citation des risques institutionnels pourrait conduire à les sous-prioriser. Or l'analyse montre qu'ils interviennent en amont de plusieurs chaînes causales. Ils influencent les décisions, les autorisations, la disponibilité des emprises, la coordination et parfois les paiements. Leur effet est donc moins visible au niveau de l'activité technique immédiate mais potentiellement plus large à l'échelle du système projet. Cette observation constitue une contribution interprétative importante : la

priorité ne doit pas être déterminée uniquement par la fréquence perçue, mais également par la position du risque dans le réseau d'interdépendances.

5.3. Implications pour le pilotage de la performance

Une approche systémique implique de suivre simultanément risques et performance. Les indicateurs clés de risque (KRI) proposés dans la thèse — taux de retard des paiements, nombre de non-conformités, taux de fréquence des accidents, variation du coût des matériaux et niveau d'avancement des mesures correctives — peuvent jouer le rôle de signaux précoces. Leur intérêt augmente lorsqu'ils sont reliés à des indicateurs de délai, coût, qualité, sécurité et satisfaction.

Le pilotage doit également identifier un responsable pour chaque risque prioritaire, documenter les actions de mitigation et actualiser régulièrement le registre. Les plateformes numériques, tableaux de bord et rapports automatisés peuvent améliorer la traçabilité et la réactivité. La thèse constate précisément que le faible niveau de digitalisation et l'utilisation limitée d'outils quantitatifs réduisent la capacité des organisations à suivre l'évolution des risques en temps réel.

5.4. Articulation avec le Modèle BOLOGEL – Sénégal

Le Modèle BOLOGEL – Sénégal proposé dans la thèse repose sur six étapes : identification, analyse, priorisation, réponse, monitoring et capitalisation. L'analyse des effets en cascade apporte une couche supplémentaire à ce processus : à chaque étape, le gestionnaire doit non seulement considérer le risque individuel, mais aussi ses dépendances et les dimensions de performance susceptibles d'être affectées. L'originalité ne réside donc pas dans la simple succession d'étapes déjà présentes dans les référentiels internationaux, mais dans leur adaptation au contexte routier sénégalais et dans l'intégration explicite des mécanismes d'interdépendance.

Cycle intégré de management du risque

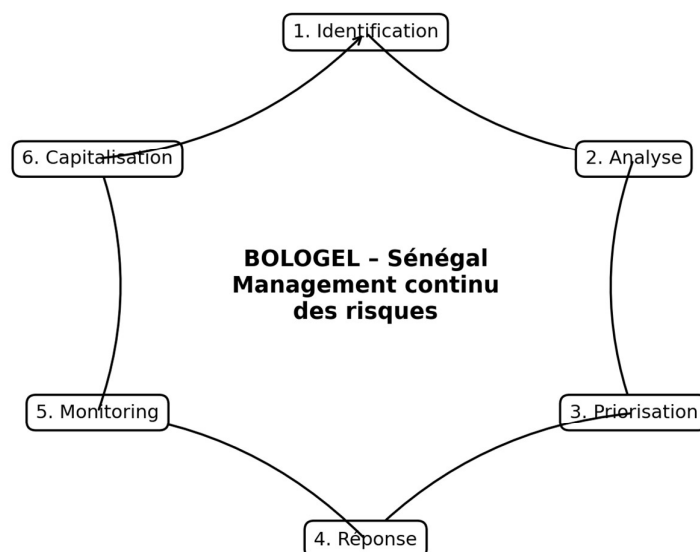


Figure 4. Cycle intégré du Modèle BOLOGEL – Sénégal. Source : élaboration de l’auteur à partir de la thèse.

6. Implications managériales et recommandations

Sur le plan opérationnel, les résultats conduisent à quatre orientations. Au niveau de l’État, l’intégration du management du risque dans les procédures des projets publics et l’harmonisation des pratiques renforceraient la gouvernance. Au niveau des maîtres d’ouvrage, la digitalisation des registres de risques, des tableaux de bord et du reporting permettrait de détecter plus rapidement les dérives. Au niveau des entreprises, le renforcement des compétences en analyse qualitative et quantitative améliorerait la capacité à anticiper les effets secondaires. Enfin, au niveau de chaque projet, les KRI devraient être associés à des seuils d’alerte et à des actions prédéfinies.

Tableau 3. Orientations de management issues de l’analyse systémique.

Niveau	Action prioritaire	Effet recherché
État	Cadre national de management du risque et intégration aux procédures de marchés	Cohérence, gouvernance et transparence
Maîtres d’ouvrage	Plateformes numériques, registre digital, reporting automatisé	Traçabilité et réactivité
Entreprises	Formation, analyses quantitatives, culture du risque	Capacité d’anticipation et professionnalisation
Projet	Tableau de bord KRI, responsables, actions de mitigation	Détection précoce et limitation des cascades

7. Limites et perspectives de recherche

L'étude est limitée à trois entreprises opérant dans le secteur des infrastructures au Sénégal et s'appuie en partie sur des perceptions professionnelles. Les résultats doivent donc être interprétés dans leur contexte et ne peuvent être généralisés mécaniquement à l'ensemble des projets routiers africains. Par ailleurs, les chaînes d'effets identifiées reposent sur une analyse descriptive et interprétative ; elles ne constituent pas une démonstration causale expérimentale.

Des recherches futures pourraient tester le cadre proposé sur un échantillon plus large de projets et d'organisations, mesurer quantitativement la force des dépendances entre risques et développer des modèles en réseau. Des simulations de scénarios, des approches Monte Carlo ou des modèles probabilistes pourraient également évaluer comment un événement initial modifie la distribution des coûts et des délais. Enfin, une validation longitudinale du Modèle BOLOGEL – Sénégal permettrait de mesurer son efficacité opérationnelle sur plusieurs cycles de projet.

8. Conclusion

Cet article montre que la compréhension des risques dans les projets routiers au Sénégal gagne à passer d'une lecture catégorielle à une lecture systémique. Les risques techniques sont les plus fréquemment identifiés, mais cette fréquence ne détermine pas à elle seule leur criticité. Les risques financiers, institutionnels, climatiques et certaines insuffisances techniques peuvent produire des conséquences sévères et, surtout, déclencher des effets successifs sur plusieurs dimensions de performance.

Trois mécanismes ressortent particulièrement : la chaîne risque financier → délai → coût ; la chaîne risque technique → non-conformité → reprise → délai et surcoût ; et la chaîne risque HSE → arrêt de travail → délai, coût et réputation. À ces mécanismes s'ajoute le rôle structurant des risques institutionnels, capables d'amplifier l'exposition financière, temporelle et opérationnelle du projet.

La principale implication est managériale et scientifique : un risque doit être priorisé non seulement selon sa fréquence, sa probabilité et sa gravité, mais aussi selon sa capacité à transmettre et amplifier ses effets. Le management du risque devient alors un processus continu de surveillance des interactions entre événements et performance. Cette lecture soutient l'utilisation de tableaux de bord intégrés, de KRI, d'outils numériques et d'une gouvernance capable de relier les décisions institutionnelles aux réalités opérationnelles du chantier.

Références

- [1]. Aven, T. (2018). How the new ISO 31000:2018 standard addresses the uncertainty issue. *Risk Analysis*, 38(10), 2057–2063. <https://doi.org/10.1111/risa.13111>
- [2]. Cagliano, A. C., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2019). Integrated risk assessment and management in construction supply chains. *Safety Science*, 120, 653–665. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.027>
- [3]. Goh, C. S., Abdul-Rahman, H., & Samad, Z. A. (2019). Applying Monte Carlo simulation in construction risk analysis. *Automation in Construction*, 105, 102841. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102841>
- [4]. Heravi, G., & Faeghi, S. (2018). Evaluation of sustainable infrastructure projects under uncertainty using fuzzy logic. *Sustainable Cities and Society*, 41, 867–880. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.036>
- [5]. Hillson, D. (2019). Developing a risk maturity model for project-based organizations. *International Journal of Project Management*, 37(4), 423–437. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.007>
- [6]. Loosemore, M., & Lim, B. T. H. (2018). Mapping corporate social responsibility strategies in construction firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(6), 1041–1063. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2017-0049>
- [7]. Osei-Kyei, R., & Chan, A. P. C. (2019). Critical success factors for public–private partnership projects: Updated review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), 2112–2134. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0104>

- [8]. World Bank. (2019). Environmental and Social Framework: Risk Management in Infrastructure Projects. Washington, D.C.: World Bank Publications.
- [9]. Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2019). Understanding the key risks in construction projects in developing countries. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(5), 04019024. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001643](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001643)