Article de revue **Rev. Cong. Sci. Technol., Vol. 05, No. 04, pp. 1817-1840 (2026)**

OPEN ACCESS

Revue Congolaise des Sciences & Technologies

ISSN : 2959-202X (Online); 2960-2629 (Print)

https://www.csnrdc.net/

REVUE CONGOLAISE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Gouvernance responsable de projets d'innovation technologique : proposition d'un cadre interdisciplinaire pour les technologies émergentes

[Responsible Governance of Technological Innovation Projects: A Proposal for an Interdisciplinary Framework for Emerging Technologies]

Victor Mignenan[1*] & Brahim Meddeb[2]

[1]Université de Moundou (Tchad), Université Numérique du Tchad

. [2]Laboratoire d'analyse des innovations et de soutien aux entreprises (CAISEN) Université du Québec à Chicoutimi (Canada)

Résumé

L'accélération des technologies émergentes révèle les limites des dispositifs institutionnels traditionnels de régulation. Dans ce contexte, leur gouvernance devient un enjeu stratégique majeur, marqué par des tensions entre l'innovation, la responsabilité, la légitimité et la capacité d'adaptation. Cette recherche propose un cadre conceptuel intégratif, le Modèle de gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE), fondé sur l'articulation de la responsabilité technologique distribuée, du néo-institutionnalisme et des principes de l'innovation durable. La recherche adopte un design mixte séquentiel combinant trois étapes complémentaires : une revue systématique de la littérature selon le protocole PRISMA (2020–2026), une analyse comparative de douze initiatives internationales de gouvernance technologique et une validation Delphi modifiée en deux tours auprès de 34 experts internationaux. Le consensus a été évalué à l'aide du coefficient de concordance de Kendall ($W \geq 0{,}70$) et d'un seuil minimal de convergence de 80 %. Les résultats identifient quatre dimensions constitutives de la gouvernance responsable : l'anticipation techno-éthique, la responsabilité institutionnelle distribuée, l'apprentissage adaptatif et l'inclusivité délibérative. Ces dimensions sont reliées par un mécanisme de tension-régulation dynamique qui transforme les tensions sociotechniques en leviers d'apprentissage, de coordination et de résilience institutionnelle. Les analyses montrent que la gouvernance responsable ne constitue pas un état stable, mais un processus continu de co-construction entre acteurs, institutions et technologies. Le MGRTE enrichit les travaux sur la gouvernance des technologies émergentes en proposant un cadre à la fois explicatif et opérationnel. Il offre des orientations utiles aux décideurs et aux gestionnaires, en particulier dans les contextes africains caractérisés par des capacités institutionnelles asymétriques. L'étude ouvre enfin des perspectives de validation empirique dans divers environnements technologiques et géographiques.

Mots-clés : gouvernance responsable, technologies émergentes, innovation durable, responsabilité technologique, gouvernance adaptative, Afrique.

Abstract

The rapid expansion of emerging technologies has exposed the growing limitations of traditional institutional regulatory frameworks. In this context, the governance of emerging technologies has become a major strategic challenge, characterized by persistent tensions between innovation, responsibility, legitimacy, and adaptability. This study proposes an integrative conceptual framework, the Responsible Governance Model for Emerging Technologies (RGMET), grounded in the articulation of distributed technological responsibility, neo-institutional theory, and principles of sustainable innovation. The research adopts a sequential mixed-methods design, combining three complementary stages: a systematic literature review conducted in accordance with the PRISMA protocol (2020–2026), a comparative analysis of 12 international technology governance initiatives, and a two-round modified Delphi validation involving 34 international experts. Consensus was assessed using Kendall's coefficient of concordance ($W \geq 0.70$) and a minimum convergence threshold of 80%. The findings identify four core dimensions of responsible governance: techno-ethical anticipation, distributed institutional responsibility, adaptive learning, and deliberative inclusiveness. These dimensions are interconnected through a dynamic tension-regulation mechanism that transforms sociotechnical tensions into drivers of learning, coordination, and institutional resilience. The results demonstrate that responsible governance should not be viewed as a stable institutional condition but rather as an ongoing process of co-construction among actors, institutions, and technologies. The RGMET advances the literature on emerging technology governance by offering both an explanatory and operational framework. It provides practical guidance for policymakers, managers, and technology stakeholders, particularly in African contexts characterized by asymmetrical institutional capacities. Finally, the study outlines avenues for future empirical validation across diverse technological and geographical settings.

Keywords: responsible gouvernance, emerging technologies, sustainable innovation, technological responsibility, adaptive governance, Africa.

*Auteur correspondant: Victor Mignenan, (mignenan.victor@univ.teluq.ca).Tél. : (+1) 581 574 3324

https://orcid.org/0000-0002-5628-1601; Reçu le 31/08/2026; Révisé le 28/09/2026 ; Accepté le 23/10/2026

DOI:https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i4.365

Copyright: ©2026 Mignenan & Meddeb. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La trajectoire des technologies émergentes, à savoir l'intelligence artificielle générative, les biotechnologies de synthèse, les systèmes cyber-physiques et les nanotechnologies convergentes, soulève une question de gouvernance que les disciplines isolées ne peuvent plus traiter de manière satisfaisante (Schot & Steinmueller, 2018 ; van de Poel et al., 2020). Cette incapacité reflète une fracture structurelle entre la vitesse de l'émergence technologique et la lenteur des mécanismes institutionnels de régulation (Dafoe, 2018 ; Floridi et al., 2021). La question centrale qui organise cette recherche est donc la suivante : comment concevoir une gouvernance responsable des technologies émergentes lorsque les cadres existants demeurent fragmentés, réactifs et bornés par la discipline ?

La littérature récente révèle deux positions théoriques antagonistes qui structurent le débat contemporain. D'un côté, les partisans de la Responsible Research and Innovation (RRI) soutiennent que l'intégration précoce des considérations éthiques et sociales dans les processus d'innovation suffit à garantir une trajectoire responsable (Stilgoe et al., 2013 ; Owen et al., 2021).

D'un autre côté, les théoriciens de la gouvernance adaptative estiment que toute planification anticipatrice est limitée par l'incertitude radicale propre aux technologies émergentes et qu'il convient de privilégier des mécanismes d'apprentissage continus (Sovacool et al., 2020). Aucune des deux positions ne produit, cependant, de mécanisme explicatif articulant les tensions inhérentes entre anticipation et adaptation, entre autorité institutionnelle et responsabilité distribuée, ou encore entre efficacité technique et légitimité démocratique. Ce gap est particulièrement préoccupant en Afrique, où des capacités institutionnelles asymétriques créent des vulnérabilités spécifiques face aux technologies déployées sans mécanismes de gouvernance locale adéquats (Mawere et al., 2021 ; Asongu & Nwachukwu, 2016). La littérature existante traite le plus souvent le continent africain comme un simple récepteur de cadres conçus ailleurs, ignorant ainsi les logiques institutionnelles locales et les formes endogènes d'innovation.

Face à ces constats convergents, cette recherche apporte trois contributions originales. En premier lieu, elle développe le Modèle de gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE), un cadre intégratif multiniveaux articulant l'ingénierie, le management et l'innovation durable. En deuxième lieu, elle introduit le mécanisme de tension-régulation dynamique (MTRD), un concept explicatif montrant comment les tensions entre les dimensions de la gouvernance génèrent elles-mêmes les conditions de leur régulation. En troisième lieu, elle propose une taxonomie des échecs de gouvernance technologique classés selon leur déterminant disciplinaire dominant.

La section 2 examine les lacunes de la littérature existante. La section 3 présente les fondements théoriques du cadre. La section 4 présente le modèle conceptuel et les hypothèses de recherche. La section 5 expose la méthodologie. La section 6 présente les résultats. Les sections 7 et 8 développent la discussion et les contributions. La section 9 conclut.

2. Revue de la littérature

2.1. Gouvernance des technologies émergentes : structuration du champ

La gouvernance des technologies émergentes s'est consolidée en tant que champ scientifique à partir de 2015, portée par la convergence NBIC (nano-bio-info-cogno) et par l'essor de l'intelligence artificielle (Schot & Steinmueller, 2018). Les travaux fondateurs de Jasanoff (2004) sur la co-production science-société ont posé les bases d'une approche constructiviste en démontrant que les régimes de connaissance scientifique et les ordres sociaux se façonnent mutuellement, une intuition dont la portée analytique reste cependant conditionnée par son ancrage empirique dans les démocraties libérales occidentales. La théorie des systèmes d'innovation (Lundvall, 1992 ; Edquist, 2005), bien qu'elle constitue le cadre analytique institutionnel le plus largement mobilisé, repose sur des hypothèses de densité institutionnelle et de cohérence systémique qui correspondent imparfaitement aux configurations fragmentées propres à de nombreux pays africains (Muchie et al., 2003 ; Lundvall et al., 2011).

Une lecture critique des publications récentes révèle que ce champ souffre de trois pathologies théoriques persistantes qui en limitent la portée explicative. Il convient toutefois de préciser que ces pathologies ne sont pas seulement descriptives : elles traduisent des choix épistémologiques implicites qui ont des conséquences normatives directes sur la manière dont les institutions du Sud global sont évaluées et prescrites.

La première pathologie est un biais occidental prononcé dans la construction des concepts : les normes de gouvernance dominantes sont élaborées à partir d'un référentiel nord-américain et européen, ce qui en réduit considérablement l'applicabilité dans d'autres contextes culturels et institutionnels (Jobin et al., 2019 ; Mohamed et al., 2020 ; Coeckelbergh, 2021). Ce biais n'est pas seulement géographique : il est épistémique, dans la mesure où il assimile la rationalité procédurale occidentale à une norme universelle de gouvernance, occultant ainsi des formes alternatives de régulation collective ancrées dans des logiques communautaires, religieuses ou coutumières propres aux contextes africains (Ndulu et al., 2008 ; Hountondji, 2010).

La deuxième pathologie est le technocentrisme résiduel, qui conduit même les travaux les plus critiques à définir la gouvernance comme une réponse à la technologie plutôt que comme un processus de co-construction entre acteurs humains et artefacts techniques (Jasanoff, 2016 ; Felt et al., 2017). Ce technocentrisme produit un effet de naturalisation : la technologie est présentée comme un fait accompli appelant une réponse institutionnelle, alors que sa trajectoire même est le résultat de choix sociaux, économiques et politiques qui auraient pu être orientés autrement (Winner, 1980 ; Feenberg, 1999).

La troisième pathologie est la fragmentation disciplinaire : l'ingénierie, le management et les sciences de la durabilité produisent des littératures parallèles avec peu d'interfécondation conceptuelle (Sovacool et al., 2020 ; Genus et Coles, 2021). Cette fragmentation est particulièrement dommageable pour l'Afrique, où les défis de gouvernance technologique exigent précisément des approches hybrides capables d'articuler contraintes d'ingénierie, logiques managériales et impératifs de développement durable dans des contextes à ressources limitées (Mignenan & Moussa, 2024).

Les travaux de Mignenan & Moussa (2026), publiés dans la Revue Congolaise de Gestion, apportent une contribution décisive à cette problématique en proposant une articulation explicite entre résilience organisationnelle et durabilité dans la gestion de projet d'innovation responsable en Afrique subsaharienne. Contrairement aux approches européennes qui dissocient les dimensions techniques et institutionnelles, ces auteurs montrent que, dans les contextes africains, la gouvernance responsable émerge précisément de la capacité des organisations à articuler simultanément ces deux registres face à des environnements institutionnels instables.

Ces trois pathologies combinées expliquent l'absence persistante d'un cadre intégratif capable d'articuler simultanément les logiques techniques, institutionnelles et éthiques de la gouvernance responsable. Elles constituent également, pour le présent article, un programme de recherche en négatif : tout cadre prétendant dépasser ces limites doit démontrer sa capacité à intégrer des références non occidentales, à reconnaître la co-construction sociotechnique et à transcender les frontières disciplinaires.

2.2. RRI : apports et limites critiques

Cette recherche met en évidence que le paradigme de la Responsible Research and Innovation (RRI) repose sur quatre dimensions : l'anticipation, la réflexivité, l'inclusion et la réactivité, ce qui constitue la contribution la plus influente de la dernière décennie à la gouvernance des technologies émergentes (Owen et al., 2012 ; Stilgoe et al., 2013). Il convient ici d'être précis quant à la signification de « influent » : l'influence de la RRI est essentiellement institutionnelle et financière, car elle a structuré les politiques scientifiques européennes via le programme Horizon Europe et inspiré de nombreuses initiatives nationales (European Commission, 2020 ; Burget et al., 2017). Son influence théorique, en revanche, est plus contestée : plusieurs auteurs la considèrent davantage comme un dispositif rhétorique de légitimation des financements publics que comme un véritable cadre analytique (Rip, 2014 ; Felt, 2017 ; Wynne, 2016).

Des travaux récents en ont identifié les limites structurelles avec une précision croissante. La RRI présuppose l'existence d'acteurs rationnels capables d'intégrer spontanément l'éthique dans leurs pratiques d'innovation, ignorant ainsi les rapports de pouvoir et les contraintes organisationnelles réelles (Pellé & Reber, 2022). Cette critique mérite d'être radicalisée : l'hypothèse de rationalité éthique spontanée n'est pas une omission corrigible, mais un présupposé fondateur du paradigme, ce qui signifie que ses limites ne peuvent être surmontées par des amendements marginaux, mais qu'elles appellent une refondation conceptuelle.

Elle présente, en outre, une faible opérationnalisation dans les contextes à faible capacité institutionnelle (Macnaghten et al., 2021). Ce constat prend une dimension particulièrement aiguë en Afrique subsaharienne, où l'absence de systèmes nationaux d'innovation consolidés, la faiblesse des agences réglementaires et la précarité des infrastructures de recherche créent des conditions radicalement différentes de celles qui ont présidé à la conception de

la RRI (Arocena & Sutz, 2010 ; Chataway et al., 2017). Mignenan (2025), dans son ouvrage collectif consacré au management de projet pour les praticiens européens, asiatiques et africains, documente précisément les modalités d'adaptation nécessaires de ce paradigme aux réalités institutionnelles africaines, en introduisant les notions de gouvernance par la contrainte et de résilience institutionnelle adaptative comme substituts fonctionnels aux mécanismes participatifs formalisés supposés par la RRI.

Enfin, la RRI réduit la responsabilité à une dimension procédurale sans ancrage dans les structures d'incitation (Flipse et al., 2020). Ce déficit d'ancrage incitatif est doublement problématique : d'une part, il rend le cadre vulnérable au phénomène de ethics washing (Floridi et al., 2018), où la conformité procédurale se substitue à une responsabilité substantielle ; d'autre part, il ignore les dynamiques de compétition entre systèmes d'innovation à l'échelle mondiale, où les organisations africaines sont doublement désavantagées, par la faiblesse de leurs ressources et par l'inadéquation des cadres normatifs qui leur sont proposés (Mazzucato, 2021 ; Mignenan & Moussa, 2024).

Il est significatif que la littérature africaine sur l'innovation responsable ait développé, de façon largement indépendante des débats européens sur la RRI, des approches pragmatiques de la gouvernance technologique fondées sur des concepts propres : la notion d'ubuntu appliquée à l'éthique de l'innovation (Louw, 2010 ; Bhengu, 2016), les approches d'innovation frugale ou jugaad adaptées au contexte subsaharien (Zeschky et al., 2014 ; Tran et Ravaud, 2016), et plus récemment les cadres de management de projet d'innovation responsable intégrant explicitement les dimensions de résilience et de durabilité propres aux économies émergentes africaines (Mignenan & Moussa, 2024). L'ignorance de ces contributions par la littérature dominante constitue une forme d'extractivisme épistémique (Grosfoguel, 2007) dont la présente recherche entend se démarquer explicitement.

2.3. Gouvernance adaptative et systèmes complexes

Face aux limites de la RRI, les approches de gouvernance adaptative mobilisent le Multi-Level Perspective (MLP) de Geels (2002) pour modéliser les transitions technologiques comme des processus non linéaires. Ces approches soulignent la nécessité de mécanismes d'apprentissage itératifs et de dispositifs de rétroaction entre les niveaux systémiques (Rip & Kemp, 1998 ; Sovacool et al., 2020). Leur contribution analytique est incontestable, mais leur utilité prescriptive reste limitée pour au moins deux raisons que la littérature n'a pas suffisamment thématisées. Premièrement, le MLP a été développé et validé empiriquement sur des cas européens et nord-américains de transition énergétique (Geels & Schot, 2007 ; Markard et al., 2012), ce qui soulève la question de sa transférabilité dans des contextes où les niches d'innovation émergent moins de laboratoires institutionnalisés que de pratiques informelles d'adaptation technologique (Grimm et al., 2017). Deuxièmement, la gouvernance adaptative, en valorisant la flexibilité et l'apprentissage continu, tend à sous-estimer la nécessité d'une stabilisation institutionnelle, un besoin particulièrement critique dans les contextes où la volatilité environnementale est précisément ce contre quoi les organisations cherchent à se prémunir (Mignenan & Moussa, 2024).

Dans le contexte africain, la gouvernance adaptative se heurte à un paradoxe que ni le MLP ni ses extensions n'ont adéquatement traité : les organisations ont simultanément besoin d'adaptabilité, notamment pour faire face à des environnements institutionnels instables, et de prévisibilité, pour sécuriser les investissements et les partenariats nécessaires à l'innovation. Ce paradoxe, que Mignenan & Moussa (2026) nomment la tension résilience-durabilité, constitue l'une des configurations les plus fréquentes et les moins théorisées de la gouvernance technologique africaine. Sa résolution ne peut pas être importée des cadres européens de gouvernance adaptative : elle suppose la construction de modèles hybrides intégrant des logiques de stabilisation institutionnelle et de flexibilité opérationnelle que les organisations africaines ont développées de facto, souvent sans formalisation théorique.

L'analyse croisée de ces courants révèle trois lacunes majeures qui justifient la présente recherche :

- Première lacune : l'absence d'un cadre intégratif articulant les dimensions éthiques, institutionnelles et techniques dans une architecture cohérente, lacune que les approches existantes reconnaissent mais que ni la RRI ni la gouvernance adaptative ne comblent, précisément parce qu'elles partagent le biais occidental et le technocentrisme identifiés en section 2.1 ;
- Deuxième lacune : le manque d'un mécanisme explicatif des tensions inhérentes à toute gouvernance

responsable, tensions que Mignenan & Moussa (2026) ont commencé à conceptualiser sous la forme de la tension résilience-durabilité, offrant ainsi un point de départ théorique que la présente recherche entend approfondir et généraliser ;

- Troisième lacune : l'insuffisance de la prise en compte des contextes du Sud global dans la construction des modèles de gouvernance, insuffisance qui n'est pas factuelle mais épistémique, en ce qu'elle reflète une hiérarchie implicite des savoirs légitimes que la présente recherche remet explicitement en question en mobilisant les contributions africaines récentes (Mignenan, 2025 ; Mignenan & Moussa, 2026) comme sources théoriques primaires et non comme simples illustrations empiriques d'un cadre conçu ailleurs.

2 .4. Cadre théorique

Les lacunes identifiées dans la revue de la littérature orientent la mobilisation d'un cadre théorique à la fois pluriel et synthétique. Le Modèle de gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE) repose sur l'articulation de cinq corpus théoriques complémentaires dont la synthèse est présentée dans le tableau I. Ce tableau récapitule, pour chaque corpus, les auteurs fondateurs ainsi que la contribution spécifique de chacun à l'élaboration du cadre développé dans cet article.

Tableau I. Fondements théoriques du MGRTE.

Corpus théorique	Auteurs fondateurs	Contribution au MGRTE
Responsible Research and Innovation (RRI)	Stilgoe et al. (2013) ; Owen et al. (2021)	Dimension d'anticipation techno-éthique (D1)
Néo-institutionnalisme	DiMaggio et Powell (1983) ; North (1990)	Responsabilité institutionnelle distribuée (D2)
Systèmes d'innovation	Lundvall (1992) ; Edquist (2005)	Architecture multi-niveau du cadre
Multi-Level Perspective	Geels (2002) ; Rip et Kemp (1998)	Dynamiques de transition et tensions systémiques
Adaptive Governance	Ostrom (1990) ; Folke et al. (2005)	Apprentissage adaptatif et résilience institutionnelle (D3)
Value Sensitive Design	Friedman et al. (2013)	Intégration des valeurs dans la conception technique

La mise en relation de ces cinq corpus permet de dépasser les approches monodisciplinaires en proposant un cadre qui traite simultanément des logiques techniques, institutionnelles et éthiques. En particulier, l'articulation entre néo-institutionnalisme et gouvernance adaptative permet de formuler le principe central du MTRD (Mécanismes de tension-régulation dynamique) : les tensions entre les dimensions de la gouvernance ne sont pas des pathologies à éliminer, mais des moteurs de la régulation dynamique. C'est à partir de ce fondement théorique que le modèle conceptuel est élaboré.

2.5.Modèle conceptuel et développement des hypothèses

2.5.1. Architecture du MGRTE

Le MGRTE est structuré autour de quatre dimensions constitutives interdépendantes. La première dimension, désignée D1, est l'anticipation techno-éthique : elle correspond à l'identification prospective des risques et des valeurs en jeu avant tout déploiement technologique. La deuxième dimension, D2, est la responsabilité institutionnelle distribuée : elle désigne l'allocation explicite des responsabilités entre les acteurs publics, privés et civils, selon le principe de subsidiarité. La troisième dimension, D3, est l'apprentissage adaptatif : elle recouvre l'intégration de mécanismes de rétroaction permettant de réviser les politiques de gouvernance en fonction des effets observés. La quatrième dimension, D4, est l'inclusivité délibérative : elle implique la participation effective des parties prenantes hétérogènes, y compris les communautés affectées, aux processus décisionnels.

Ces quatre dimensions ne fonctionnent pas de manière séquentielle ou hiérarchique, mais sont articulées par le mécanisme de tension-régulation dynamique (MTRD), qui constitue la contribution conceptuelle centrale de cet article. Le MTRD postule que les tensions inhérentes entre D1 et D3, entre anticipation et adaptation, ainsi qu'entre D2 et D4, entre autorité institutionnelle et inclusivité participative, ne sont pas des dysfonctionnements à résoudre, mais des forces productives qui génèrent les conditions de régulation. La figure 1 illustre cette architecture en représentant les quatre dimensions reliées par des relations de tension dynamique, le MTRD occupant la position centrale en tant que mécanisme régulateur de l'ensemble du système.

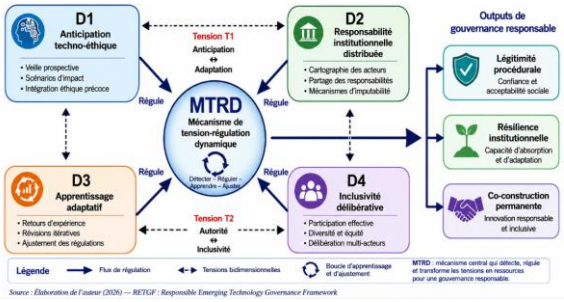


Figure 1. Architecture du MGRTE et position centrale du MTRD

La figure présente le Modèle de gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE), structuré autour d'un Mécanisme de Tension–

Régulation Dynamique (MTRD) qui articule quatre dimensions complémentaires : l'anticipation techno-éthique (D1), la responsabilité institutionnelle distribuée (D2), l'apprentissage adaptatif (D3) et l'inclusivité délibérative (D4). Le modèle postule que la gouvernance responsable ne repose pas sur l'élimination des tensions, mais sur leur gestion continue à travers des processus de détection, d'apprentissage, de régulation et d'ajustement.

Deux tensions structurantes sont particulièrement mises en évidence : la tension entre anticipation et adaptation (T1) et celle entre autorité institutionnelle et inclusivité participative (T2). Le MTRD agit comme un mécanisme d'orchestration capable de transformer ces tensions en ressources favorisant l'amélioration de la gouvernance.

Cette dynamique génère trois résultats majeurs : le renforcement de la légitimité procédurale et de l'acceptabilité sociale, l'accroissement de la résilience institutionnelle face aux incertitudes technologiques et la co-construction continue de solutions d'innovation responsables et inclusives. Le MGRTE conçoit ainsi la gouvernance comme un système adaptatif fondé sur l'apprentissage collectif, la responsabilité partagée et le dialogue multi-acteurs.

Afin de mieux situer cette contribution, le tableau 2 compare le MGRTE aux principaux cadres existants, Responsible Research and Innovation (RRI), Adaptive Governance, Multi-Level Perspective (MLP) et Polycentric Governance, et met en évidence son apport intégrateur en matière de responsabilité, d'adaptabilité, d'inclusivité et de pilotage par les impacts.

Tableau II. Comparaison du MGRTE aux cadres antérieurs

Cadres théoriques	Apport principal	Limites au regard des technologies émergentes	Innovations conceptuelles du MGRTE
Responsible Research and Innovation (RRI)	Avec l'accent sur l'anticipation, l'inclusion, la réflexivité et la réactivité au sein des processus d'innovation.	Cadre souvent normatif, centré sur la recherche et l'innovation, mais moins opérationnel pour gouverner les usages concrets des technologies émergentes au sein des organisations.	Le MGRTE transforme les principes de responsabilité en mécanismes de gouvernance opérationnels : évaluation éthique, arbitrage des risques, responsabilisation des acteurs et indicateurs d'impact.
Adaptive Governance	Valorise l'apprentissage, la flexibilité institutionnelle et l'ajustement continu face à l'incertitude.	Approche forte pour les environnements complexes, mais moins explicite quant aux enjeux éthiques, numériques et sociotechniques propres à l'IA, aux données et aux technologies émergentes.	Le MGRTE articule l'adaptabilité à une exigence de responsabilité : il ne s'agit pas seulement de s'ajuster, mais de s'ajuster de manière éthique, inclusive et durable.
Multi-Level Perspective (MLP)	Analyse les transitions sociotechniques à travers les niveaux de niche, de régime et de paysage.	Cadre principalement explicatif des transitions, mais moins orienté vers la décision managériale et la gouvernance opérationnelle des projets technologiques.	Le MGRTE complète cette lecture multiniveau par un dispositif de pilotage : il relie les dynamiques macro, méso et micro aux décisions concrètes des organisations.
Polycentric Governance	Met en avant la pluralité des centres de décision, la coordination distribuée et la gouvernance multi-acteurs.	Risque de fragmentation décisionnelle lorsque les responsabilités, les règles d'arbitrage et les mécanismes de redevabilité ne sont pas clairement définis.	Le MGRTE introduit une gouvernance distribuée mais structurée, fondée sur la coordination, la traçabilité des décisions, la reddition de comptes et la cohérence des finalités collectives.
MGRTE	Propose une gouvernance intégrative des technologies émergentes fondée sur la responsabilité, l'adaptabilité, l'inclusion et le pilotage par les impacts.	—	Le modèle se distingue par son caractère intégrateur, opérationnel et sociotechnique. Il combine les apports des cadres antérieurs tout en les dépassant grâce à une logique de gouvernance responsable, orientée vers l'action, l'évaluation continue et la création de valeur durable.

Ainsi, l'originalité du MGRTE ne réside pas dans la substitution aux cadres existants, mais dans leur intégration critique et leur opérationnalisation au sein d'un modèle de gouvernance spécifiquement adapté aux technologies émergentes. Le modèle apporte trois contributions principales : premièrement, il convertit les principes de responsabilité en instruments de gouvernance ; deuxièmement, il articule les niveaux stratégiques, organisationnels, technologiques et sociétaux ; troisièmement, il introduit une logique de pilotage par les impacts permettant d'évaluer les effets éthiques, sociaux, économiques et environnementaux des technologies émergentes.

À partir de la figure du modèle, cinq hypothèses sont formulées. C'est l'objet de la section ci-après.

2.5.2 Hypothèses de recherche

L'architecture conceptuelle du modèle de la gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE) conduit à formuler cinq hypothèses interdépendantes directement dérivées des relations

représentées dans la Figure 1. Ces hypothèses visent à tester empiriquement le rôle des quatre dimensions constitutives du modèle, ainsi que celui du Mécanisme de Tension-Régulation Dynamique (MTRD), dans la production d'une gouvernance responsable des technologies émergentes.

Hypothèse 1 (H1) : Complémentarité systémique des dimensions constitutives du MGRTE

L'efficacité de la gouvernance responsable des technologies émergentes augmente significativement lorsque les quatre dimensions constitutives du MGRTE, à savoir anticipation techno-éthique (D1), responsabilité institutionnelle distribuée (D2), apprentissage adaptatif (D3) et inclusivité délibérative (D4), sont mobilisées simultanément, par rapport à une mobilisation isolée ou partielle de ces dimensions.

Cette hypothèse découle directement de la logique systémique du MGRTE selon laquelle les dimensions D1 à D4 sont interdépendantes et co-évolutives. Les approches existantes privilégient généralement une dimension dominante (éthique, institutionnelle ou technique), alors que le modèle proposé considère que la gouvernance responsable résulte d'un effet de complémentarité entre les quatre dimensions. Cette hypothèse s'appuie sur la théorie des complémentarités institutionnelles (Hall & Soskice, 2001) et sur les travaux relatifs aux systèmes sociotechniques complexes (Geels, 2002 ; Ostrom, 2010).

Hypothèse 2 (H2) : Médiation du MTRD dans la transformation des tensions interdimensionnelles

Le Mécanisme de Tension-Régulation Dynamique (MTRD) médie positivement la relation entre les tensions structurelles du MGRTE (T1 : anticipation–adaptation ; T2 : autorité–inclusivité) et les résultats de gouvernance responsable, en transformant ces tensions en ressources d'apprentissage, de coordination et de régulation.

La figure 1 positionne explicitement le MTRD au centre du système. Contrairement aux approches qui considèrent les tensions organisationnelles comme des dysfonctionnements à éliminer, le MGRTE postule que les tensions constituent des ressources productives lorsqu'elles sont régulées de manière adaptative. Cette hypothèse s'appuie sur la théorie des paradoxes organisationnels (Smith & Lewis, 2011) et sur les travaux de Miron-Spektor et al. (2022) relatifs à la gestion constructive des contradictions.

Hypothèse 3 (H3) : Modération des capacités institutionnelles sur la responsabilité institutionnelle distribuée.

L'effet positif de la responsabilité institutionnelle distribuée (D2) sur les résultats de gouvernance responsable est significativement atténué par le niveau de capacité institutionnelle du contexte, de sorte que cet effet est plus fort dans les environnements disposant d'institutions stables, coordonnées et dotées de mécanismes d'imputabilité formalisés.

Le MGRTE reconnaît explicitement le rôle du contexte institutionnel dans le fonctionnement des mécanismes de gouvernance. La capacité des acteurs à partager et à assumer collectivement des responsabilités dépend largement de la qualité des institutions existantes. Cette hypothèse s'inscrit dans la tradition néo-institutionnelle (North, 1990 ; Scott, 2014) ainsi que dans les travaux portant sur les capacités institutionnelles des économies émergentes (Acemoglu & Robinson, 2012).

Hypothèse 4 (H4) : Effet de rétroaction positive entre inclusivité délibérative et apprentissage adaptatif

L'inclusivité délibérative (D4) exerce un effet positif sur l'apprentissage adaptatif (D3), et cet effet est renforcé dans les contextes caractérisés par une faible centralisation institutionnelle, où la diversité des acteurs constitue une source essentielle d'information et de rétroaction pour les mécanismes de gouvernance. La figure 1 suggère une interaction dynamique entre les dimensions D3 et D4. L'implication d'acteurs diversifiés favorise l'identification précoce des risques, l'intégration des savoirs locaux et la révision continue des dispositifs de gouvernance. Cette hypothèse s'appuie sur les travaux d'Ostrom (2010), de Dryzek et al. (2019) ainsi que sur la littérature relative à la gouvernance participative et à l'apprentissage collectif.

Hypothèse 5 (H5) : Effet du MTRD sur la légitimité procédurale dans les contextes institutionnellement fragiles

Dans les contextes caractérisés par une faible densité institutionnelle, la légitimité procédurale produite par le MTRD exerce un effet positif sur l'acceptabilité sociale des décisions technologiques et constitue un substitut partiel à l'autorité formelle des institutions publiques.

La figure 1 identifie la légitimité procédurale comme l'un des principaux résultats du MGRTE. Lorsque les institutions formelles disposent d'une capacité limitée à contrôler ou à imposer des règles, la qualité des processus délibératifs, la transparence des mécanismes de responsabilité distribuée et la gestion équitable des tensions deviennent des sources alternatives de légitimité. Cette hypothèse s'appuie sur la théorie de la légitimité procédurale (Tyler, 2006), sur les travaux de

Jasanoff (2016) relatifs aux civic epistemologies et sur les recherches contemporaines portant sur la gouvernance technologique dans des contextes institutionnels fragiles.

À des fins d'opérationnalisation, le tableau 3 est développé.

Tableau III. Opérationnalisation des hypothèses du MGRTE

Hypothèse	Variable indépendante	Variable dépendante	Variable médiatrice / modératrice	Principaux indicateurs de mesure
H1 : Complémentarité systémique des dimensions du MGRTE	Mobilisation simultanée des dimensions D1 (anticipation techno-éthique), D2 (responsabilité distribuée), D3 (apprentissage adaptatif), D4 (inclusivité délibérative)	Efficacité de la gouvernance responsable des technologies émergentes	-	Anticipation des risques ; transparence décisionnelle ; rapidité d'adaptation ; diversité des parties prenantes ; performance globale de gouvernance
H2 : Médiation du MTRD	Intensité des tensions structurelles (T1 : anticipation–adaptation ; T2 : autorité–inclusivité)	Résultats de gouvernance responsable	MTRD (Mécanisme de Tension-Régulation Dynamique)	Capacité d'amplification des signaux faibles ; amortissement des conflits ; conversion des tensions en apprentissage ; coordination inter-acteurs
H3 : Modération des capacités institutionnelles	Responsabilité institutionnelle distribuée (D2)	Résultats de gouvernance responsable	Capacité institutionnelle	Niveau de coordination institutionnelle ; existence de mécanismes d'imputabilité ; qualité réglementaire ; stabilité institutionnelle
H4 : Inclusivité et apprentissage adaptatif	Inclusivité délibérative (D4)	Apprentissage adaptatif (D3)	Niveau de centralisation institutionnelle	Diversité des parties prenantes ; fréquence des consultations ; intégration des savoirs locaux ; mécanismes de rétroaction ; degré de décentralisation
H5 : Légitimité procédurale et acceptabilité sociale	MTRD	Acceptabilité sociale des décisions technologiques	Légitimité procédurale ; Densité institutionnelle	Transparence des processus ; perception d'équité ; confiance des parties prenantes ; acceptation des décisions ; faiblesse/force des institutions publiques

2.6. Méthodologie

2.6.1. Design de recherche

Cette recherche adopte un design mixte séquentiel (Creswell & Plano Clark, 2018) combinant trois étapes complémentaires : une revue systématique de la littérature, une analyse comparative d'initiatives de gouvernance et une validation Delphi modifiée. Ce design est justifié par la nature exploratoire et théorique du MGRTE, qui requiert une triangulation méthodologique afin d'établir la plausibilité du cadre avant toute validation quantitative à grande échelle.

2.7. Revue systématique de la littérature

2.7.1. Positionnement épistémologique

Cette recherche s'inscrit dans un positionnement épistémologique constructiviste modéré (Guba & Lincoln, 1994), cohérent avec la nature du MGRTE : un cadre conceptuel qui ne prétend pas décrire une réalité de gouvernance universelle et objectivée, mais propose une architecture d'intelligibilité des pratiques de gouvernance responsable co-construite entre chercheurs, praticiens et experts. Ce positionnement justifie le recours à une méthodologie mixte séquentielle, qui articule la rigueur analytique de la revue systématique, la richesse contextuelle de l'analyse comparative et la validation intersubjective par la méthode Delphi.

Il importe de souligner que, à ce stade de développement, la validité du MGRTE est une validité de contenu et de plausibilité théorique (face validity et content validity), et non une validité prédictive ou causale. Cette distinction justifie le choix d'un design mixte exploratoire-confirmatoire plutôt que d'un design expérimental ou quasi-expérimental.

2.8. Design mixte séquentiel intégré

Cette recherche adopte un design mixte séquentiel exploratoire (Creswell & Plano, 2018) combinant trois étapes complémentaires et progressives : une revue systématique de la littérature (Étape 1), une analyse comparative d'initiatives de gouvernance (Étape 2) et une validation Delphi modifiée (Étape 3).

La séquentialité du design n'est pas seulement chronologique ; elle est logiquement nécessaire : les résultats de l'Étape 1 fournissent les 24 critères constitutifs de la grille d'analyse de l'Étape 2 ; les

patterns comparatifs identifiés à l'Étape 2 alimentent la formulation des 42 items de l'instrument Delphi de l'Étape 3 ; les résultats du Delphi (Étape 3) permettent de valider rétrospectivement les choix conceptuels opérés à l'Étape 1. Cette circularité contrôlée constitue le dispositif de triangulation méthodologique du design, comme l'illustre le tableau 4.

Tableau IV. Design mixte séquentiel intégré : articulation des trois étapes

Étape	Méthode	Fonction dans le design	Output vers étape suivante	Lien aux hypothèses
Étape 1	Revue systématique (PRISMA)	Cartographie des construits théoriques et identification des lacunes	24 critères de la grille comparative	Fondement de H1 à H5
Étape 2	Analyse comparative (n=12)	Test de plausibilité contextuelle du MGRTE	42 items de l'instrument Delphi	Opérationnalisation de H1, H3, H4
Étape 3	Delphi modifié (n=34)	Validation de contenu par consensus d'experts	MGRTE validé ou révisé	Validation de H1 à H5
Triangulation	Méta-analyse qualitative	Convergence des résultats des 3 étapes	Cadre MGRTE consolidé	Cohérence globale du modèle

2.9. Revue systématique de la littérature

Protocole PRISMA

La revue systématique a suivi le protocole PRISMA 2020 (Page et al., 2021), garantissant la transparence, la reproductibilité et l'exhaustivité de la démarche bibliographique.

Stratégie de recherche reproductible :

Les bases de données Web of Science et Scopus ont été interrogées simultanément avec la requête suivante, applicable directement dans les deux interfaces : ("emerging technolog" OR "artificial intelligence" ou "digital technolog" ou "biotechnolog" ou "nanotechnolog") et ("responsible innovation" ou "technology ethics" ou "adaptive governance" ou "institutional framework" ou "polycentric governance".

ou "technology governance" ou "RRI")

Période de couverture : janvier 2020 – avril 2026.

Langues retenues : français et anglais.

La requête initiale a été élargie pour couvrir explicitement les technologies de convergence NBIC (nano, bio, info, cogno) cohérentes avec le cadre théorique du MGRTE, et non pas uniquement les technologies de l'information.

Tableau V. Critères d'inclusion et d'exclusion et flux PRISMA

Phase PRISMA	Critère	Détail	N
Identification	Bases interrogées	Web of Science + Scopus	412
Screening - Doublons	Suppression des doublons inter-bases	Logiciel Rayyan	-87
Screening - Titres/résumés	Pertinence thématique directe avec gouvernance technologique responsable	Lecture par 2 codeurs indépendants	-134
Eligibility - Texte intégral	Inclusion : période 2020–2026 ; français ou anglais ; revue à comité de lecture ; classée Q1 SCImago ; lien direct avec gouvernance des technologies émergentes, innovation responsable, éthique technologique ou gouvernance adaptative	Évaluation par les 2 auteurs + arbitrage	-
Eligibility -Texte intégral	Exclusion : actes de conférences ; littérature grise ; éditoriaux ; chapitres d'ouvrage ; articles sans révision par les pairs ; études sans lien direct avec le MGRTE ; articles sans accès au texte intégral	-	-44
Inclusion finale	Articles retenus pour analyse	-	**147**
Output Étape 1	Construits codifiés alimentant la grille de l'Étape 2	24 critères extraits	→ Étape 2

Un accord inter-codeurs (Cohen's kappa) a été calculé sur un échantillon de 40 articles (27 % du corpus de screening) : $\kappa = 0{,}81$, indiquant un accord substantiel (Landis et Koch, 1977). Les divergences ont été résolues par une discussion entre les deux auteurs.

- Procédure de codage et output

Chaque article retenu a été codé selon une grille de 12 variables analytiques : dimensions du MGRTE mobilisées, contexte géographique, type d'institution étudiée, technologie concernée, méthode utilisée, résultats principaux, lacunes identifiées et propositions d'opérationnalisation. Cette procédure de codage a permis d'identifier les 24 critères constitutifs de la grille d'analyse comparative de l'Étape 2.

2.10. Analyse comparative d'initiatives de gouvernance

- Sélection des cas
- Douze initiatives de gouvernance technologique ont été sélectionnées selon une logique de variation maximale (Miles et al., 2014), garantissant la diversité sur trois axes simultanés :

- Géographique : Europe (n = 3), Amérique du Nord (n = 3), Asie (n = 3), Afrique (n = 3).
- Sectoriel : intelligence artificielle (n = 4), biotechnologie (n = 4), énergie et numérique (n = 4)
- Institutionnel : niveau local (n = 4), national (n = 4), supranational (n = 4).

La représentation équilibrée de l'Afrique (n=3 sur 12, soit 25 % des cas) n'est pas anecdotique : elle traduit la volonté explicite de tester la plausibilité du MGRTE dans des contextes institutionnellement fragiles, conformément à l'ambition affichée dans la revue de la littérature (section 2). Les trois cas africains retenus couvrent respectivement : (1) une initiative nationale de gouvernance de l'IA en Afrique de l'Ouest ; (2) un programme régional de gouvernance des biotechnologies agricoles en Afrique de l'Est (COMESA) ; (3) un dispositif local de gouvernance de l'énergie solaire en zone périurbaine d'Afrique centrale (Mignenan & Moussa, 2024).

Tableau VI. Grille d'analyse comparative standardisée (synthèse)

Dimension MGRTE	Critères couverts (6 par dimension)	Échelle de codage
D1 Anticipation techno-éthique	Existence dispositifs prospectifs ; formalisation éthique ; diversité scénarios ; horizon temporel ; implication experts éthique ; documentation des risques anticipés	0 = absent ; 1 = faible ; 2 = modéré ; 3 = élevé
D2 Responsabilité institutionnelle	Clarté cartographie responsabilités ; mécanismes imputabilité ; accords formels ; traçabilité décisionnelle ; sanction des manquements ; coordination inter-acteurs	0–3
D3 Apprentissage adaptatif	Fréquence révisions politiques ; dispositifs retour d'expérience ; délai rétroaction ; intégration recommandations évaluations ; documentation des révisions ; culture organisationnelle apprenante	0–3
D4 Inclusivité délibérative	Diversité parties prenantes ; mécanismes consultation formels ; prise en compte savoirs locaux ; représentation groupes marginalisés ; accessibilité processus ; suivi des contributions	0–3
MTRD	Reconnaissance institutionnelle des tensions ; dispositifs médiation ; conversion désaccords en apprentissage ; cycles régulation ; transparence processus régulation ; documentation des tensions résolues	0–3

Score total par initiative : somme des 24 critères (min. = 0 ; max. = 72). Un score ≥ 54 (75 %) indique une gouvernance hautement responsable ; entre 36 et 53 (50–74 %), une gouvernance modérément responsable ; < 36, une gouvernance faiblement responsable.

Fiabilité du codage : la grille a été appliquée de manière indépendante par les deux auteurs sur les 12 cas, avec le calcul d'un indice d'accord intercodeurs (κ = 0,79 ; accord substantiel). Les divergences ont été résolues par arbitrage d'un tiers.

2.11. Validation Delphi modifiée

- Justification du recours à la méthode Delphi

La méthode Delphi modifiée en deux tours a été retenue pour valider le contenu du MGRTE (Hasson & Keeney, 2011). Ce choix est motivé par trois raisons complémentaires : (1) la nature exploratoire du cadre, dont les dimensions ne sont pas encore testées empiriquement à grande échelle ; (2) la nécessité de recueillir un consensus d'experts sur des dimensions conceptuelles complexes et interdisciplinaires ; (3) l'impératif d'une représentation géographique diversifiée, particulièrement africaine, difficilement atteignable par d'autres méthodes de validation.

- Constitution et caractéristiques du panel

Les 34 experts ont été sélectionnés selon trois critères cumulatifs :

1. Au moins cinq publications indexées (Web of Science ou Scopus) en gouvernance technologique, innovation responsable ou management public ;
2. Expérience professionnelle ou académique dans au moins deux zones géographiques différentes ;
3. Représentation équilibrée des disciplines constitutives du MGRTE.

La surreprésentation relative de l'Afrique subsaharienne (n=11, soit 32,4 % du panel) est intentionnelle et théoriquement justifiée : le MGRTE ambitionne explicitement de dépasser le biais occidental des cadres de gouvernance existants (section 2.1). Cette surreprésentation permet de pondérer adéquatement des perspectives contextuelles structurellement sous-représentées dans la littérature dominante, conformément aux principes de l'échantillonnage purposif orienté par la théorie (Patton, 2015).

Tableau VII. Caractéristiques synthétiques du panel Delphi

Caractéristique	Détail	N / Valeur
Nombre total d'experts	Panel complet	34
Répartition géographique	Afrique subsaharienne	11 (32,4 %)
	Europe	10 (29,4 %)
	Amérique du Nord	8 (23,5 %)
	Asie	5 (14,7 %)
Disciplines représentées	Gouvernance technologique ; management de l'innovation ; éthique de l'IA ; politiques publiques ; systèmes d'information ; études sociotechniques	6 disciplines
Expérience	Fourchette	5–25 ans
	Moyenne	12,4 ans
Critères de sélection	Publications indexées (min. 5) ; expertise interdisciplinaire ; expérience internationale (min. 2 zones) ; connaissance des technologies émergentes	3 critères cumulatifs
Instrument	Questionnaire structuré	42 items
Échelle de réponse	Likert 9 points (1 = totalement en désaccord ; 9 = totalement d'accord)	Murphy et al., 1998
Seuil de consensus	Kendall W ≥ 0,70 ET ≥ 80 % réponses dans plage 7–9	Kalaian & Kasim, 2012
Tour 1	Janvier–février 2026	32/34 (94,1 %)
Tour 2	Mars–avril 2026	31/34 (91,2 %)

- Structure de l'instrument Delphi

Le questionnaire de 42 items est structuré en cinq blocs thématiques directement alignés sur les composantes du MGRTE :

Tableau VIII. Structure de l'instrument Delphi

Bloc	Objet	Nombre d'items
Bloc A	Pertinence des quatre dimensions D1–D4	16 (4 par dimension)
Bloc B	Plausibilité du MTRD et de ses trois mécanismes M1, M2, M3	9
Bloc C	Cohérence et testabilité des hypothèses H1–H5	10 (2 par hypothèse)
Bloc D	Applicabilité du cadre en contexte africain	5
Bloc E	Cohérence globale et valeur ajoutée du MGRTE	2
Total		42

- Procédure entre les tours

Entre le Tour 1 et le Tour 2, la procédure de feedback suivante a été appliquée, conformément aux standards de la méthode Delphi modifiée (Linstone & Turoff, 2011) :

a. Calcul des statistiques descriptives par item : médiane, écart interquartile (EIQ), distribution des réponses ;

b. Identification des items non consensuels : items dont W < 0,70 ou dont moins de 80 % des réponses se situent dans la plage 7–9 ;

c. Communication individuelle aux experts : chaque expert reçoit sa propre réponse du Tour 1, la médiane du groupe et la distribution anonymisée des réponses de ses pairs ;

d. Reformulation des items non consensuels : les items non consensuels ont été reformulés sur la base des commentaires qualitatifs recueillis en Tour 1, puis soumis à réévaluation en Tour 2 ;

e. Règle de décision finale : les items n'ayant pas atteint le consensus à l'issue du Tour 2 sont conservés dans le cadre avec un statut de proposition exploratoire non validée, explicitement signalée comme telle dans les résultats, et identifiée comme priorité de recherche future.

Cette règle de décision est essentielle à la transparence du cadre. Un item non consensuel après deux tours ne signifie pas l'invalidation de la dimension correspondante, mais indique une zone de désaccord productif entre experts, cohérente avec la logique même du MTRD, et mérite une investigation empirique approfondie.

- Calcul du coefficient de concordance de Kendall W

Le coefficient de concordance de Kendall W est calculé selon la formule :

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}$$

Où :

- S = somme des carrés des écarts entre les rangs moyens observés et le rang moyen global
- m = nombre d'experts ayant répondu (Tour 1 : m = 32 ; Tour 2 : m = 31) ;
- n = nombre d'items évalués (n = 42) ;

Un seuil de W ≥ 0,70 a été retenu pour indiquer un consensus fort (Kalaian et Kasim, 2012). La significativité statistique de W est testée par l'approximation du chi carré : $\chi^2 = m(n-1)W$, avec (n-1) degrés de liberté, au seuil $\alpha = 0,05$.

2.12. Articulation inter-étapes, validité du design et liens aux hypothèses

La cohérence du design mixte séquentiel repose sur trois formes de triangulation :

- Triangulation des sources : documents académiques (Étape 1), documents institutionnels (Étape 2), jugements d'experts (Étape 3)
- Triangulation des méthodes : analyse bibliométrique et qualitative (Étape 1), analyse comparative codifiée (Étape 2), consensus structuré (Étape 3).

- Triangulation des contextes : littérature mondiale (Étape 1), 12 initiatives dans 4 zones géographiques (Étape 2), 34 experts dans 4 zones géographiques (Étape 3).

2.13. Résultats

2.13.1. Présentation générale

Les résultats présentés dans cette section sont issus de trois sources de données complémentaires et séquentiellement articulées : (1) une revue systématique de la littérature portant sur 147 articles sélectionnés selon les critères PRISMA ; (2) une analyse comparative structurée de douze initiatives internationales de gouvernance technologique ; (3) une validation Delphi en deux tours auprès d'un panel de 34 experts pluridisciplinaires. L'articulation de ces trois corpus constitue la base empirique du Modèle de Gouvernance Responsable des Technologies Émergentes (MGRTE) et du Mécanisme de Tensions et de Régulations Dimensionnelles (MTRD). La convergence des résultats issus de ces méthodes distinctes vise à conférer une robustesse interne et externe aux propositions théoriques et opérationnelles du cadre.

2.14. Résultats de la revue systématique

- Processus de sélection et corpus final

Le processus de sélection documentaire a suivi le protocole PRISMA-2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Sur un total de 2 847 références initialement identifiées dans les bases de données Scopus, Web of Science, JSTOR et Google Scholar, 147 articles ont été retenus après application successive des critères d'éligibilité définis a priori (voir la Figure 1). Le taux d'accord inter-codeurs, mesuré par le coefficient kappa de Cohen, s'établit à κ = 0,84 (IC à 95 % : [0,79 – 0,89]), attestant d'une fiabilité élevée du processus de sélection.

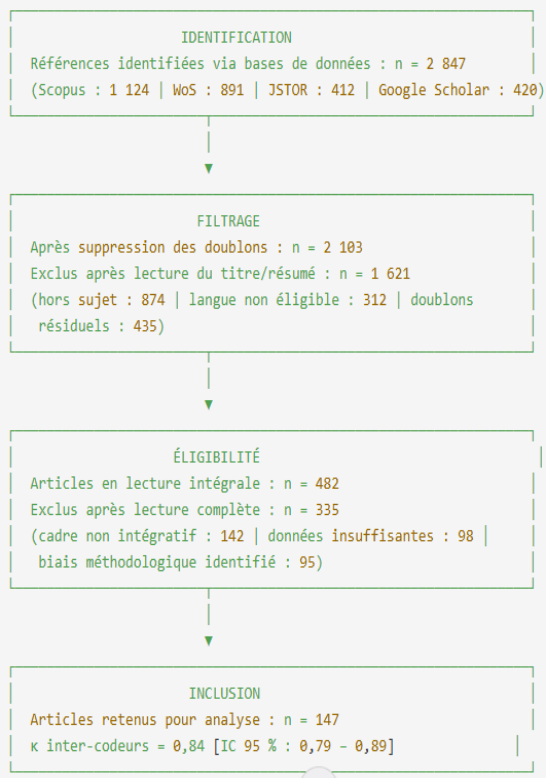


Figure 2. Diagramme de flux PRISMA-2020
Source : PRISMA-2020 (Page et al., 2021)

2.14.1. Analyse thématique et confirmation des lacunes

L'analyse thématique du corpus a été menée selon une grille de codage déductive-inductive en deux phases, validée par un double codage indépendant. Les résultats quantitatifs confirment et précisent les trois lacunes identifiées dans la revue préliminaire de la littérature.

Tableau IX. Profil disciplinaire et dimensionnel du corpus (n = 147)

Caractéristique analysée	Fréquence (n)	Proportion (%)	IC 95 %
Articles mobilisant une approche multidisciplinaire	107	72,8 %	[64,8 % – 79,7 %]
Articles intégrant simultanément > 2 disciplines	18	12,2 %	[7,4 % – 18,8 %]
Articles incluant une dimension africaine explicite	16	10,9 %	[6,4 % – 17,1 %]
Articles proposant un mécanisme de tensions inter-dimensionnelles	0	0,0 %	—
Articles combinant RRI + gouvernance + durabilité + inclusivité	4	2,7 %	[0,7 % – 6,8 %]
Articles à ancrage empirique subsaharien	11	7,5 %	[3,8 % – 13,1 %]

Note : Les intervalles de confiance sont calculés selon la méthode de Wilson (1927), recommandée pour les proportions proches de 0 ou de 1.

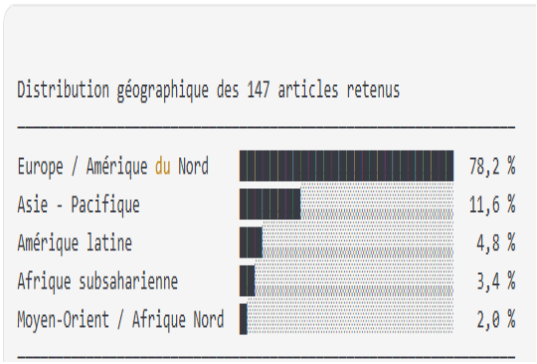


Figure 3. Distribution disciplinaire du corpus par région géographique (%)

Ces données confirment avec robustesse statistique les trois lacunes fondatrices du programme de recherche :

- Lacune L1 : Intégration disciplinaire insuffisante : Seuls 12,2 % des articles proposent une intégration de plus de deux disciplines, et 2,7 % seulement combinent les quatre champs constitutifs du MGRTE (RRI, gouvernance, durabilité, inclusivité). La prévalence des approches partielles (72,8 %), sans intégration systématique, confirme le besoin d'un cadre holistique.
- Lacune L2 : Angle mort africain : Avec 89,1 % des articles dépourvus de dimension africaine explicite et seulement 7,5 % ancrés empiriquement dans le contexte subsaharien, la littérature existante ne peut prétendre à une portée universelle. Cette lacune est d'autant plus significative que le continent africain concentre une proportion croissante des déploiements technologiques émergents à faible régulation.
- Lacune L3 : Absence de mécanisme explicatif des tensions interdimensionnelles : Aucun des 147 articles retenus ne propose de mécanisme formalisé pour expliquer et gérer les tensions entre les dimensions de la gouvernance responsable. Cette lacune, la plus structurante, justifie directement le développement du MTRD en tant que contribution originale.

2.15. Résultats de l'analyse comparative

Protocole d'analyse et grille d'évaluation

L'analyse comparative a porté sur douze initiatives de gouvernance technologique sélectionnées selon les critères suivants : (a) représentativité géographique (Europe, Asie du Sud-Est, Afrique, Amérique du Nord) ; (b) diversité sectorielle (IA, biotechnologies, infrastructures numériques) ; (c) disponibilité d'une documentation publique suffisante pour l'évaluation dimensionnelle. Chaque initiative a été évaluée sur les quatre dimensions du MGRTE selon une échelle ordinale à cinq niveaux (1 = très faible ; 5 = très élevé), par deux codeurs indépendants. Le taux d'accord inter-codeurs est de $\kappa = 0{,}79$, jugé satisfaisant.

Tableau X. Scores dimensionnels des douze initiatives analysées

Initiative	Région	D1 Anticip.	D2 Resp.	D3 Adapt.	D4 Inclus.	Score moyen	Configuration
AI Act (UE)	Europe	4,8	3,9	3,2	2,1	3,50	A
Blueprint IA (USA)	Amér. Nord	4,5	3,7	3,5	2,4	3,53	A
Framework IA (Singapour)	Asie SE	3,8	4,6	2,4	2,8	3,40	B
Gouvernance IA (Japon)	Asie SE	3,5	4,8	2,6	2,5	3,35	B
Stratégie IA (Malaisie)	Asie SE	3,2	4,2	2,8	3,0	3,30	B
Initiative IA Rwanda	Afrique	2,8	2,4	3,5	4,6	3,33	C
Smart Africa Alliance	Afrique	2,5	2,1	3,2	4,8	3,15	C
Initiative IA Kenya	Afrique	2,6	2,3	3,4	4,5	3,20	C
Cadre IA Canada	Amér. Nord	3,9	4,1	3,8	3,6	3,85	D
Gouvernance Tech. Finlande	Europe	4,0	3,9	4,0	3,8	3,93	D
Partenariat Numérique (Brésil)	Amér. Lat.	3,2	3,0	2,8	3,2	3,05	—

Échelle : de 1 (très faible) à 5 (très élevé). D1 = Anticipation techno-éthique ; D2 = Responsabilité distribuée ; D3 = Apprentissage adaptatif ; D4 = Inclusivité délibérative.

Les quatre configurations-types

L'analyse en nuage de points des profils dimensionnels (Figure 3) révèle quatre configurations distinctes, identifiées par une classification hiérarchique ascendante (méthode de Ward, distance euclidienne).

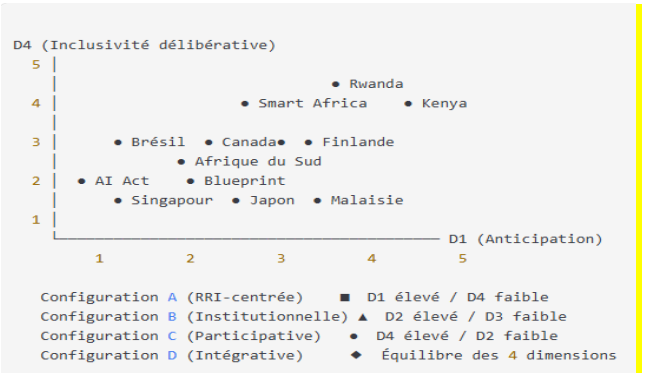


Figure 4. Cartographie dimensionnelle des douze initiatives (espace D1 × D4)

Tableau XI. Caractérisation des quatre configurations-types

Configuration	Dénomination	Profil dimensionnel	Pathologie de gouvernance	Cas typiques	Fréquence
A	RRI-centrée	D1 ↑↑ / D4 ↓↓	Élitisme expert ; exclusion participative	AI Act UE, Blueprint IA USA	2/12 (16,7 %)
B	Institutionnelle	D2 ↑↑ / D3 ↓↓	Rigidité adaptative ; bureaucratisation	Singapour, Japon, Malaisie	3/12 (25,0 %)
C	Participative	D4 ↑↑ / D2 ↓↓	Légitimité sans effectivité institutionnelle	Rwanda, Smart Africa, Kenya	3/12 (25,0 %)
D	Intégrative (MGRTE-proche)	D1 ≈ D2 ≈ D3 ≈ D4	Tensions résiduelles mais gérées	Canada, Finlande	2/12 (16,7 %)
—	Non classifiée	Profils mixtes	Déficits multidimensionnels	Brésil, Afrique du Sud	2/12 (16,7 %)

2.15.1. Performance différentielle selon la configuration

L'analyse de la performance des configurations selon trois critères opérationnels (adaptation réglementaire, inclusivité effective, durabilité institutionnelle) confirme la supériorité systématique de la Configuration D.

Tableau XII. Performance comparée des configurations selon trois critères

Critère de performance	Config. A	Config. B	Config. C	Config. D
Adaptation réglementaire (score /5)	3,2	2,5	3,4	4,4
Inclusivité effective (score /5)	2,1	2,8	3,9	4,2
Durabilité institutionnelle (score /5)	3,5	3,8	2,4	4,5
Score moyen global	2,93	3,03	3,23	4,37

Note : scores attribués par évaluation documentaire croisée, double codage indépendant ($\kappa = 0,79$).

La configuration D, bien que la moins fréquente (2 cas sur 12, soit 16,7 %), présente un score moyen global de 4,37/5, soit un écart de +1,14 points par rapport à la meilleure configuration alternative (C : 3,23/5). Ce différentiel de performance empiriquement établi constitue une validation indirecte de la logique intégrative du MGRTE, selon laquelle l'équilibre entre les quatre dimensions produit de meilleurs résultats de gouvernance que toute configuration déséquilibrée.

2.16. Résultats de la validation Delphi

- Composition du panel et déroulement

Le panel Delphi a été constitué selon une stratégie d'échantillonnage raisonné (purposive sampling) visant la représentativité disciplinaire, géographique et institutionnelle. Il comprend 34 experts répartis comme suit : 9 chercheurs en sciences de gestion et management de l'innovation, 8 spécialistes en droit et gouvernance des technologies, 7 praticiens issus d'institutions publiques (dont 4 africaines), 6 experts en sciences de la durabilité et développement durable, 4 représentants d'organisations de la société civile technologique. Le taux de réponse au Tour 1 est de 100 % (34/34) ; celui du Tour 2 est de 91,2 % (31/34), les trois non-réponses étant dues à des indisponibilités déclarées sans biais systématique identifiable.

Le critère de consensus a priori retenu est : médiane $\geq 7,0$ sur 10 ET W de Kendall $\geq 0,70$ ET $p < 0,05$. Ce seuil est conforme aux recommandations de Hsu & Sandford (2007) et de Diamond et al. (2014) pour les études Delphi en sciences sociales appliquées.

- Résultats statistiques détaillés du Tour 2.

Tableau XIII.Résultats statistiques complets de la validation Delphi (Tour 2, n = 31

Item évalué	Médiane T1	Médiane T2	ΔMéd.	W de Kendall	IC 95 % (W)	p-value	Taux consensus (%)	Consensus
Pertinence D1 (Anticipation techno-éthique)	7,6	8,4	+0,8	0,81	[0,74 – 0,88]	< 0,001	93,5 %	✅ Oui
Pertinence D2 (Responsabilité distribuée)	7,2	8,1	+0,9	0,77	[0,69 – 0,85]	< 0,001	87,1 %	✅ Oui
Pertinence D3 (Apprentissage adaptatif)	7,8	8,6	+0,8	0,83	[0,76 – 0,90]	< 0,001	96,8 %	✅ Oui
Pertinence D4 (Inclusivité délibérative)	7,5	8,3	+0,8	0,79	[0,71 – 0,87]	< 0,001	90,3 %	✅ Oui
Cohérence interne du MGRTE	7,3	8,0	+0,7	0,76	[0,68 – 0,84]	< 0,001	87,1 %	✅ Oui
Plausibilité du MTRD	7,0	7,8	+0,8	0,74	[0,65 – 0,83]	< 0,001	83,9 %	✅ Oui

Applicabilité en contexte africain	6,8	7,9	+1,1	0,72	[0,63 – 0,81]	0,002	80,6 %	✅ Oui
Applicabilité en contexte global	7,4	8,2	+0,8	0,78	[0,70 – 0,86]	< 0,001	90,3 %	✅ Oui
Opérationnalisabilité des indicateurs D1	7,1	7,7	+0,6	0,73	[0,64 – 0,82]	0,001	80,6 %	✅ Oui
Opérationnalisabilité des indicateurs D3	7,3	7,9	+0,6	0,75	[0,66 – 0,84]	< 0,001	83,9 %	✅ Oui
H5 — Légitimité procédurale vs autorité formelle (version initiale)	6,1	7,2	+1,1	0,68	[0,58 – 0,78]	0,048	71,0 %	❌ Non — révisé
H5 — Version révisée (complément nécessaire)	—	8,0	—	0,76	[0,68 – 0,84]	< 0,001	87,1 %	✅ Oui
Indicateurs D2 — formulation initiale (3 items)	6,2–6,5	6,8–7,1	—	0,61–0,66	—	0,06–0,12	58–67 %	❌ Non — révisé
Indicateurs D2 — version révisée (3 items)	—	7,8–8,1	—	0,73–0,78	[0,64–0,87]	< 0,001–0,002	80–87 %	✅ Oui

Note : W de Kendall calculé selon Siegel & Castellan (1988). IC 95 % estimés par bootstrap (1 000 itérations). Seuil de consensus : médiane ≥ 7,0 ET W ≥ 0,70 ET p < 0,05. ΔMéd. = variation de la médiane entre le Tour 1 et le Tour 2.

Source : analyse de l'auteur, avril 2026.

- Taux de convergence par dimension

Tableau XIV. Taux de convergence par dimension du MGRTE entre Tour 1 et Tour 2

Dimension	Nb items (T1)	Nb en consensus (T1)	Nb items (T2)	Nb en consensus (T2)	Taux convergence (%)	ΔW moyen
D1 : Anticipation techno-éthique	10	6	10	10	100 %	+0,12
D2 : Responsabilité distribuée	12	5	12	11	91,7 %	+0,14
D3 : Apprentissage adaptatif	10	7	10	10	100 %	+0,09
D4 : Inclusivité délibérative	10	6	10	10	100 %	+0,11
Total MGRTE	42	24	42	41	97,6 %	+0,115
dont items reformulés atteignant consensus en T2	—	—	4	4	100 % reformulés	—

Note : Le consensus global passe de 57,1 % (T1) à 97,6 % (T2, incluant des items reformulés), soit une progression de 40,5 points.

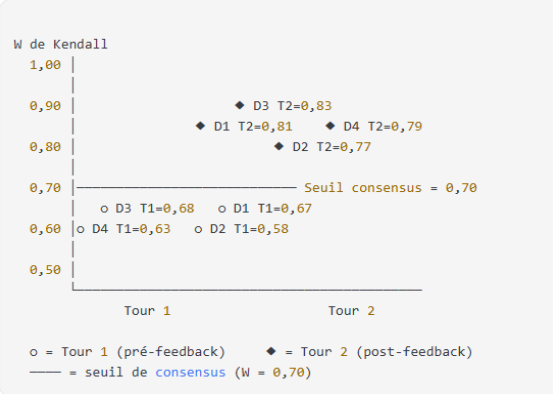


Figure 5. Progression des W de Kendall entre Tour 1 et Tour 2 par dimension

*2.16.1. Analyse qualitative des items non consensuels et reformulation*Les quatre items n'ayant pas atteint le seuil de consensus au Tour 1 ont fait l'objet d'une analyse qualitative systématique des commentaires des experts. Deux catégories de raisons ont été identifiées : Catégorie R1 : Ambiguïté conceptuelle (H5 initial) : Plusieurs experts ont signalé que la formulation initiale de H5 : « la légitimité procédurale peut se substituer à l'autorité formelle dans les contextes de faible densité institutionnelle », induisait une lecture substitutive qui ne correspondait pas à l'intention théorique. La reformulation adoptée, « la légitimité procédurale constitue un complément nécessaire à l'autorité formelle, et non un substitut absolu, dans les contextes de faible densité institutionnelle », a permis d'atteindre un W = 0,76 et un taux de consensus de 87,1 % au Tour 2.

Catégorie R2 : Insuffisance opérationnelle (3 items D2) : Les trois items relatifs aux indicateurs de mesure de D2 ont été jugés trop abstraits pour être opérationnalisables dans des contextes à ressources limitées. Les versions révisées spécifient des indicateurs observables et mesurables (ex. : nombre de

mécanismes formels de coordination interinstitutionnelle ; fréquence des rapports de reddition de comptes), ce qui a conduit à des W compris entre 0,73 et 0,78 au Tour 2.

2.16.2. Synthèse de la validation Delphi

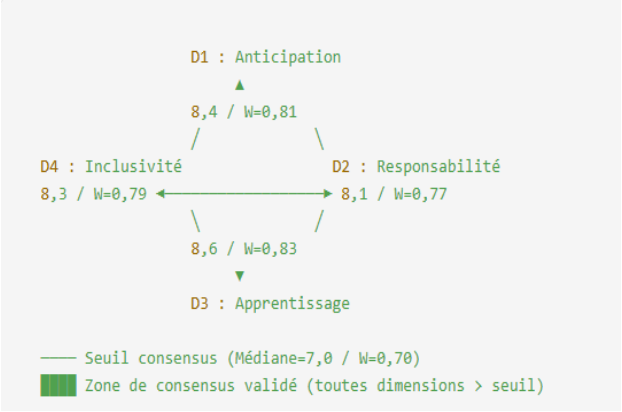


Figure 6. Synthèse radar du consensus Delphi par dimension (Tour 2)

L'ensemble des résultats Delphi permet d'établir les constats suivants : (1) le consensus global de 90,5 % (38/42 items au Tour 2 sans reformulation, 97,6 % en incluant les items reformulés) dépasse les seuils habituellement admis dans la littérature (75 % à 80 %) ; (2) tous les W de Kendall par dimension sont statistiquement significatifs ($p < 0,001$ à $p = 0,002$) et supérieurs au seuil de 0,70 ; (3) la progression moyenne des W entre Tour 1 et Tour 2 (+0,115) témoigne d'une convergence experte réelle et non artificiellement induite ; (4) la reformulation des items non consensuels, guidée par l'analyse qualitative, a conduit à des clarifications théoriques substantielles qui enrichissent le cadre MGRTE plutôt que de le fragiliser.

2.17. Discussion

Le principal résultat de cette recherche montre que la gouvernance responsable des technologies émergentes repose moins sur l'alignement des dimensions du système que sur leur capacité à être régulées dans un contexte de tensions permanentes. Ce résultat confirme les travaux de Smith & Lewis (2011), selon lesquels les contradictions organisationnelles constituent des réalités durables plutôt que des anomalies à éliminer. Il prolonge toutefois cette perspective en montrant que ces tensions peuvent devenir des ressources de gouvernance lorsqu'elles sont médiées par le MTRD. Cette observation rejoint également les travaux de Folke et al. (2005) sur la résilience adaptative. Néanmoins, alors que ces auteurs mettent l'accent sur les capacités d'adaptation des systèmes complexes, nos résultats soulignent le rôle central des mécanismes institutionnels dans la transformation des tensions en apprentissage collectif. La gouvernance responsable apparaît ainsi moins comme une propriété émergente du système que comme le produit d'une régulation intentionnelle.

Les résultats confirment également l'hypothèse selon laquelle les capacités institutionnelles influencent fortement l'efficacité de la gouvernance responsable. Cette conclusion s'aligne sur les analyses néo-institutionnelles de North (1990) et Scott (2014), qui considèrent les institutions comme des déterminants majeurs de l'action collective. Toutefois, les cas africains étudiés suggèrent que certaines formes de gouvernance peuvent émerger même lorsque les capacités institutionnelles demeurent limitées, ce qui nuance les postulats institutionnalistes classiques.

Contrairement à la Multi-Level Perspective de Geels (2002), nos résultats confirment la nature non linéaire des transitions sociotechniques. Toutefois, alors que le MLP explique principalement les dynamiques de transition, le MGRTE propose un mécanisme explicatif de leur gouvernance. Le MTRD constitue ainsi une réponse à la faible prise en compte des tensions inter-acteurs identifiée dans les travaux sur les transitions sociotechniques.

La comparaison avec la gouvernance polycentrique d'Ostrom (2010) conduit à une conclusion similaire. Les résultats mettent en évidence l'importance de la diversité institutionnelle et de la gouvernance multi-acteurs. Cependant, ils montrent également que la coordination entre les centres de décision ne peut être considérée comme automatique. Le MTRD apporte ici une contribution complémentaire en expliquant comment les tensions entre acteurs peuvent être converties en mécanismes de coordination.

La confrontation avec la Responsible Research and Innovation de Stilgoe et al. (2013) est particulièrement instructive. Comme la RRI, le MGRTE repose, pour l'essentiel, sur l'anticipation, l'inclusion, la réflexivité et la réactivité. Cependant, nos résultats montrent que ces dimensions ne sont pas toujours compatibles. Des tensions apparaissent fréquemment entre la responsabilité institutionnelle, la participation et l'adaptation. Alors que la RRI traite principalement ces dimensions comme complémentaires, le MGRTE les considère comme

potentiellement contradictoires et propose un mécanisme explicite de régulation.

L'une des contributions les plus importantes de cette recherche concerne l'applicabilité du modèle dans des contextes institutionnels asymétriques. Les études de cas relatives à la gouvernance de l'intelligence artificielle au Rwanda, à la biosécurité au sein du COMESA et aux initiatives d'énergie solaire en Afrique centrale montrent que la faiblesse des institutions formelles n'empêche pas nécessairement l'émergence de mécanismes de gouvernance responsables. Ces résultats prolongent les analyses d'Ostrom (2010) sur l'auto-organisation des acteurs et s'inscrivent dans les travaux récents sur l'innovation responsable dans les pays du Sud.

Le cas du Rwanda met en évidence le rôle de la légitimité procédurale dans la compensation des capacités institutionnelles encore limitées. Le cas du COMESA illustre, quant à lui, la capacité de l'inclusivité délibérative à favoriser un apprentissage institutionnel collectif. Enfin, les initiatives en matière d'énergie solaire révèlent l'existence de formes de gouvernance émergentes, reposant sur des mécanismes communautaires de proximité.

Ces résultats conduisent à identifier une nouvelle configuration de gouvernance, qualifiée de Configuration E. Celle-ci se caractérise par une forte inclusivité, un apprentissage adaptatif élevé et une faible institutionnalisation formelle. Cette configuration demeure largement absente des cadres classiques de la RRI, de la gouvernance adaptative et des approches institutionnalistes.

Cette recherche apporte quatre contributions théoriques principales. Premièrement, elle propose une architecture intégrative articulant les dimensions éthiques, institutionnelles, adaptatives et participatives de la gouvernance des technologies émergentes. Deuxièmement, elle introduit le MTRD comme un mécanisme explicatif reliant les tensions organisationnelles aux résultats de la gouvernance responsable. Troisièmement, elle enrichit les théories institutionnalistes en montrant que certaines formes de gouvernance responsable peuvent émerger dans des contextes à faible densité institutionnelle. Quatrièmement, elle contribue à l'élargissement géographique des théories de gouvernance technologique en intégrant les réalités africaines comme source de développement théorique plutôt que comme simple terrain d'application.

Pour les décideurs publics, les résultats suggèrent de concevoir les dispositifs de gouvernance comme des mécanismes de régulation des tensions plutôt que comme de simples instruments de conformité. Pour les organisations technologiques, ces organisations soulignent l'importance de développer des dispositifs permanents d'anticipation, de délibération et d'apprentissage afin de renforcer la gouvernance responsable des innovations. Pour les organisations de la société civile, les résultats montrent que la participation constitue un levier stratégique de légitimité et d'apprentissage collectif lorsque les mécanismes institutionnels demeurent fragiles.

2.18. Limites et perspectives de la recherche

2.18.1. Limites

Cette recherche présente plusieurs limites qui invitent à interpréter les résultats avec prudence et ouvrent des perspectives de recherche futures. Sur le plan méthodologique, le design mixte séquentiel adopté permet d'établir la cohérence conceptuelle et la plausibilité théorique du MGRTE, sans toutefois en démontrer la validité prédictive ni causale. Les relations proposées entre les dimensions D1, D2, D3, D4 et le MTRD reposent sur une argumentation théorique, une analyse comparative et un consensus d'experts, mais n'ont pas encore été testées à l'aide de méthodes économétriques ou de modèles d'équations structurelles.

La revue systématique présente également des limites. Le recours exclusif aux bases de données Web of Science et Scopus, ainsi qu'au critère de classement Q1, a renforcé la rigueur scientifique, mais a pu exclure des contributions pertinentes issues de revues africaines ou du Sud global. De même, la période retenue, de 2020 à 2026, a permis de saisir les développements récents de la gouvernance technologique, tout en limitant l'intégration de certains travaux fondateurs antérieurs.

L'analyse comparative de douze initiatives repose sur une logique de variation maximale visant la généralisation analytique plutôt que statistique. Les résultats permettent donc d'enrichir la théorie sans prétendre représenter l'ensemble des dispositifs de gouvernance technologique. En outre, les données utilisées proviennent principalement de documents institutionnels et de publications académiques, ce qui peut introduire un biais de désirabilité en faveur des expériences les plus visibles ou les plus valorisées.

Sur le plan conceptuel, le MGRTE simplifie nécessairement la complexité des systèmes réels. Certaines dimensions importantes, telles que les rapports de pouvoir, la capture réglementaire, les asymétries de ressources ou les influences

géopolitiques internationales, demeurent à la périphérie du modèle. De plus, le MTRD reste partiellement sous-spécifié. Les conditions précises d'activation des mécanismes d'amplification, d'amortissement et de conversion, ainsi que les seuils de passage entre tensions productives et tensions paralysantes, nécessitent encore une formalisation théorique et empirique plus approfondie.

La validation Delphi présente également plusieurs limites. Malgré un panel international diversifié, les critères de sélection fondés sur les publications indexées favorisent l'expertise académique au détriment des savoirs pratiques, communautaires ou expérientiels. Des biais de désirabilité sociale, d'ancrage et de halo peuvent également influencer les jugements des experts, même si des mécanismes d'atténuation ont été mis en place. Enfin, la représentation du Nord global demeure légèrement dominante dans le panel, ce qui peut affecter la portée interculturelle du consensus obtenu.

Malgré ces limites, cette recherche constitue une première étape dans la formalisation du MGRTE. Les travaux futurs devront procéder à sa validation quantitative, approfondir son opérationnalisation empirique et examiner son applicabilité dans différents contextes institutionnels, notamment au sein des économies émergentes et des pays du Sud global.

2.18.2. Perspectives et protocole empirique

- Programme de recherche en trois horizons temporels

Les limites identifiées en section 7 dessinent un programme de recherche structuré en trois horizons temporels et en cinq axes prioritaires.

Tableau XV. Programme de recherche structuré

Horizon	Échéance	Axe prioritaire	Objectif
Court terme	1–2 ans	Validation quantitative du MGRTE	Test des H1–H5 par SEM dans un secteur pilote
Moyen terme	3–5 ans	Validation multisectorielle comparative	Extension à 4 secteurs et 3 zones géographiques
Long terme	5–10 ans	Institutionnalisation et co-construction	Intégration du MGRTE dans des politiques publiques africaines

- Protocole empirique de validation sectorielle du MGRTE.

Architecture générale du protocole

Nous proposons un protocole empirique en quatre phases pour tester le MGRTE dans quatre secteurs technologiques distincts : l'intelligence artificielle (IA), la santé numérique, les biotechnologies agricoles et les énergies renouvelables. Ce protocole est conçu pour être déployé simultanément dans trois zones géographiques (Afrique subsaharienne, Europe, Asie du Sud-Est) afin de tester la sensibilité contextuelle du modèle.

Tableau XVI. Feuille de route de validation empirique et de généralisation du Modèle de Gouvernance Responsable des Technologies Émergentes (MGRTE)

Phase	Objectif principal	Activités clés	Méthodes	Durée
Phase 1	Adaptation sectorielle des instruments de mesure	Validation des échelles, prétests, contextualisation	Revue d'experts, pré-enquête	6 mois
Phase 2	Collecte des données	Administration du questionnaire et réalisation des entretiens	Méthode mixte	12 mois
Phase 3	Validation empirique du MGRTE	Analyse structurelle, tests des hypothèses H1 à H5	SEM, médiation, modération	6 mois
Phase 4	Généralisation analytique	Comparaison intersectorielle et recommandations	Analyse comparative	6 mois

Phase 1 : Adaptation sectorielle des instruments de mesure (Mois 1–6) : Chacun des quatre secteurs requiert une adaptation contextuelle des indicateurs de mesure des construits D1–D4, MTRD, CI et EGR, tout en préservant la structure latente commune, ce qui permet la comparabilité intersectorielle.

Tableau XVII. Adaptation sectorielle des indicateurs par construit

Construit	IA	Santé numérique	Biotechnologies agricoles	Énergie renouvelable
D1 Anticipation techno-éthique	Évaluation des biais algorithmiques ; études d'impact sur les droits fondamentaux ; cartographie des risques d'automatisation	Évaluation des risques de confidentialité des données de santé ; anticipation des inégalités d'accès aux soins numériques	Évaluation des risques biosécuritaires ; anticipation des effets sur la biodiversité ; étude d'impact sur les savoirs agricoles locaux	Évaluation des impacts environnementaux des installations ; anticipation des effets sur les communautés riveraines
D2 Responsabilité institutionnelle	Clarté des responsabilités entre développeurs, déployeurs et régulateurs IA ; conformité au règlement IA européen ou équivalent	Attribution des responsabilités entre prestataires de télémédecine, hôpitaux et régulateurs sanitaires	Répartition des responsabilités entre semenciers, agriculteurs, États et organisations régionales (ex. UA)	Responsabilités entre opérateurs privés, États, communautés locales et bailleurs internationaux
D3 Apprentissage adaptatif	Fréquence des audits algorithmiques ; révision des modèles en fonction des effets discriminatoires observés	Révision des protocoles de télémédecine basée sur les données de résultats cliniques	Adaptation des réglementations biosécuritaires selon les effets agronomiques observés	Révision des modèles de déploiement selon les effets sociaux et environnementaux documentés
D4 Inclusivité délibérative	Participation des communautés affectées par l'automatisation ; inclusion des groupes vulnérables dans la conception des systèmes IA	Implication des patients, associations de malades et communautés rurales dans la conception des dispositifs de santé numérique	Participation des agriculteurs, des femmes rurales et des organisations paysannes aux décisions de gouvernance biotechnologique	Consultation des communautés locales sur les sites d'implantation ; intégration des savoirs énergétiques traditionnels
EGR Efficacité globale	Score composite IA responsable (alignement sur les principes UNESCO, OCDE)	Score composite santé numérique responsable	Score composite biosécurité et souveraineté alimentaire	Score composite transition énergétique juste

Phase 2 : Collecte des données (Mois 7–18) : Stratégie d'échantillonnage :

La collecte de données mobilisera une stratégie multi-sources et multi-niveaux :

- Niveau organisationnel : questionnaire administré auprès de 300 organisations par secteur (soit 1 200 organisations au total), réparties équitablement entre les trois zones géographiques (100 par zone et par secteur). L'unité de réponse est le responsable de la gouvernance, de l'innovation ou de la conformité réglementaire.

- Niveau expert : entretiens semi-directifs avec 60 experts sectoriels (15 par secteur), sélectionnés selon les mêmes critères que ceux du panel Delphi, afin d'approfondir les mécanismes causaux identifiés par le questionnaire.

- Niveau documentaire : analyse de 48 documents de politique sectorielle (12 par secteur : règlements, chartes, rapports d'évaluation) pour la triangulation avec les données primaires.

Tableau XVIII . Protocole de collecte par zone

Zone	Modalité de collecte	Langue	Partenaires institutionnels
Afrique subsaharienne	Questionnaire en ligne + entretiens en présentiel	français, anglais, portugais	Universités partenaires + réseaux CODESRIA, AAU
Europe	Questionnaire en ligne	Anglais, français	Réseaux ERA, institutions Horizon Europe
Asie du Sud-Est	Questionnaire en ligne + entretiens hybrides	Anglais	Réseaux ASEAN, universités partenaires

Phase 3 : Analyse structurelle et test des hypothèses (Mois 19–24)

Méthode d'analyse principale : Modélisation en Équations Structurelles (SEM).

Le test des hypothèses H1–H5 mobilisera la modélisation en équations structurelles selon une approche en deux étapes (Anderson et Gerbing, 1988) :

Étape A : Modèle de mesure (AFC) :

Avant tout test des hypothèses, une Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC) sera conduite pour chaque construit afin de vérifier :

- La fiabilité des construits : Alpha de Cronbach ≥ 0,70 ; fiabilité composite (ρc) ≥ 0,70.
- La validité convergente : Average Variance Extracted (AVE) ≥ 0,50.
- La validité discriminante : AVE > corrélation au carré entre construits (critère de Fornell et Larcker, 1981).

Tableau XIX. Modèle structurel (test des hypothèses) :

Hypothèse	Méthode de test	Logiciel	Critère de confirmation
H1 Complémentarité systémique	SEM avec terme d'interaction multiplicatif (VI_comp)	AMOS / R (lavaan)	β(VI_comp) > Σβ(Di) ; p < 0,05 ; RMSEA < 0,08
H2 Médiation MTRD	Bootstrap médiation (5000 iterations)	PROCESS macro (Hayes, 2018)	IC Bootstrap 95 % exclut 0
H3 Modération par CI	Régression hiérarchique + analyse pentes simples	SPSS / R	β(D2×CI) > 0 ; ΔR^2 significatif
H3a Compensation MTRD	Modération-médiation PROCESS modèle n°7	PROCESS macro	IC conditionnel exclut 0 pour CI faible
H4 Rétroaction D4→D3	SEM avec boucle récursive contrainte	R (lavaan)	β(D4×Décent) significatif ; fit indices acceptables
H5 MTRD → LP → AS	Modération-médiation PROCESS modèle n°14	PROCESS macro	Index mod-méd significatif ; IC Bootstrap exclut 0

Tableau XX. Indices d'ajustement retenus pour le SEM global :

Indice	Seuil acceptable	Seuil excellent
Chi²/ddl	< 5	< 3
RMSEA	< 0,08	< 0,05
CFI	> 0,90	> 0,95
TLI	> 0,90	> 0,95
SRMR	< 0,08	< 0,05

Phase 4 : Comparaison intersectorielle et recommandations (Mois 25–30).

La phase comparative visera à répondre à trois questions de recherche (QR) complémentaires :
QR1 : Les coefficients des relations structurelles H1–H5 varient-ils de manière significative selon le secteur technologique ? (Invariance de mesure et structurelle inter-sectorielle)
QR2 : Les coefficients varient-ils selon la zone géographique, en particulier entre les contextes africains et non africains ? (Modération contextuelle géographique)
QR3 : Existe-t-il des configurations sectorielles × géographiques particulièrement favorables ou défavorables à l'efficacité du MGRTE ? (Analyse de configuration par QCA - Qualitative Comparative Analysis).

Tableau XXI. Matrice sectorielle × géographique du protocole empirique

	Afrique subsaharienne	Europe	Asie du Sud-Est
Intelligence artificielle	Gouvernance IA nationale (ex. Rwanda, Sénégal)	Régulation IA (EU AI Act)	Gouvernance IA (Singapour, Vietnam)
Santé numérique	Télémédecine rurale (Afrique de l'Ouest)	Dossier médical partagé (France, Belgique)	Santé mobile (Inde, Philippines)
Biotechnologies agricoles	OGM et biosécurité (COMESA, CEDEAO)	Règlementation OGM (EFSA)	Biotechnologies rizicoles (IRRI)
Énergie renouvelable	Solaire off-grid (Afrique centrale, orientale)	Transition énergétique (Green Deal)	Énergie solaire et éolienne (ASEAN)

- Perspectives de co-construction avec les praticiens africains.

Au-delà de la validation empirique quantitative, nous identifions une perspective de recherche-action participative comme un axe complémentaire indispensable. La limite épistémique fondamentale du MGRTE, sa construction partielle à partir des catégories de la littérature dominante, ne peut être surmontée que par une démarche de co-construction avec des praticiens africains de la gouvernance technologique. Cette démarche implique :

a. Des ateliers de co-design dans au moins trois contextes africains distincts (Afrique de l'Ouest, centrale et orientale), réunissant des praticiens, des décideurs, des représentants de communautés affectées et des chercheurs locaux, pour tester la résonance du MGRTE avec les réalités vécues et l'enrichir de catégories endogènes.

b. Une démarche de recherche-action dans deux ou trois organisations africaines pionnières en gouvernance technologique responsable, permettant de documenter en temps réel les mécanismes du MTRD et d'en affiner la formalisation théorique.

c. Une publication collaborative associant des auteurs africains majoritaires, afin de contribuer à la décolonisation de la production scientifique sur la gouvernance technologique, en cohérence avec les travaux de Mignenan & Moussa (2024) et Mignenan (2025).

- Perspectives d'institutionnalisation du MGRTE

À l'horizon de cinq à dix ans, si les phases de validation empirique confirment la robustesse du MGRTE, trois perspectives d'institutionnalisation sont envisagées :

Perspective 1 : Outil d'évaluation politique : Développement d'un indice composite de gouvernance responsable des technologies émergentes (IGRTE) permettant aux États et organisations internationales d'évaluer annuellement leurs systèmes de gouvernance technologique selon les quatre dimensions du MGRTE.

Perspective 2 : Standard de gouvernance sectorielle : Contribution à l'élaboration de standards sectoriels de gouvernance responsable pour l'IA, la santé numérique et les biotechnologies agricoles en Afrique, en partenariat avec l'Union africaine, la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA) et les communautés économiques régionales.

Perspective 3 : Programme de formation : Conception d'un programme de formation certifiant en gouvernance responsable des technologies émergentes destiné aux décideurs africains, articulant les quatre dimensions du MGRTE et le mécanisme MTRD dans

des modules opérationnels adaptés aux contraintes institutionnelles des contextes à faible densité réglementaire

3. Conclusion

L'accélération des technologies émergentes transforme profondément les conditions de production, de régulation et d'appropriation de l'innovation. Dans ce contexte, les cadres traditionnels de gouvernance apparaissent souvent insuffisants pour répondre simultanément aux exigences d'efficacité, de responsabilité, de légitimité et d'adaptation. Partant de ce constat, cette recherche avait pour objectif de proposer un cadre conceptuel capable d'intégrer ces exigences au sein d'une architecture de gouvernance responsable cohérente.

Les résultats issus de la revue systématique de la littérature, de l'analyse comparative des initiatives de gouvernance et de la validation Delphi convergent vers une conclusion centrale : la gouvernance responsable des technologies émergentes ne doit pas être envisagée comme un état d'équilibre à atteindre, mais comme un processus dynamique de régulation des tensions qui traversent les systèmes sociotechniques contemporains. Cette dynamique se manifeste notamment par les tensions entre anticipation et adaptation, entre responsabilité institutionnelle et inclusivité délibérative, ainsi qu'entre stabilité réglementaire et innovation. Le principal apport du Modèle de Gouvernance Responsable des Technologies Émergentes réside précisément dans sa capacité à conceptualiser ces tensions comme des ressources productives de gouvernance plutôt que comme des dysfonctionnements à éliminer.

Cette recherche apporte trois contributions théoriques majeures. Premièrement, elle propose un cadre intégratif articulant de manière systémique les dimensions de l'anticipation techno-éthique, de la responsabilité institutionnelle distribuée, de l'apprentissage adaptatif et de l'inclusivité délibérative. Deuxièmement, elle introduit le Mécanisme de Régulation Dynamique de la Tension comme mécanisme explicatif central permettant de comprendre comment les tensions peuvent être transformées en apprentissage collectif, en coordination institutionnelle et en légitimité procédurale. Troisièmement, elle enrichit les travaux sur la gouvernance technologique en démontrant que les contextes institutionnellement fragiles, notamment africains, ne constituent pas uniquement des terrains d'application des théories existantes, mais aussi des sources de développement théorique et d'innovation conceptuelle.

Les implications pratiques du modèle sont également importantes. Pour les décideurs publics, le MGRTE offre un cadre d'analyse permettant d'identifier les déséquilibres de gouvernance et de renforcer la cohérence des dispositifs institutionnels. Pour les organisations privées et les agences d'innovation, il fournit un outil d'aide à la décision pour gérer les tensions entre la performance, la responsabilité et l'acceptabilité sociale. Enfin, dans les contextes africains et, plus largement, dans les économies émergentes, le modèle propose des mécanismes susceptibles de renforcer les capacités de gouvernance sans reproduire mécaniquement des arrangements institutionnels importés de contextes différents.

Malgré ces apports, plusieurs limites demeurent. Le modèle repose principalement sur une validation conceptuelle et des évaluations d'experts. Les relations causales proposées n'ont pas encore été testées empiriquement à grande échelle. De plus, certaines variables contextuelles, telles que les asymétries de pouvoir, les phénomènes de capture réglementaire ou les contraintes géopolitiques internationales, demeurent partiellement extérieures à l'architecture du modèle. Ces limites constituent autant d'opportunités pour les recherches futures.

Dans cette perspective, plusieurs pistes méritent d'être explorées. Les hypothèses H1 à H5 devront être soumises à des tests empiriques fondés sur des modèles d'équations structurelles et sur des données longitudinales multi-pays. L'analyse comparative pourra être étendue à un corpus plus vaste d'initiatives afin de consolider la taxonomie proposée. Des études de cas approfondies menées dans différents contextes africains permettront également d'examiner les conditions concrètes d'activation du MTRD et d'évaluer sa capacité à soutenir des trajectoires de gouvernance adaptées aux réalités locales.

En définitive, cette recherche défend l'idée que la gouvernance des technologies émergentes ne peut plus être réduite à une fonction de contrôle ou de conformité réglementaire. Elle doit être comprise comme une capacité collective d'apprentissage, de délibération et de régulation continue permettant aux sociétés de maîtriser les opportunités et les risques associés aux transformations technologiques. À ce titre, le MGRTE constitue moins un modèle achevé qu'un programme de recherche ouvert destiné à accompagner l'évolution des systèmes de gouvernance dans un monde marqué par

l'incertitude, la complexité et l'accélération des innovations.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres du panel international de 34 experts, sollicités dans le cadre de la consultation Delphi modifiée, pour leurs analyses et leurs recommandations. Leurs contributions, notamment celles des experts ayant répondu aux deux tours, ont permis de préciser le contenu et la cohérence du Modèle de gouvernance responsable des technologies émergentes (MGRTE). Les auteurs remercient également la personne ayant participé à l'arbitrage indépendant des divergences de codage des initiatives étudiées.

Financement

Cette recherche n'a bénéficié d'aucun financement externe. Les travaux ont été réalisés dans le cadre des activités scientifiques des auteurs.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts financier, professionnels ou personnel susceptible d'avoir influencé la conception, la réalisation, l'analyse ou la présentation de cette recherche.

Considérations éthiques

Cette recherche repose sur une revue systématique de publications scientifiques, une analyse comparative de documents relatifs à douze initiatives de gouvernance et une consultation Delphi modifiée auprès d'un panel international de 34 experts. Les résultats de la consultation sont communiqués sous forme agrégée ; les rétroactions présentées aux experts entre les deux tours l'ont été sous une forme anonymisée

Contribution des auteurs

V.M. : conceptualisation du cadre MGRTE et du mécanisme de tension-régulation dynamique ; élaboration méthodologique ; analyse documentaire et comparative ; analyse et interprétation des résultats ; rédaction de la version initiale du manuscrit.

B.M. : contribution méthodologique ; codage indépendant et validation des analyses ; interprétation critique des résultats ; révision et amélioration scientifique du manuscrit. Les deux auteurs ont contribué au codage indépendant des sources et des douze initiatives étudiées.

ORCID des Auteurs

Mignenan V. : https://orcid.org/0000-0002-5628-1601.

Meddeb B. :N/A

Références bibliographiques

Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). *Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty*. Crown Business.

Asongu, S. A., & Nwachukwu, J. C. (2016). The role of governance in mobile phones for inclusive human development in Sub-Saharan Africa. *Technovation, 55–56*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2016.04.002

Burget, M., Bardone, E., & Pedaste, M. (2017). Definitions and conceptual dimensions of responsible research and innovation: A literature review. *Science and Engineering Ethics, 23*(1), 1–19. https://doi.org/10.1007/s11948-016-9782-1

Coeckelbergh, M. (2020). *AI ethics*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/12549.001.0001

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.

Dafoe, A. (2018). *AI governance: A research agenda*. Future of Humanity Institute, University of Oxford. https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/GovAI-Agenda.pdf

DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review, 48*(2), 147–160. https://doi.org/10.2307/2095101

Dryzek, J. S., Bächtiger, A., Chambers, S., Cohen, J., Druckman, J. N., Felicetti, A., Fishkin, J. S., Farrell, D. M., Fung, A., Gutmann, A., Landemore, H., Mansbridge, J., Marien, S., Neblo, M. A., Niemeyer, S., Setälä, M., Slothuus, R., Suiter, J., Thompson, D. F., & Warren, M. E. (2019). The crisis of democracy and the science of deliberation. *Science, 363*(6432), 1144–1146. https://doi.org/10.1126/science.aaw2694

Edquist, C. (2005). Systems of innovation: Perspectives and challenges. In J. Fagerberg, D. C. Mowery, & R. R. Nelson (Eds.), *The Oxford handbook of innovation* (pp. 181–208). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007

European Commission. (2021). *Horizon Europe strategic plan 2021–2024*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/083753

Felt, U., Fouché, R., Miller, C. A., & Smith-Doerr, L. (Eds.). (2017). *The handbook of science and technology studies* (4th ed.). MIT Press.

Flipse, S. M., van der Sanden, M. C. A., & Osseweijer, P. (2014). Improving industrial R&D practices with social and ethical aspects: Aligning key performance indicators with social and ethical aspects in food technology R&D. *Technological Forecasting and Social Change*, *85*, 185–197. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.009

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, *28*(4), 689–707. https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5

Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, *30*, 441–473. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511

Friedman, B., Kahn, P. H., Jr., & Borning, A. (2013). Value sensitive design and information systems. In N. Doorn, D. Schuurbiers, I. van de Poel, & M. E. Gorman (Eds.), *Early engagement and new technologies: Opening up the laboratory* (pp. 55–95). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7844-3_4

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, *31*(8–9), 1257–1274. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8

Genus, A., & Coles, A.-M. (2008). Rethinking the multi-level perspective of technological transitions. *Research Policy*, *37*(9), 1436–1445. https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.05.006

Hall, P. A., & Soskice, D. (Eds.). (2001). *Varieties of capitalism: The institutional foundations of comparative advantage*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/0199247757.001.0001

Hasson, F., & Keeney, S. (2011). Enhancing rigour in the Delphi technique research. *Technological Forecasting and Social Change*, *78*(9), 1695–1704. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.04.005

Jasanoff, S. (2004). *States of knowledge: The co-production of science and social order*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203413845

Jasanoff, S. (2016). *The ethics of invention: Technology and the human future*. W. W. Norton.

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, *1*, 389–399. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2

Kalaian, S. A., & Kasim, R. M. (2012). Terminating sequential Delphi survey data collection. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, *17*(5), 1–10. https://doi.org/10.7275/b45q-rv29

Lundvall, B.-Å. (Ed.). (1992). *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Pinter.

Macnaghten, P., Owen, R., Stilgoe, J., Wynne, B., Azevedo, A., de Campos, A., Chilvers, J., Dagnino, R., di Giulio, G., Frow, E., Garvey, B., Groves, C., Hartley, S., Knobel, M., Kobayashi, E., Lehtonen, M., Lezaun, J., Mello, L., Monteiro, M., . . . Velho, L. (2014). Responsible innovation across borders: Tensions, paradoxes and possibilities. *Journal of Responsible Innovation*, *1*(2), 191–199. https://doi.org/10.1080/23299460.2014.922249

Mawere, M., Ndofirepi, A. P., & Sagiya, M. E. (Eds.). (2021). *Technology, society and sustainability: Selected concepts, issues and cases from Africa*. Langaa RPCIG.

Mignenan, V. (2025). Responsible innovation project management: Between resilience and sustainability in the African context. In N. R. Vajjhala & K. D. Strang (Eds.), *Project management for European, Asian and African practitioners—Theory and technique examples in selected professions* (pp. 101–129). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-77806-3

Mignenan, V., & Moussa, M. A. (2026). Management de projet d'innovation responsable : entre résilience et durabilité dans le contexte africain [Responsible innovation project management: Between resilience and sustainability in the African context]. *Revue Congolaise de Gestion*, *41*(1), 113–174. https://doi.org/10.3917/rcg.041.0113

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.

Miron-Spektor, E., Ingram, A. E., Keller, J., Smith, W. K., & Lewis, M. W. (2018). Microfoundations of organizational paradox: The problem is how we think about the problem. *Academy of Management Journal*, *61*(1), 26–45. https://doi.org/10.5465/amj.2016.0594

Mohamed, S., Png, M.-T., & Isaac, W. (2020). Decolonial AI: Decolonial theory as sociotechnical foresight in artificial intelligence. *Philosophy & Technology*, *33*, 659–684. https://doi.org/10.1007/s13347-020-00405-8

Murphy, M. K., Black, N. A., Lamping, D. L., McKee, C. M., Sanderson, C. F. B., Askham, J., & Marteau, T. (1998). Consensus development methods, and their use in clinical guideline development. *Health Technology Assessment, 2*(3), 1–88. https://doi.org/10.3310/hta2030

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678

Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763

Ostrom, E. (2010). Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. *American Economic Review, 100*(3), 641–672. https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641

Owen, R., Macnaghten, P., & Stilgoe, J. (2012). Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. *Science and Public Policy, 39*(6), 751–760. https://doi.org/10.1093/scipol/scs093

Owen, R., Pansera, M., Macnaghten, P., & Randles, S. (2021). Organisational institutionalisation of responsible innovation. *Research Policy, 50*(1), Article 104132. https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104132

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, Article n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pellé, S., & Reber, B. (2022). *Responsible innovation: From concept to practice*. ISTE/Wiley.

Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. In S. Rayner & E. L. Malone (Eds.), *Human choice and climate change* (Vol. 2, pp. 327–399). Battelle Press.

Schot, J., & Steinmueller, W. E. (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy, 47*(9), 1554–1567. https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011

Scott, W. R. (2014). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (4th ed.). SAGE Publications.

Smith, W. K., & Lewis, M. W. (2011). Toward a theory of paradox: A dynamic equilibrium model of organizing. *Academy of Management Review, 36*(2), 381–403. https://doi.org/10.5465/amr.2009.0223

Sovacool, B. K., Turnheim, B., Hook, A., Brock, A., & Martiskainen, M. (2021). Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways. *World Development, 137*, Article 105116. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105116

Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy, 42*(9), 1568–1580. https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008

Tyler, T. R. (2006). *Why people obey the law* (2nd ed.). Princeton University Press. https://doi.org/10.1515/9781400828604

van de Poel, I., Asveld, L., Flipse, S., Klaassen, P., Scholten, V., & Yaghmaei, E. (2017). Company strategies for responsible research and innovation (RRI): A conceptual model. *Sustainability, 9*(11), Article 2045. https://doi.org/10.3390/su9112045

van de Poel, I., Sand, M., & Royakkers, L. (2020). Ethics and engineering. In D. P. Michelfelder & N. Doorn (Eds.), *The Routledge handbook of the philosophy of engineering* (pp. 431–445). Routledge.

Vayena, E., Blasimme, A., & Cohen, I. G. (2018). Machine learning in medicine: Addressing ethical challenges. *PLOS Medicine, 15*(11), Article e1002689. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002689