



Université du Québec
à Rimouski

INCIDENCE DE LA GESTION DURABLE DES PROJETS DE CONSTRUCTION SUR LA RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de projet (avec mémoire)

en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

PAR

© **Oussama Benallal**

Mars 2025

Composition du jury :

Andrée-Anne Deschênes, présidente du jury, Université du Québec à Rimouski

Olivier Choinière, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Catherine Roy, examinatrice externe, MAPAQ

Dépôt initial le 09-12-2024

Dépôt final le 17-03-2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Avant tout, je remercie Allah pour m'avoir accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation. Mes sincères remerciements vont à mon directeur de recherche, M. Olivier Choinière, pour son encadrement éclairé, ses conseils précieux et son soutien constant tout au long de ce mémoire de recherche.

J'adresse également mes remerciements à l'ensemble des enseignants qui, par leurs enseignements et leurs orientations, ont enrichi mes réflexions.

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille pour leur soutien inconditionnel. Leur présence et leurs encouragements ont été pour moi une source inestimable de motivation.

RÉSUMÉ

L'industrie de la construction joue un rôle essentiel dans le développement économique mondial, mais elle est aussi l'une des principales sources d'émissions de gaz à effet de serre. Face aux enjeux environnementaux croissants, il devient impératif d'adopter des pratiques de gestion durable de projets pour réduire l'empreinte carbone des projets de construction. Ce mémoire examine les approches novatrices visant à concilier développement économique et préservation de l'environnement. Cette recherche est divisée en plusieurs chapitres qui examinent l'incidence de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone. La première partie présente une revue de la littérature sur les concepts clés du sujet. L'analyse bibliométrique, basée sur les outils VOSviewer et SciMAT, met en lumière les principales tendances et évolutions dans ce domaine. Enfin, une analyse de contenu approfondie des articles sélectionnés identifie les pratiques les plus efficaces et les obstacles à leur adoption.

Mots clés : Gestion durable de projets, industrie de construction, empreinte carbone.

ABSTRACT

The construction industry plays a vital role in global economic development, but it is also one of the main sources of greenhouse gas emissions. In the face of growing environmental challenges, it is becoming imperative to adopt sustainable management practices to reduce the carbon footprint of construction projects. This thesis examines innovative approaches to reconcile economic development and environmental preservation. This research is divided into several chapters, each analyzing the impact of sustainable management of construction projects on reducing the carbon footprint. The first part presents a literature review on the key concepts of the subject. A bibliometric analysis, using VOSviewer and SciMAT tools, highlights the main trends and developments in this field. Finally, an in-depth content analysis of the selected articles identifies the most effective practices and the barriers to their adoption.

Keywords: Sustainable project management, construction industry, carbon footprint.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	vii
RÉSUMÉ.....	ix
ABSTRACT.....	xi
TABLE DES MATIÈRES.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xvi
LISTE DES FIGURES.....	xviii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xx
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE.....	6
1.1 GESTION DURABLE DES PROJETS.....	6
1.2 PROJETS DE CONSTRUCTION DURABLE.....	7
1.3 REDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE.....	8
1.4 ANALYSE DE CYCLE DE VIE.....	10
1.5 NORMES ET CERTIFICATIONS ENVIRONNEMENTALES.....	10
1.6 INNOVATION ET TECHNOLOGIES VERTES.....	12
1.7 PARTIES PRENANTES ET GOUVERNANCE.....	13
CHAPITRE 2 CADRE CONCEPTUEL.....	15
2.1 OBJET, QUESTION ET OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	15
2.1.1 Objet de la recherche.....	15
2.1.2 Question de recherche.....	15
2.1.3 Objectifs de recherche.....	15
2.2 CADRE CONCEPTUEL.....	16

CHAPITRE 3 METHODOLOGIE DE RECHERCHE	21
3.1 POSTURE EPISTEMOLOGIQUE	21
3.2 APPROCHE DE RECHERCHE	21
3.3 METHODE DE RECHERCHE UTILISEE	22
3.4 PERIODE DE L'ETUDE.....	22
3.5 CRITERES D'INCLUSION/EXCLUSION.....	23
3.6 INSTRUMENTS DE MESURE UTILISES	23
3.6.1 Analyse bibliométrique.....	23
3.6.2 Analyse de contenu	26
3.7 PROCEDURES DE COLLECTE DE DONNEES	26
3.8 CADRE ETHIQUE DE LA RECHERCHE.....	27
CHAPITRE 4 COLLECTE DE DONNÉES, ANALYSE ET RESULTATS.....	28
4.1 ANALYSE BIBLIOMETRIQUE.....	28
4.1.1 Analyse avec VOSviewer	32
4.1.2 Analyse avec SCIMAT	41
4.2 ANALYSE DE CONTENU.....	51
4.2.1 Thèmes principaux.....	51
4.2.1.1 Pratiques de gestion durable des projets :	57
4.2.1.2 Réduction de l'empreinte carbone.....	67
4.2.1.3 Défis et obstacles à la mise en œuvre	72
4.2.1.4 Efficacité des pratiques	76
4.2.1.5 Innovations et tendances émergentes.....	78
4.2.1.6 Gouvernance et gestion des parties prenantes	82
CHAPITRE 5 DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	85
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	88
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	94

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Interprétation du diagramme stratégique.....	25
Tableau 2	Résultats de recherche documentaire et sélection d'articles scientifiques	30
Tableau 3	Synthèse des résultats de l'analyse de contenu : Thèmes et sous-thèmes clés liés à la gestion durable des projets de construction.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cadre conceptuel.....	19
Figure 2. Nombre de documents publiés par année sur la base de données Web of science.....	32
Figure 3. Visualisation du réseau des mots-clés retenus.....	33
Figure 4. Visualisation du réseau de l'agrégat 1.....	34
Figure 5. Visualisation du réseau de l'agrégat 2.....	35
Figure 6. Visualisation du réseau de l'agrégat 3.....	37
Figure 7. Visualisation du réseau de l'agrégat 4.....	38
Figure 8. Visualisation de superposition “ <i>overlay visualization</i> ”.....	39
Figure 9. Carte superposée “ <i>Overlapping map</i> ”.....	41
Figure 10. Diagramme stratégique de la première période (1993-2004). Paramètres de la période : Fréquence minimale (2) Cooccurrence minimale (2).....	43
Figure 11. Visualisation de l'agrégat “ <i>Sustainable development</i> ”.....	44
Figure 12. Diagramme stratégique de la deuxième période (2005-2014). Paramètres de la période : Fréquence minimale (3) Cooccurrence minimale (2).....	45
Figure 13. Visualisation de l'agrégat “ <i>Project-management</i> ”.....	46
Figure 14. Visualisation de l'agrégat “ <i>Model</i> ”.....	47
Figure 15. Diagramme stratégique de la troisième période (2015-2024). Paramètres de la période : Fréquence minimale (3) Cooccurrence minimale (4).....	48
Figure 16. Visualisation de l'agrégat “ <i>Performance</i> ”.....	49
Figure 17. Visualisation de l'agrégat “ <i>Barriers</i> ”.....	50

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ACV	Analyse du cycle de vie
AFE	Analyse factorielle exploratoire
BIM	<i>Building information modeling</i>
BREEAM	<i>Building research establishment environmental assessment method</i>
CO₂	Dioxyde de carbone
GDP	Gestion durable des projets
GP	Gestion de projet
GES	Gaz à effet de serre
IA	Intelligence artificielle
IoT	Internet des objets
LEED	<i>Leadership in energy and environmental design</i>
RFID	<i>Radio-frequency identification</i>
SIG	Système d'information géographique

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'incidence environnementale de l'industrie de la construction a longtemps été négligée, mais au fil des décennies, la prise de conscience des effets du changement climatique a conduit à une réévaluation de ces pratiques. Dès les années 1970, la crise énergétique a mis en lumière la nécessité de repenser l'efficacité énergétique dans la construction. Cependant, ce n'est qu'avec la publication du Rapport Brundtland en 1987 que le concept de développement durable a véritablement pénétré les pratiques industrielles, y compris la construction. Le rapport définissait le développement durable comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Imperatives, 1987, p.41). Selon Kibert (1994), pionnier dans ce domaine, la construction durable nécessite une approche systémique qui intègre des considérations environnementales dès les phases initiales de planification des projets. Il a également souligné l'importance de l'engagement des parties prenantes dans la réussite des projets durables. Les premières recherches sur la gestion durable des projets (GDP) ont mis en évidence l'importance de l'approche intégrée dans la planification et la réalisation des projets (Hill & Bowen, 1997).

L'intégration de pratiques de gestion durable dès les premières phases d'un projet est essentielle pour mieux anticiper et réduire les conséquences environnementales. Cette approche proactive est primordiale pour répondre aux défis environnementaux actuels (Robichaud & Anantamula, 2011). La GDP de construction est désormais centrale pour réduire l'empreinte carbone, un objectif clé dans la lutte contre le changement climatique. Selon Zubair et al. (2024), plus de 39 % des émissions annuelles de carbone dans le monde sont causées par l'industrie de la construction, ce qui souligne l'urgence d'adopter des pratiques de gestion durable des projets pour atténuer ces conséquences. Par ailleurs,

l'intégration de l'évaluation du cycle de vie dans la conception des bâtiments, illustrée par Russell-Smith & Lepech (2015), souligne l'importance de considérer les émissions dès les premières phases du projet pour atteindre les objectifs de durabilité. De même, Ershadi & Goodarzi (2021) identifient les compétences essentielles que doivent développer les gestionnaires de projet pour intégrer efficacement les objectifs de durabilité dans leur travail quotidien, notamment la capacité à aligner les objectifs environnementaux avec les contraintes de temps et de budget.

La GDP nécessite une compréhension approfondie des interactions complexes entre les parties prenantes, les processus de construction et les technologies utilisées (Jiang et al., 2023). La gestion des parties prenantes, comme le soulignent Wu et al. (2023), est un autre aspect fondamental. L'engagement des parties prenantes est un facteur clé de succès pour tout projet durable, car il garantit l'adhésion des différents acteurs aux objectifs environnementaux et permet de surmonter les résistances potentielles.

L'incidence potentielle de l'intelligence artificielle (IA) sur l'analyse de l'empreinte carbone dans l'industrie de la construction est explorée par Mésároš et al. (2024) qui proposent des méthodes avancées pour évaluer et réduire les émissions. D'autres recherches, telles que l'étude réalisée par Shukra & Zhou (2021), mettent en évidence l'importance d'une approche intégrée pour la gestion durable des projets de construction, en utilisant des outils comme le BIM (Building Information Modeling) vert pour une meilleure gestion du cycle de vie. L'évaluation de l'empreinte carbone des infrastructures souterraines, telle que présentée par Chen et al. (2024) souligne l'importance de la numérisation pour une évaluation plus précise des émissions de carbone dans les projets de creusement de tunnels. Cette approche numérique est également mise en avant dans le cadre de l'utilisation de BIM et SIG (Système d'Information Géographique) pour une évaluation du cycle de vie, comme le détaille Zubair et al. (2024), qui démontrent comment ces outils peuvent renforcer l'éco-efficacité et la

durabilité des projets de construction. L'article présenté par Kim et al. (2015) illustre bien comment un système intégré de gestion du CO2, des coûts et des délais peut contribuer à atteindre les objectifs de durabilité des projets tout en respectant les contraintes budgétaires et temporelles.

La gestion de l'information est également primordiale pour le succès des projets durables. León-Romero et al. (2024) mettent en lumière l'importance d'un système d'information intégré pour assurer une coordination efficace et une prise de décision éclairée. Par ailleurs, l'intégration de la technologie RFID (*Radio-frequency identification*) pour la gestion des petits projets de construction, souligné par Waqar et al. (2023), facilite la traçabilité des matériaux et contribue à l'amélioration des pratiques de gestion durable des projets.

L'optimisation des pratiques de gestion des déchets est un autre aspect clé de la durabilité dans les projets de construction. Des études comme celle de Nezhaddehghan et al. (2023) démontrent comment des systèmes de soutien à la décision hybrides peuvent améliorer la gestion des déchets dans les projets de grande envergure. De plus, Nawaz et al. (2023) explorent les pratiques critiques de gestion de projet (GP) qui influencent la minimisation des déchets de construction et de démolition, soulignant l'importance d'une approche proactive pour réduire les conséquences environnementales. Les projets de restauration écologique, comme analysé par Yu et al. (2023), montrent également comment des interventions ciblées peuvent contribuer à la réduction de l'empreinte carbone dans des écosystèmes spécifiques. De plus, l'adoption de la méthodologie Lean, décrite par Li et al. (2024), a également démontré son efficacité pour améliorer la performance des projets tout en réduisant les déchets et les émissions de carbone, notamment dans les projets de bâtiments préfabriqués.

Cependant, malgré les avancées dans le domaine, la mise en œuvre des pratiques durables dans la gestion de projet de construction rencontre encore de nombreux obstacles. Fathalizadeh et al. (2022) mettent en lumière les défis auxquels sont confrontés les gestionnaires de projet, détaillant les nombreuses barrières qui freinent l'adoption de ces pratiques, telles que les limitations réglementaires, les contraintes économiques et le manque de sensibilisation. Le concept de la gestion de projet de construction durable est exploré dans plusieurs contextes internationaux, comme le montre Wang (2021). Ce dernier met en évidence les pratiques variées et les défis rencontrés dans différents pays, soulignant l'importance de la gestion de la valeur et de l'engagement des parties prenantes pour réussir dans ce domaine.

La question de recherche qui guidera notre étude est la suivante : Comment les pratiques de GDP peuvent-elles être optimisées pour réduire l'empreinte carbone des projets de construction, tout en surmontant les obstacles identifiés et en intégrant les innovations technologiques et méthodologiques disponibles ? Bien que les principes de durabilité soient de plus en plus intégrés dans la gestion des projets de construction (Hwang & Tan, 2012), il existe encore des défis importants à surmonter pour aligner pleinement les pratiques de GP avec les objectifs de durabilité. Par ailleurs, Dasovic et al. (2020) suggèrent que l'optimisation de la planification des projets de construction avec une perspective de durabilité reste un domaine sous-exploré, mais crucial pour atteindre des objectifs environnementaux ambitieux. De plus, bien que des études récentes aient exploré l'intégration de la durabilité dans la gestion des projets de construction, il existe encore un manque de consensus sur les méthodes optimales pour surmonter les obstacles identifiés, tels que ceux décrits par Ullah et al. (2024), qui soulignent l'impact différentiel des pressions coercitives et de la responsabilité éthique.

Ainsi, cette recherche vise à combler ces lacunes en expliquant comment une gestion durable bien intégrée peut effectivement contribuer à réduire l’empreinte carbone des projets de construction, tout en abordant les leviers qui peuvent être actionnés pour surmonter les barrières identifiées et maximiser les retombées positives pour ces projets.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Afin de bien situer notre étude, nous proposons dans la section suivante une revue narrative de littérature reprenant les concepts clés de notre question de recherche. Il s'agit de comprendre les différentes facettes de la gestion durable des projets de construction et comment celles-ci peuvent influencer la réduction de l'empreinte carbone. En définissant ces concepts et en explorant leur pertinence dans le contexte actuel, nous visons à fournir un aperçu approfondi des principes et des pratiques qui contribuent à une construction plus écologique et à une gestion des projets plus responsable.

1.1 GESTION DURABLE DES PROJETS

La GDP se définit comme l'intégration systématique des principes de durabilité dans la planification, l'exécution, et la clôture de projets. Elle prend en compte les dimensions environnementales, sociales et économiques pour assurer une influence positive à long terme (Herazo, 2017). Elle vise à minimiser les incidences négatives sur l'environnement tout en maximisant les bénéfices sociaux et économiques. Selon Hwang & Tan (2012), la GDP exige des méthodes proactives et des solutions intégrées pour éviter les compromis entre ces trois piliers. Silvius & Schipper (2014) décrivent la GDP comme une approche holistique qui tient compte non seulement des résultats du projet, mais aussi des moyens par lesquels les organisations les atteignent, en équilibrant les aspects environnementaux, sociaux et économiques. Martens & Carvalho (2017) soulignent que la durabilité dans la gestion de projet exige une approche équilibrée qui prend en compte non seulement le coût et le temps, mais aussi les incidences environnementales et sociales à long terme. Gareis et al. (2013) ajoutent que la dimension environnementale inclut des pratiques telles que l'utilisation

efficace des ressources, la réduction des émissions de carbone, et la gestion des déchets, tandis que la dimension sociale concerne la conséquence sur les communautés locales, la sécurité et la santé au travail, et les droits de l'homme. Enfin, la dimension économique ne se limite pas à la rentabilité immédiate, mais englobe également la création de valeur à long terme pour toutes les parties prenantes. De plus, Goel et al. (2020) indiquent que la gestion durable des projets va au-delà des aspects techniques et inclut la responsabilité éthique dans la conduite des projets, notamment dans les pays en développement. Eid (2009) souligne que l'ajout de critères de durabilité dans la GP nécessite une transformation des pratiques traditionnelles pour inclure des évaluations d'incidence à long terme et une gestion proactive des parties prenantes. En outre, Labuschagne & Brent (2005) affirment que l'évaluation de la durabilité des projets doit se concentrer non seulement sur les aspects économiques, mais également sur les conséquences environnementales et sociales, afin de garantir que les projets ne compromettent pas les ressources futures. L'article présenté par Li et al. (2024) montre comment l'approche Lean, en éliminant les gaspillages et en optimisant les processus, peut servir de catalyseur pour l'amélioration de la durabilité des projets. De plus, Petrelli et al. (2023) soulignent l'importance de l'adoption de pratiques de gestion durables des projets qui affectent positivement la ligne de fond triple, à savoir les aspects économiques, environnementaux, et sociaux. Plus récemment, la notion de réussite des projets intègre désormais une dimension de durabilité environnementale et sociale, impliquant la réduction des conséquences écologiques néfastes, la conformité aux normes légales, ainsi que l'atténuation des disparités intergénérationnelles (Carvalho & Rabechini Jr, 2017).

1.2 PROJETS DE CONSTRUCTION DURABLE

Le secteur de la construction est l'une des principales sources de déprédation environnementale en raison de la fabrication des matériaux de construction et de la consommation d'énergie directe ou indirecte tout au long des phases de construction, d'exploitation et de fin de vie (Zubair et al., 2024). Un projet de construction durable se

distingue par une approche qui favorise l'efficacité énergétique, la minimisation des déchets, l'utilisation de matériaux respectueux de l'environnement et la prise en compte du cycle de vie des bâtiments. Selon Li et al. (2024) les pratiques de préfabrication permettent de diminuer considérablement les déchets de construction et d'optimiser les délais d'exécution, contribuant ainsi à la durabilité des projets. Fowler et al. (2010) soulignent que les bâtiments écologiques fonctionnent mieux que les bâtiments conventionnels en utilisant 25 % d'énergie en moins et 11% en moins d'eau, en libérant 34 % de dioxyde de carbone (CO₂) en moins et en réduisant de plus de 80 millions de tonnes de déchets mis en décharge. Ding (2008) note que les indicateurs de durabilité pour les projets de construction incluent l'analyse du cycle de vie, les certifications vertes comme LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), et l'évaluation des incidences sociales et économiques. Häkkinen & Belloni (2011) soulignent que la mise en œuvre de pratiques de construction écoresponsable nécessite une planification minutieuse dès les premières phases du projet pour intégrer des matériaux durables et des technologies propres. La construction écoresponsable ne se limite pas à l'environnement physique, mais intègre également des considérations sociales, telles que l'engagement avec les communautés locales et la création de conditions de travail sûres et équitables. Zuo & Zhao (2014) affirment que l'adhésion à des pratiques de construction durable n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, mais qu'elle améliore aussi la réputation des entreprises et contribue à une meilleure acceptation par les parties prenantes. De plus, Petrelli et al. (2023) soulignent l'importance d'une GP axée sur l'équilibre entre performance économique, incidence environnementale et bien-être social, appelant à une approche systématique pour intégrer la durabilité dans chaque phase du projet.

1.3 REDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE

L'empreinte carbone des projets de construction représente la quantité totale de gaz à effet de serre (GES) émis directement ou indirectement tout au long du cycle de vie d'un projet, de l'extraction des matériaux à la démolition. Zubair et al. (2024) affirment que

l'augmentation des émissions de GES étant un facteur majeur du changement climatique et étant donné que le secteur de la construction est l'un des principaux producteurs d'émissions de GES, il est essentiel de quantifier et de réduire méticuleusement ses émissions, en particulier dans le contexte des pays en développement. Ramesh et al. (2010) expliquent que la majorité des émissions de carbone dans les bâtiments sont liées à la phase de construction et à l'utilisation des matériaux, soulignant l'importance de choisir des matériaux à faible empreinte carbone. Giesekam et al. (2015) montrent que l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments et l'intégration de sources d'énergie renouvelable sont des stratégies essentielles pour réduire l'empreinte carbone des projets de construction. L'utilisation d'outils comme le *BIM-based Last Planner System* aide également à améliorer la coordination et à optimiser les processus en vue de minimiser les émissions de CO₂ (Heigermoser et al., 2019). Huang et al. (2018) expliquent que la quantification de l'empreinte carbone dans la construction repose sur une analyse du cycle de vie (ACV), qui permet d'évaluer les conséquences environnementales associées à chaque étape du processus de construction. Cabeza et al. (2014) soulignent que l'ACV fournit une vue d'ensemble complète qui aide à identifier les phases les plus impactantes d'un projet et à cibler les efforts de réduction des émissions. Pour minimiser les émissions de GES dans les projets de construction, plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre à chaque étape du cycle de vie du projet. Chau et al. (2015) soulignent l'importance de la gestion efficace des ressources et des matériaux pour réduire les émissions. Ils expliquent que l'application de la logistique verte, qui optimise les chaînes d'approvisionnement et réduit les distances de transport, est une stratégie essentielle pour diminuer les émissions associées aux projets de construction. Peng (2016) mentionne que l'adoption de matériaux recyclés ou d'alternatives moins énergivores peut conduire à des réductions substantielles des émissions de GES. Akadiri et al. (2012) suggèrent que la réduction des déchets de construction et le réemploi des matériaux sont des stratégies efficaces pour minimiser l'empreinte carbone des projets. L'article présenté par Kim et al. (2015) propose un système intégré qui permet de gérer simultanément les émissions de CO₂, les coûts, et les délais, offrant ainsi un outil puissant pour la réduction de l'empreinte carbone dans les projets de construction.

1.4 ANALYSE DE CYCLE DE VIE

L'ACV est une méthodologie essentielle pour évaluer les conséquences environnementales des projets de construction, de la phase de conception à la fin de vie. Rebitzer et al. (2004) définissent l'ACV comme un outil complet qui permet de quantifier les incidences environnementales associées à chaque étape du cycle de vie d'un produit, y compris les matériaux, l'énergie consommée et les émissions générées. Cabeza et al. (2014) expliquent que dans le domaine de la construction, l'ACV est utilisé pour évaluer l'incidence des bâtiments en termes de consommation d'énergie, émissions de GES, et utilisation des ressources, du début à la fin de vie du bâtiment. Russell-Smith & Lepech (2015) décrivent l'importance de combiner l'ACV avec des outils de GP pour optimiser les processus de construction, tout en minimisant les conséquences environnementales. En particulier, l'intégration de l'ACV dans la planification permet de cibler les phases du projet les plus consommatrices en énergie ou en matériaux et de proposer des alternatives plus écologiques. De plus, Khasreen et al. (2009) soulignent que l'ACV est un outil critique pour les architectes, ingénieurs et gestionnaires de projets, leur permettant de prendre des décisions éclairées concernant le choix des matériaux et les méthodes de construction pour minimiser l'empreinte écologique. Zubair et al. (2024) démontrent que l'intégration de l'ACV dans les outils numériques, comme le BIM et le GIS, permet d'atteindre des niveaux élevés de performance environnementale. Sartori & Hestnes (2007) ont démontré que l'ACV peut révéler des opportunités pour améliorer la durabilité des bâtiments en intégrant des solutions énergétiques efficaces et des matériaux à faible incidence.

1.5 NORMES ET CERTIFICATIONS ENVIRONNEMENTALES

Les normes et certifications environnementales telles que LEED et BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) jouent un rôle crucial dans la promotion des pratiques de construction durable. L'adoption de ces certifications

guide les gestionnaires de projets dans la mise en place de pratiques durables (Arafat, 2023). Hwang & Tan (2012) affirment que ces certifications aident à définir des standards clairs pour mesurer et évaluer la durabilité des projets. Fowler & Rauch (2006) expliquent que ces certifications fournissent un cadre structuré pour évaluer la durabilité des bâtiments, en intégrant des critères tels que l'efficacité énergétique, la gestion de l'eau, l'utilisation des matériaux et la qualité environnementale intérieure. Le système LEED, développé par le *U.S. Green Building Council*, est l'une des certifications les plus reconnues au niveau mondial. Lee & Burnett (2008) montrent que LEED évalue les bâtiments selon une série de critères, incluant la conception durable des sites, l'efficacité énergétique, les matériaux et ressources, ainsi que la qualité de l'environnement intérieur. BREEAM, utilisé principalement en Europe, évalue les bâtiments selon leur performance environnementale globale. Ding (2008) note que BREEAM et LEED sont souvent utilisés comme références dans les politiques publiques pour encourager la construction durable. Les certifications comme LEED et BREEAM jouent un rôle important dans la GP en définissant des objectifs clairs et mesurables pour la durabilité. Kibert (2016) indique que l'obtention de ces certifications peut guider la gestion de projets en intégrant des pratiques durables dès la phase de planification, ce qui peut conduire à une réduction significative de l'empreinte carbone tout au long du cycle de vie du projet. Ershadi et al. (2021) mettent également en lumière l'importance des certifications dans le processus d'approvisionnement pour assurer que les matériaux et les pratiques respectent les critères de durabilité. Jaya & Frederika (2015) analysent comment ces certifications favorisent l'efficacité des coûts tout en garantissant la durabilité des projets. Cole & Valdebenito (2013) expliquent que l'adhésion aux normes telles que LEED et BREEAM influence non seulement les choix de conception, mais également les méthodes de construction et la gestion des ressources, ce qui permet de minimiser les conséquences environnementales et de garantir des performances énergétiques optimales.

1.6 INNOVATION ET TECHNOLOGIES VERTES

L'innovation technologique joue un rôle central dans l'amélioration de la durabilité des projets de construction. Les nouvelles technologies permettent de rationaliser la gestion de projet, d'améliorer l'efficacité des ressources, et de réduire les conséquences environnementales. Jalaei & Jrade (2015) expliquent que l'utilisation de BIM permet aux gestionnaires de projets de simuler et d'optimiser les performances énergétiques et les incidences environnementales avant la construction, facilitant ainsi la prise de décisions informées pour améliorer la durabilité. Lu et al. (2017) soulignent que l'adoption de technologies numériques telles que le BIM et l'Internet des objets (IoT) transforme la manière dont les projets sont conçus, planifiés et gérés, en intégrant des critères de durabilité dès le départ. L'article présenté par Heigermoser et al. (2019) explique comment le BIM, en conjonction avec le système *Last Planner*¹, permet d'améliorer la coordination des projets et de réduire les inefficacités, contribuant ainsi à une gestion plus durable des projets. Huang et al. (2009) prouvent que l'utilisation de la micro-simulation et du BIM permet de mesurer et réduire l'empreinte carbone des infrastructures. Waqar et al. (2023) montrent comment les technologies de suivi permettent une meilleure gestion des matériaux et des déchets, contribuant à la réduction des émissions. Les jumeaux numériques sont également des outils prometteurs pour optimiser l'efficacité des projets, comme le mentionnent Kaewunruen et al. (2020). Ces technologies permettent une meilleure modélisation des incidences environnementales et une gestion proactive des ressources. De plus, les technologies de construction modulaire sont de plus en plus reconnues pour leur potentiel à réduire l'empreinte carbone des projets. Smith (2016) note que la construction modulaire, qui se caractérise par la préfabrication des éléments de bâtiment hors site, permet de réduire les déchets, de diminuer les temps de construction, et d'optimiser l'efficacité énergétique grâce à des processus de fabrication contrôlés. Un autre exemple est l'utilisation de véhicules et

¹ Last Planner System est un système de production de projet qui optimise la planification et l'exécution des projets de construction en favorisant un flux de travail prévisible et coopératif. Il permet d'identifier et de résoudre les obstacles potentiels, établissant ainsi une base de confiance essentielle pour garantir l'achèvement des projets dans les délais (Heigermoser et al., 2019).

d'équipements de chantier électriques ou hybrides. Khan & Huang (2023) rapportent que l'adoption de machines de construction électriques, couplée à une gestion intelligente de l'énergie sur site, a permis une réduction considérable des émissions de GES sur certains chantiers de construction. Cela indique que la transition vers des machines électrifiées peut grandement atténuer les effets du réchauffement climatique, de l'appauvrissement de la couche d'ozone et de l'acidification.

1.7 PARTIES PRENANTES ET GOUVERNANCE

Les parties prenantes jouent un rôle crucial dans la GDP, car elles influencent les décisions à chaque étape du cycle de vie du projet. Freeman (1984) dans son modèle de théorie des parties prenantes, souligne que l'intégration des intérêts de toutes les parties prenantes, y compris les communautés locales, les gouvernements, les clients et les employés, est essentielle pour le succès à long terme d'un projet. Eskerod & Huemann (2013) discutent de l'importance d'impliquer les parties prenantes dès les premières phases du projet pour s'assurer que leurs attentes et besoins sont pris en compte, ce qui peut contribuer à améliorer les résultats en matière de durabilité. Ils soutiennent que l'engagement proactif des parties prenantes est un facteur clé pour intégrer des pratiques durables dans la gestion de projet. Klaus-Rosinska & Iwko (2021) montrent que les parties prenantes influencent les décisions liées à la durabilité et que leur engagement peut avoir un effet positif sur la performance globale du projet. De plus, Mitchell et al. (1997) ont développé un modèle de catégorisation des parties prenantes basé sur leur pouvoir, légitimité et urgence, permettant aux gestionnaires de mieux comprendre et hiérarchiser les besoins des différentes parties prenantes dans un contexte de durabilité. Les modèles de gouvernance influencent fortement la prise de décision durable dans les projets, en particulier lorsqu'ils définissent clairement les responsabilités, la transparence et la participation des parties prenantes. Fernández-Sánchez & Rodríguez-López (2010) soulignent que les modèles de gouvernance, qui incluent toutes les parties prenantes, facilitent une gestion transparente et responsable des projets,

favorisant ainsi une prise de décision plus éthique. Müller & Lecoivre (2014) mettent en lumière que la gouvernance des projets doit être alignée avec les objectifs de durabilité pour assurer une prise de décision qui favorise les résultats durables. Mukerji (2017) met en avant l'importance d'un leadership fort pour aligner les objectifs des parties prenantes avec les objectifs de durabilité du projet. Biesenthal & Wilden (2014) notent que les structures de gouvernance basées sur la participation active des parties prenantes peuvent faciliter l'intégration des considérations environnementales et sociales dans les décisions de projet. Aarseth et al. (2017) soutiennent que les modèles de gouvernance qui favorisent la collaboration entre les parties prenantes permettent de mieux gérer les risques associés aux projets, ce qui est essentiel pour la réalisation d'objectifs de durabilité.

Cette revue de la littérature a permis de poser les bases théoriques essentielles pour comprendre l'incidence de la gestion durable des projets sur la réduction de l'empreinte carbone dans le secteur de la construction. Il devient évident que la transition vers une construction plus responsable passe par une gestion proactive et intégrée. Ces fondements théoriques permettent d'établir un cadre conceptuel structuré, qui sera détaillé dans le prochain chapitre afin d'articuler les questions de recherche et les objectifs poursuivis dans cette étude.

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL

2.1 OBJET, QUESTION ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

2.1.1 Objet de la recherche

L'objet de cette recherche est d'examiner l'incidence de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone. Cette étude se concentre sur les approches, stratégies, méthodes et processus durables employés pour planifier, réaliser et gérer des projets de construction.

2.1.2 Question de recherche

La question centrale de cette étude est la suivante : comment les projets de construction ont-ils adapté leur gestion de projet pour améliorer la durabilité et réduire l'empreinte carbone ? En corollaire, quelles pratiques de gestion durable contribuent à cette réduction et quelles sont les meilleures stratégies pour surmonter les défis associés à leur mise en œuvre ?

2.1.3 Objectifs de recherche

L'objectif de cette recherche est d'analyser l'incidence des pratiques de gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone en utilisant des données secondaires disponibles, ce qui offre un accès à des résultats diversifiés et validés et permet de couvrir un large éventail de cas et de contextes géographiques afin de tirer des conclusions

généralisables. Cette analyse vise à identifier les méthodes et stratégies les plus efficaces, à comprendre les défis rencontrés dans leur mise en œuvre, et à consolider les connaissances pour améliorer la durabilité des projets de construction en se basant sur les informations et les études existantes. Pour ce faire, nous allons :

- Analyser l'incidence des pratiques de gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone.

- Identifier les défis liés à l'adoption de ces pratiques durables de gestion de projets dans le secteur de la construction.

- Évaluer les meilleures stratégies de gestion durable des projets de construction pour minimiser l'empreinte carbone.

- Synthétiser les résultats de recherches existantes pour approfondir les pratiques de GDP visant à améliorer la durabilité et à réduire l'empreinte carbone des projets de construction.

- Contribuer à la consolidation des connaissances sur l'incidence de la GDP de construction sur la réduction de l'empreinte carbone.

2.2 CADRE CONCEPTUEL

Le cadre conceptuel de ce projet de recherche repose sur trois piliers interconnectés : la gestion de projets, l'industrie de la construction et le développement durable. Ces domaines sont étroitement liés et s'influencent mutuellement pour promouvoir des pratiques de gestion responsables et durables réduisant ainsi l'empreinte carbone des projets de construction. Pour comprendre les interactions entre la gestion durable des projets et la réduction de l'empreinte

carbone dans l'industrie de la construction, il est utile de proposer un cadre conceptuel qui illustre ces relations.

Le développement durable constitue le fondement de notre approche. Il englobe l'adoption de méthodes responsables tout au long du cycle de vie d'un projet de construction, de sa conception à sa démolition, afin de minimiser son empreinte environnementale, sociale et économique, cette approche repose sur l'intégration de stratégies durables dès la phase initiale du projet, notamment à travers l'évaluation du cycle de vie, l'utilisation de matériaux à faible impact carbone et l'implication des parties prenantes dans une gouvernance collaborative (Herazo, 2017). La construction écologique se concentre sur la mise en œuvre pratique des principes du développement durable dans le domaine de la construction. Cela implique la formation et la mobilisation d'équipes éco-responsables, capables d'adopter des pratiques de construction respectueuses de l'environnement. La gestion des connaissances joue également un rôle crucial en favorisant l'accumulation et le partage des meilleures pratiques et des innovations dans le domaine de la construction durable. La transformation du secteur de la construction vers des méthodes durables est primordiale pour minimiser les émissions de carbone, notamment grâce à la réduction des déchets et à des pratiques de construction économes en énergie (Arafat, 2023). En appliquant des méthodes de construction bas carbone et des cadres de gestion durable des projets, le secteur du bâtiment peut réduire considérablement sa contribution au changement climatique (Papachristos et al., 2020). Enfin, la gestion de projet fournit le cadre méthodologique nécessaire pour coordonner et superviser efficacement les activités liées à la construction. Cela inclut la gestion des parties prenantes, qui consiste à identifier et à répondre aux attentes et aux préoccupations des différentes parties impliquées dans le projet, en intégrant les considérations environnementales et sociales. De plus, une communication claire et transparente est essentielle pour assurer le succès du projet et promouvoir une culture de durabilité. La pérennité dans la gestion de projets de construction nécessite une prise en compte équilibrée des objectifs environnementaux, sociaux et économiques, où chaque décision a une incidence

sur le cycle de vie et l'empreinte carbone du projet (Goel et al., 2019). La mise en œuvre de pratiques durables dans la gestion de projet améliore non seulement la performance du projet, mais s'aligne également sur les objectifs mondiaux de développement durable, en particulier en matière de réduction des émissions de GES dans la construction (Petrelli et al., 2023).

La réduction de l'empreinte carbone dans la construction se concentre sur l'évaluation des émissions tout au long du cycle de vie d'un projet, l'utilisation de matériaux à faible émission et la mise en œuvre de technologies comme le BIM et l'ACV. L'intégration de la gestion du CO₂ dans les phases de planification et d'exécution des projets est essentielle pour réduire l'empreinte carbone tout au long du cycle de vie de la construction (Kim et al., 2015). Les outils numériques tels que le BIM et les cadres d'analyse du cycle de vie offrent des opportunités significatives pour réduire les émissions de CO₂ en optimisant l'utilisation des ressources et en améliorant l'efficacité des projets (Mésároš et al., 2024). Lalmi et al. (2021) présentent un modèle hybride qui combine des éléments de gestion durable des projets avec des stratégies de réduction de l'empreinte carbone, suggérant que l'intégration de ces deux dimensions dans un cadre unifié peut guider les gestionnaires de projet dans la mise en œuvre de pratiques plus écologiques et responsables. Le cadre conceptuel de cette étude est présenté à la Figure 1.

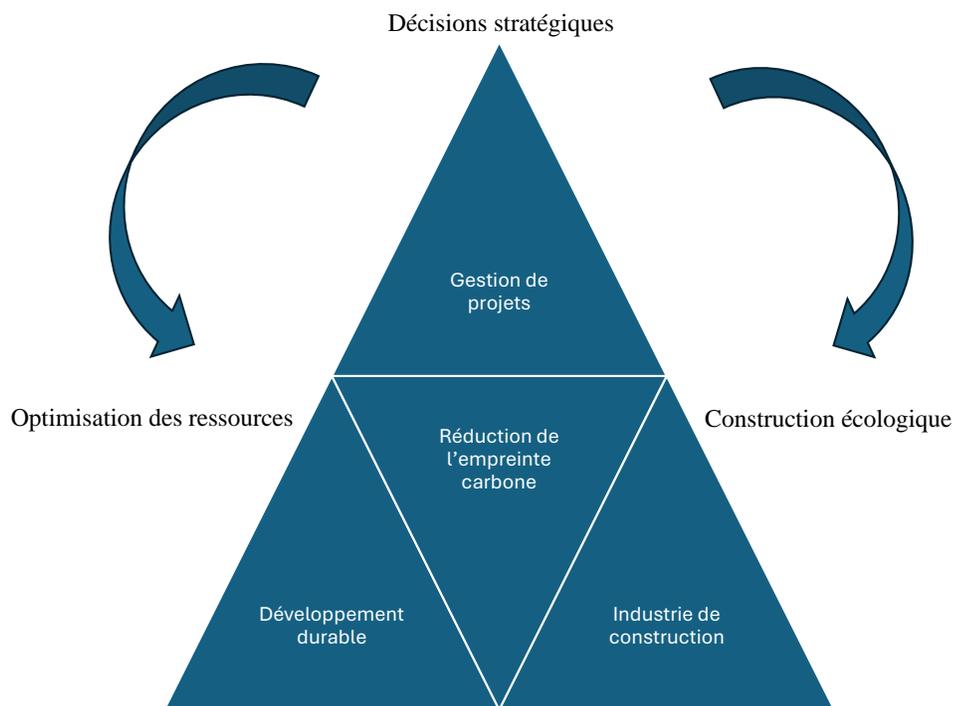


Figure 1. Cadre conceptuel

Ces trois piliers sont interdépendants et leur interaction est essentielle pour atteindre les objectifs de durabilité dans les projets de construction. Une gestion durable des projets permet d'intégrer des stratégies environnementales dans les processus de construction et l'utilisation d'outils numériques optimise à la fois l'efficacité et la réduction des émissions. Les pratiques de GDP doivent être étroitement liées à l'innovation industrielle et aux stratégies de réduction des émissions de carbone pour créer un cadre global qui aborde l'incidence environnementale des projets de construction.

Dans cette perspective, il est crucial d'adopter une méthodologie rigoureuse afin d'examiner en profondeur ces interactions et leur incidence sur la réduction de l'empreinte carbone. Le chapitre suivant présentera ainsi la méthodologie de recherche adoptée, en

détaillant la posture épistémologique, les approches, ainsi que les méthodes de collecte et d'analyse des données, garantissant ainsi la solidité scientifique de l'étude.

CHAPITRE 3

METHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1 POSTURE EPISTEMOLOGIQUE

Dans le cadre de cette recherche, une posture épistémologique pragmatiste a été adoptée. Le pragmatisme met l'accent sur l'utilité et les résultats pratiques des connaissances, en valorisant les méthodes et les approches qui conduisent à des solutions concrètes et applicables (James, 1907). Cette posture permet de combiner des méthodes qualitatives et quantitatives pour expliquer comment les pratiques durables de gestion de projets de construction peuvent réduire efficacement l'empreinte carbone. En combinant des approches quantitatives et qualitatives, le pragmatisme permet aux chercheurs de saisir à la fois l'ampleur et la profondeur des défis de durabilité dans les projets de construction (Johnson & Onwuegbuzie, 2004). L'approche pragmatiste favorise une compréhension centrée sur l'action, en cherchant à produire des connaissances qui peuvent être directement appliquées pour améliorer la durabilité dans la gestion de projets de construction.

3.2 APPROCHE DE RECHERCHE

Cette recherche repose sur une approche mixte. La composante qualitative repose sur l'analyse de contenu des études existantes, tandis que la composante quantitative est représentée par une analyse bibliométrique des publications pertinentes. Cette double approche permet une compréhension holistique des pratiques de gestion durable de projets de construction et de leurs incidences sur la réduction de l'empreinte carbone. Une revue systématique de la littérature, complétée par une analyse thématique, constitue la base de cette approche.

3.3 METHODE DE RECHERCHE UTILISEE

Nous avons adopté une méthode de recherche hybride combinant une revue systématique de la littérature avec une revue narrative. La revue systématique a été privilégiée pour sa rigueur méthodologique et sa capacité à offrir une vue exhaustive et reproductible des connaissances existantes sur la gestion durable des projets de construction. Conformément aux recommandations PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), nous avons structuré notre processus de sélection et d'analyse des articles afin d'assurer transparence et fiabilité. Dans ce cadre, une analyse bibliométrique a été réalisée à l'aide des logiciels VOSviewer et SciMAT pour identifier les principales tendances de recherche et les relations conceptuelles dans ce domaine. En complément, une analyse de contenu a été effectuée pour examiner en profondeur les pratiques identifiées, évaluer leur efficacité et repérer les défis et obstacles courants à leur mise en œuvre. Cette approche a été enrichie par l'inclusion d'articles scientifiques supplémentaires qui ne figuraient pas dans les résultats de la recherche systématique pour approfondir la définition des concepts clés abordés dans la revue de littérature. Ces articles supplémentaires apportent des données complémentaires qui ne sont pas couvertes par la revue systématique, permettant ainsi d'intégrer des perspectives diversifiées sur les pratiques de gestion durable de projets dans le secteur de la construction pour assurer une vue d'ensemble plus complète et nuancée du sujet étudié.

3.4 PERIODE DE L'ETUDE

La période de l'étude s'étend sur les trente dernières années, couvrant les publications de 1993 à 2024. Cette période a été choisie pour assurer la pertinence et l'actualité des pratiques de gestion durable de projets analysés.

3.5 CRITERES D'INCLUSION/EXCLUSION

Les critères d'inclusion pour les études sélectionnées incluent : des articles scientifiques publiés à l'intérieur de la période de l'étude. Les études ne portant pas spécifiquement sur la gestion durable de projets, la construction ou ne traitant pas de la réduction de l'empreinte carbone ont été exclues. En prenant appui sur les titres et sur les résumés, une sélection finale a été réalisée pour identifier les articles les plus pertinents.

3.6 INSTRUMENTS DE MESURE UTILISES

Les instruments de mesure utilisés comprennent l'analyse de contenu pour la partie qualitative et les logiciels VOSviewer et SciMAT pour l'analyse bibliométrique. L'analyse de contenu a été utilisée pour extraire les pratiques, défis, et stratégies, tandis que l'analyse bibliométrique a permis de cartographier les réseaux de recherche et d'identifier les agrégats thématiques dominants.

3.6.1 Analyse bibliométrique

L'analyse bibliométrique est une méthode quantitative permettant de mesurer l'influence de la recherche scientifique à travers l'examen des publications et des citations. Elle aide à identifier les tendances de la recherche, les auteurs influents, les collaborations entre chercheurs, et les journaux les plus cités. Pour cette étude, une analyse bibliométrique approfondie a été réalisée en utilisant des bases de données scientifiques reconnues telles que Scopus, Web of Science, Science Direct et Google Scholar.

VOSviewer est un outil de visualisation qui permet de créer des cartes de réseaux basées sur des données bibliométriques. Dans cette étude, VOSviewer a été utilisé pour

visualiser les relations entre les différents concepts liés à la gestion durable des projets de construction et la réduction de l'empreinte carbone. Les cartes de réseaux générées montrent les co-occurrences de mots-clés, offrant une vue d'ensemble des domaines de recherche les plus explorés et des connexions entre eux.

SCIMAT (Science Mapping Analysis Tool) est un autre outil d'analyse bibliométrique utilisé pour explorer et visualiser l'évolution des domaines de recherche au fil du temps. Dans cette étude, SCIMAT a permis de réaliser une analyse longitudinale des publications, mettant en évidence les sujets de recherche émergents, les domaines en déclin et les tendances de la recherche. Le diagramme stratégique, présenté au tableau 1, répertorie les thèmes de recherche selon leur densité et leur centralité, permettant ainsi de comprendre la structure du champ d'études. Comme l'explique Callon et al. (1991), un thème dense reflète une forte cohérence interne, tandis qu'une centralité élevée démontre l'importance d'un thème pour le développement du domaine de recherche. Cette analyse aide à comprendre comment la recherche sur la gestion durable des projets de construction et la réduction de l'empreinte carbone a évolué et quels aspects sont susceptibles de dominer les futures études.

Tableau 1
Interprétation du diagramme stratégique

<p style="text-align: right;">DENSITÉ</p> <p style="text-align: center;">Quadrant 3</p> <p style="text-align: center;">Thèmes très développés, mais marginaux : Périphériques et développés</p> <p>Ces thèmes sont spécialisés et denses, mais peu connectés aux autres. Ils sont bien établis, mais leur incidence sur le champ global est limitée.</p>	<p style="text-align: center;">Quadrant 1</p> <p style="text-align: center;">Thèmes moteurs : Centraux et développés</p> <p>Ce sont des thèmes bien développés et importants pour la recherche. Ils sont à la fois denses et centralisés, ce qui signifie qu'ils sont à la fois bien reliés à d'autres thèmes et soutenus par une grande quantité de recherche.</p> <p style="text-align: right;">CENTRALITÉ</p>
<p style="text-align: center;">Quadrant 4</p> <p style="text-align: center;">Thèmes faibles : Périphériques et peu développés</p> <p>Ces thèmes sont à la fois peu développés et peu reliés aux autres. Ils sont souvent marginaux ou nécessitent plus d'attention pour être mieux intégrés dans le champ de recherche.</p>	<p style="text-align: center;">Quadrant 2</p> <p style="text-align: center;">Thèmes émergents ou en déclin : Centraux et peu développés</p> <p>Thèmes centraux, mais peu développés. Ils peuvent être des tendances émergentes ou des domaines en perte de vitesse.</p>

3.6.2 Analyse de contenu

L'analyse de contenu est une méthode qualitative utilisée pour examiner les informations contenues dans des textes afin d'en extraire des significations et des motifs récurrents, cette approche repose sur une démarche systématique de catégorisation et de codification des données, visant à structurer l'information de manière à en dégager des tendances et des relations sous-jacentes (Wanlin, 2007). Dans le cadre de cette recherche sur l'incidence des pratiques de gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone, l'analyse de contenu permet de décortiquer des études de cas, des articles scientifiques et des rapports pour identifier les pratiques de gestion durable des projets les plus fréquemment mentionnées et leur efficacité. Cette méthode permet de coder les données textuelles en catégories pertinentes, facilitant ainsi l'extraction d'informations clés sur les stratégies de réduction de l'empreinte carbone et les défis associés à leur mise en œuvre.

3.7 PROCEDURES DE COLLECTE DE DONNEES

Les données ont été collectées à travers des bases de données académiques à savoir Google Scholar, ScienceDirect, Scopus et Web of Science. Ces bases de données sont choisies pour leur capacité à fournir des informations complètes, fiables et accessibles, ce qui est essentiel pour la recherche académique. Une stratégie de recherche par mots-clés a été utilisée pour identifier les études pertinentes. En utilisant les termes "*Project Management*", "*Construction Project*" ou "*Building Project*", "*Carbon Footprint*" et "*Project Life Cycle*". Tous les articles résultant de notre recherche étaient en anglais. Les données collectées ont ensuite été synthétisées pour répondre aux objectifs de recherche.

3.8 CADRE ETHIQUE DE LA RECHERCHE

Le cadre éthique de cette recherche a été respecté en s'assurant que toutes les sources utilisées proviennent de publications revues par des pairs et que les informations sont traitées de manière à respecter les droits d'auteurs. Aucune donnée personnelle n'a été collectée ou traitée. Les risques éthiques sont minimisés, étant donné que l'étude repose uniquement sur des données publiées.

CHAPITRE 4

COLLECTE DE DONNÉES, ANALYSE ET RESULTATS

Ce chapitre explore la recherche sur la gestion durable des projets de construction et ses incidences sur la réduction de l'empreinte carbone. Il présente les résultats des diverses analyses menées dans le cadre de cette étude, permettant de comprendre l'état actuel des connaissances, les tendances et les lacunes de la recherche dans ce domaine. Deux types d'analyses principales sont mises en avant : l'analyse bibliométrique (avec les logiciels VOSviewer et SCIMAT) et l'analyse de contenu.

4.1 ANALYSE BIBLIOMETRIQUE

Dans le cadre de notre recherche sur l'incidence de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone, nous avons adopté une approche de recherche systématique et rigoureuse. Nous avons utilisé quatre bases de données académiques reconnues : Scopus, Web of Science, Science Direct et Google Scholar.

Pour cette étude, nous avons sélectionné des mots-clés spécifiques afin de cibler précisément les recherches sur la gestion durable des projets de construction et la réduction de l'empreinte carbone.

- "*Project Management*" : Ce terme est essentiel car il englobe toutes les approches, pratiques, méthodologies et outils utilisés pour planifier, exécuter et finaliser des projets. Dans le contexte de la gestion durable des projets de construction, il est crucial de comprendre comment les projets sont gérés pour minimiser leur incidence environnementale.

- “*Construction Project*” ou “*Building Project*” : Ces termes sont spécifiques au domaine de la construction. Ils permettent de cibler les études et les articles qui traitent spécifiquement des projets de construction, ce qui est pertinent pour analyser les pratiques durables dans ce secteur.

- “*Carbon Footprint*” : Ce mot-clé est directement lié à l’incidence environnementale des projets de construction. Il permet de trouver des études qui mesurent et analysent les émissions de carbone associées aux projets, ce qui est pertinent pour évaluer leur durabilité.

- “*Project Life Cycle*” : Ce terme est important car il couvre toutes les phases d’un projet, de la conception à la clôture, en passant par la réalisation. En utilisant ce mot-clé, nous pouvons trouver des études qui examinent comment chaque phase du cycle de vie d’un projet peut être optimisée pour réduire l’empreinte carbone.

Ces mots-clés sont choisis pour leur pertinence et leur capacité à cibler précisément les études et les articles qui traitent de la gestion durable des projets de construction et de la réduction de l’empreinte carbone. Ils permettent de s’assurer que les résultats de recherche sont pertinents et utiles pour notre analyse.

Notre stratégie de recherche était basée sur l’utilisation de mots-clés spécifiques susmentionnés. Nous avons utilisé l’astérisque (*) avec le terme “*project*” pour inclure toutes les variantes du mot, y compris le singulier “*project*” et le pluriel “*projects*”. Nous avons utilisé les opérateurs “AND” et “OR” pour affiner notre recherche. L’opérateur “OR” a été utilisé spécifiquement pour les termes “*construction project*” et “*building project*” afin d’inclure les synonymes dans notre recherche. Pour les bases de données proposant un grand nombre d’articles, nous avons utilisé le critère “(titre)” pour cibler les articles dont le sujet principal est directement lié à nos mots-clés. Pour les bases de données proposant moins d’articles, nous avons utilisé le critère “ (titre, résumé, mots-clés de l’auteur)” pour élargir

notre recherche. Cette combinaison de stratégies de recherche nous a permis d’obtenir une vue d’ensemble complète et précise des travaux de recherche existants sur notre sujet, aidant à identifier les tendances et les lacunes dans la littérature existante et à consolider les connaissances pour améliorer la durabilité des projets de construction. Les résultats ont été filtrés et nous avons exclu les articles qui ne sont pas pertinents pour notre recherche, à savoir les articles qui ne traitent ni la notion de la durabilité ni d’empreinte carbone dans la gestion des projets de construction, afin d’obtenir notre sélection personnelle.

Tableau 2
Résultats de recherche documentaire et sélection d’articles scientifiques

	Scopus	Web of Science	Science Direct	Google Scholar
Résultat préliminaire	38	3059	4413	52
Article scientifique	20	2233	3808	52
		Analyse bibliométrique (VOSviewer et SCIMAT)		
Après l’utilisation du critère “(titre)”	Non appliqué	33	195	Non appliqué
Sélection personnelle avec exclusion des doublons	15	26	26	25
Résultat final	15	26	26	25
Total	92			
	Analyse de contenu			

L'analyse des publications scientifiques sur l'incidence de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone provenant de la base de données Web of Science (2233 documents) montre une tendance intéressante au fil des années. Ce corpus important vise à garantir une analyse fiable, offrant une diversité suffisante de termes et de concepts, ce qui permet de dégager des tendances pertinentes et représentatives sur l'ensemble de la période d'étude. Grâce à un ensemble de données aussi vaste, nous pouvons obtenir des résultats précis et bien différencier les écoles de pensée ainsi que les relations entre les concepts.

Entre 1993 et 2004, le nombre total de publications était de 36, avec une activité relativement stable et des pics en 2001 (6 articles) et 2003 (7 articles). La période 2005-2014 a vu une augmentation notable du nombre de publications, atteignant un total de 260 articles, avec des pics en 2013 (44 articles), et 2014 (51 articles). Cependant, c'est entre 2015 et 2024 que le nombre de publications a connu une croissance exponentielle, atteignant un total de 1937 articles jusqu'à présent, avec des pics significatifs en 2021 (302 articles), 2022 (313 articles) et 2023 (357 articles). Cette augmentation soutenue et croissante des publications montre une prise de conscience accrue et un intérêt continu pour la gestion durable des projets de construction et son incidence sur la réduction de l'empreinte carbone. Ce qui souligne l'importance croissante de ce sujet dans le domaine de la recherche scientifique.

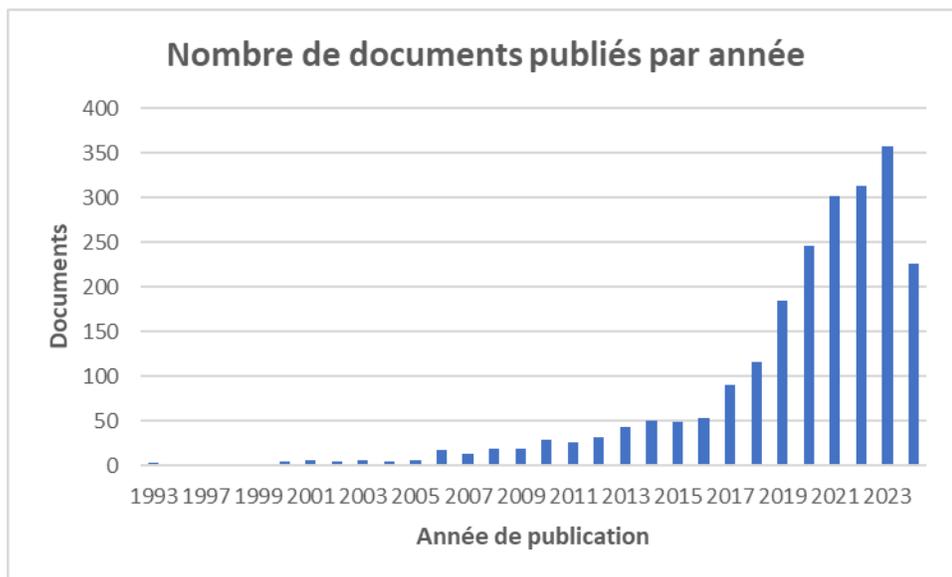


Figure 2. Nombre de documents publiés par année sur la base de données Web of science

4.1.1 Analyse avec VOSviewer

L'analyse des cooccurrences effectuée à l'aide de VOSviewer a permis de visualiser les réseaux représentés dans les figures 3 à 7. Ces cartes mettent en évidence les mots-clés ayant une occurrence minimale de 40 dans la base de données. L'adoption de cette occurrence minimale élevée est essentielle pour filtrer les termes peu fréquents, souvent non significatifs ou non pertinents, ce qui permet de mettre en avant les tendances majeures et les concepts clés. Des tests préliminaires avec différentes valeurs d'occurrence minimale ont été réalisés afin d'évaluer leur impact sur les résultats, garantissant ainsi un équilibre entre la qualité des données analysées et la préservation de la richesse conceptuelle. En appliquant ce seuil, 65 mots-clés répartis en 4 groupes distincts ont été identifiés. Les mots-clés "*management*", "*sustainability*" et "*construction*" ont été délibérément exclus afin de concentrer l'analyse sur les autres termes. La figure 3 présente le réseau des 65 mots-clés retenus, révélant la structure des 4 groupes identifiés.

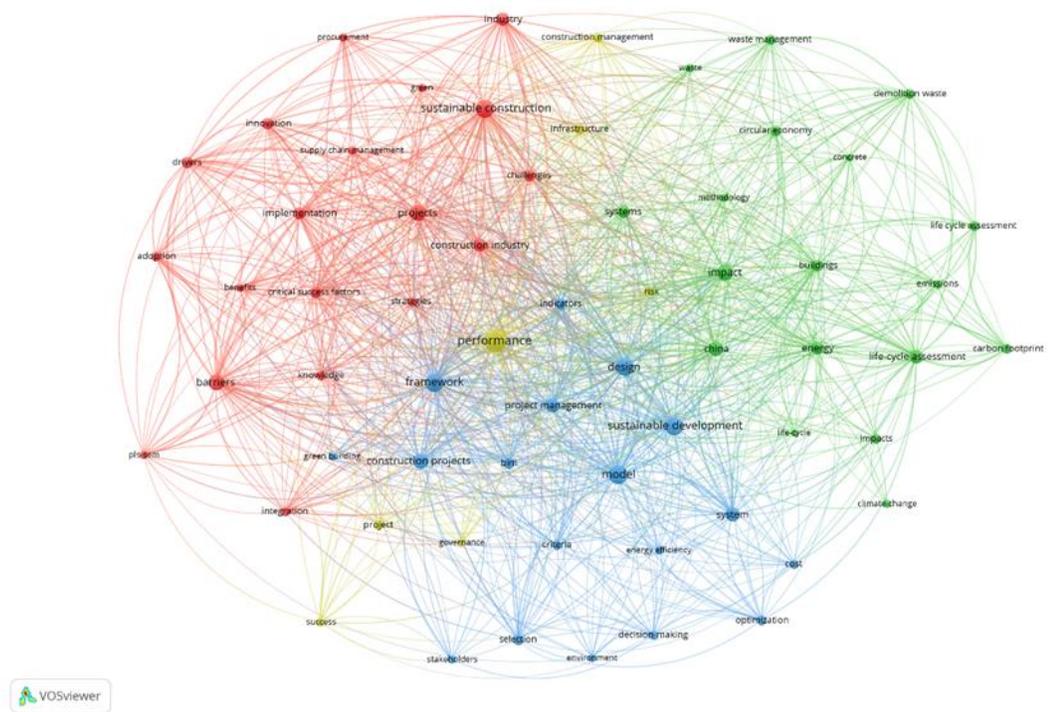


Figure 3. Visualisation du réseau des mots-clés retenus

- Agrégat 1 (en couleur rouge) : Cette grappe se concentre sur les aspects pratiques et les défis de la construction durable. Les termes les plus fréquents incluent “*sustainable construction*” (212 occurrences), “*barriers*” (161 occurrences), “*projects*” (161 occurrences), et “*industry*” (106 occurrences). Cela indique une forte attention portée aux obstacles et aux facteurs critiques de succès dans la mise en œuvre de pratiques durables de gestion de projets dans l’industrie de la construction. La présence de termes comme “*barriers*” et “*implementation*” suggère les difficultés liées à l’adoption de pratiques durables au sein des projets de construction. Cela reflète les résistances structurelles, économiques ou réglementaires que les gestionnaires de projets doivent affronter pour intégrer des pratiques écoresponsables. L’adoption et l’innovation sont également soulignées, indiquant une attention particulière à la manière dont l’industrie de la construction peut intégrer des pratiques durables y compris dans la gestion de ces projets. De plus, la gestion de la chaîne

d'approvisionnement “*supply chain management*” est cruciale, car elle affecte directement la capacité à réduire l’empreinte carbone à travers l’ensemble du cycle de vie des projets. Ces défis soulignent l’importance de la gestion durable des projets pour surmonter les barrières à l’innovation verte dans l’industrie de la construction.

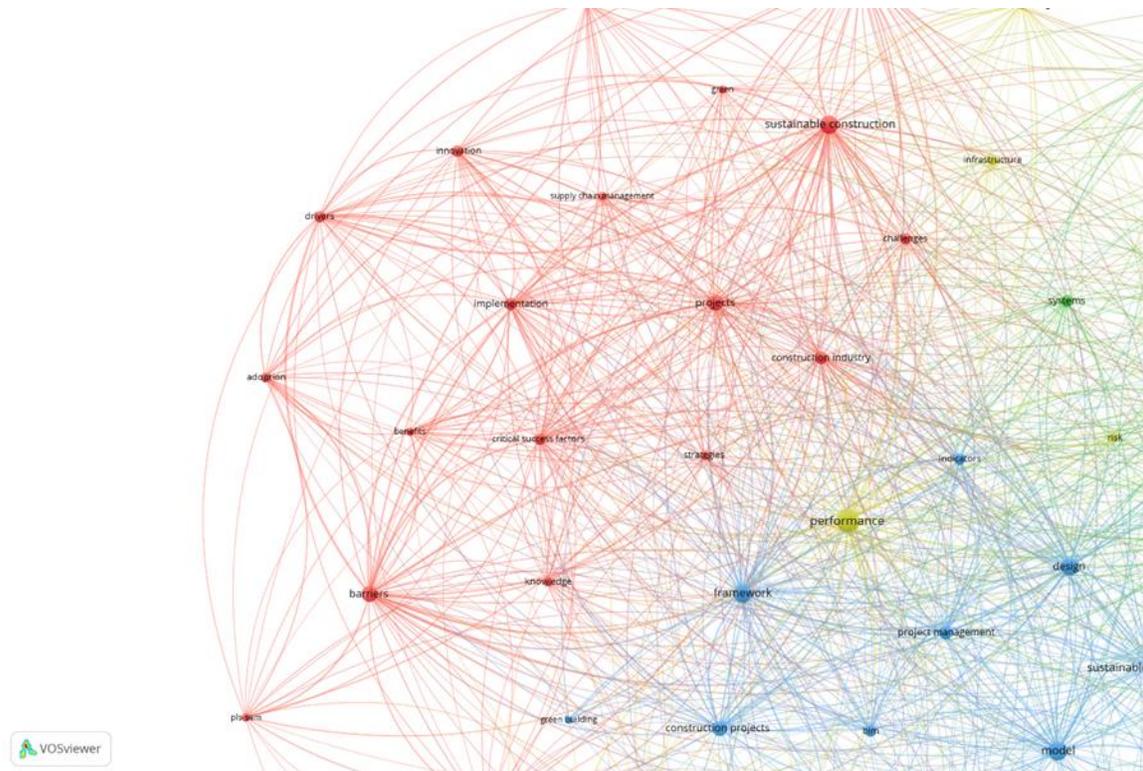


Figure 4. Visualisation du réseau de l’agrégat 1

- Agrégat 2 (en couleur verte) : Cette grappe met l’accent sur les conséquences environnementales et les évaluations du cycle de vie des projets. Les termes clés incluent “*impact*” (157 occurrences), “*china*” (137 occurrences), “*life-cycle assessment*” (113 occurrences), et “*energy*” (107 occurrences). Cette grappe est clairement orientée vers l’évaluation des conséquences environnementales, avec une forte référence à l’évaluation du cycle de vie “*life-cycle assessment*”, qui est une méthode clé pour mesurer l’empreinte carbone des projets. Le terme “*carbon footprint*” est central, indiquant que l’empreinte

- Agrégat 3 (en couleur bleue) : Cette grappe est axée sur les modèles, les cadres, ainsi que les aspects de la conception et de la gestion durable des projets de construction. Les termes les plus fréquents sont “*model*” (219 occurrences), “*framework*” (205 occurrences), “*sustainable development*” (202 occurrences), et “*design*” (188 occurrences). Les termes “*framework*” et “*model*” suggèrent l’importance de développer des cadres théoriques et des modèles pratiques pour guider la gestion durable des projets de construction. La gestion de projet “*project management*” et l’optimisation “*optimization*” sont essentielles pour s’assurer que les projets atteignent les objectifs de durabilité, y compris la réduction de l’empreinte carbone. Cette grappe met également en lumière le rôle central de la gestion de projet dans la construction durable, en mettant l’accent sur l’utilisation d’outils numériques tels que le BIM et l’optimisation des processus. L’apparition du terme prise de décision “*decision-making*” indique l’importance des cadres décisionnels dans l’intégration des critères de durabilité au sein des projets. L’utilisation du BIM permet notamment de simuler l’incidence des décisions architecturales sur l’empreinte carbone d’un projet, améliorant ainsi l’optimisation des ressources et la réduction des déchets.

L'évolution des mots-clés au fil du temps reflète un changement progressif dans les priorités et les préoccupations du secteur de la construction en matière de durabilité. Les premiers mots-clés identifiés montrent un intérêt pour la création d'un cadre théorique solide en gestion de projets, indispensable pour aborder les questions de durabilité. Au fil du temps, l'accent se déplace vers l'application de ces concepts à travers la performance, l'évaluation des conséquences, et la mise en place de stratégies pour réduire l'empreinte carbone. Cette évolution montre que, si les premières recherches étaient axées sur la compréhension et l'adaptation des concepts de durabilité dans la gestion des projets de construction, les préoccupations actuelles se tournent vers l'intégration efficace de ces concepts dans la pratique quotidienne de la gestion responsable des projets de construction, en cherchant à lever les barrières et à optimiser les processus. Par ailleurs, l'émergence de concepts récents tels que le BIM, la gouvernance et l'économie circulaire souligne la nécessité d'intégrer des innovations technologiques et de nouveaux modèles économiques pour continuer à avancer vers des pratiques de gestion de projets plus durables et moins impactantes en termes de carbone dans l'industrie de construction.

Notre analyse avec VOSviewer a révélé des tendances temporelles dans l'apparition des mots-clés, offrant une vue d'ensemble de l'évolution des thèmes en lien avec la gestion durable des projets de construction. Toutefois, cette méthode se limite à la fréquence des termes et ne capture pas pleinement les interconnexions ou l'importance relative des concepts récents. Pour compléter cette approche, nous avons recours à une analyse avec SciMAT, qui permet d'explorer plus en profondeur les relations entre les thèmes émergents et d'identifier les axes de recherche les plus pertinents dans le contexte actuel.

4.1.2 Analyse avec SCIMAT

Cette analyse SciMAT explore l'évolution des thématiques de recherche au fil du temps, en examinant les flux de mots-clés entre trois périodes distinctes. Elle permet de visualiser les thèmes émergents, ceux qui persistent, ainsi que l'expansion des nouvelles thématiques, offrant ainsi un aperçu des tendances et des dynamiques dans le domaine étudié.

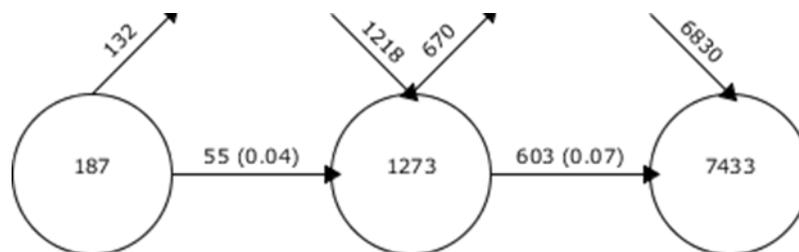


Figure 9. Carte superposée “*Overlapping map*”

La première période recense un ensemble de 187 mots-clés. Parmi ceux-ci, 55 mots-clés sont qualifiés de transitoires, ce qui signifie qu'ils continuent à être pertinents et se prolongent dans la période suivante. En revanche, 132 mots-clés sont spécifiques à cette première phase, indiquant des thèmes de recherche qui étaient importants à ce moment-là, mais qui n'ont pas nécessairement perduré dans le temps. Cette période initiale permet de poser les bases de l'évolution des thématiques de recherche, en identifiant les sujets qui ont émergé et ceux qui ont perdu de leur pertinence. Elle offre un aperçu des premières tendances et des dynamiques qui ont influencé le domaine étudié.

La deuxième période montre une expansion significative des thématiques de recherche. Cette phase inclut un total de 1273 mots-clés, dont 1218 sont nouveaux par rapport à la période précédente. Parmi ces nouveaux mots-clés, 603 seront conservés et continueront à

être pertinents dans la période suivante. Cette période est marquée par une diversification et une intensification des sujets de recherche. L'augmentation du nombre de mots-clés indique une exploration plus large et plus profonde du domaine étudié, avec l'émergence de nouvelles thématiques qui enrichissent le paysage de la recherche. Les mots-clés transitoires montrent également une continuité et une évolution des thèmes précédemment identifiés, soulignant les tendances persistantes et les nouvelles directions prises par les chercheurs.

La troisième période témoigne d'une expansion encore plus notable des thématiques de recherche. Avec 7433 mots-clés, cette phase conserve les 603 mots-clés des périodes précédentes et en ajoute 6830 nouveaux. Cette augmentation massive reflète une dynamique de recherche extrêmement active et diversifiée. Cette période illustre non seulement la continuité des thèmes de recherche établis, mais aussi l'émergence de nombreuses nouvelles thématiques. L'ampleur des nouveaux mots-clés suggère une exploration intensive et une innovation constante dans le domaine étudié. Cela permet de visualiser les tendances actuelles et les directions futures de la recherche, offrant un aperçu complet des dynamiques en jeu.

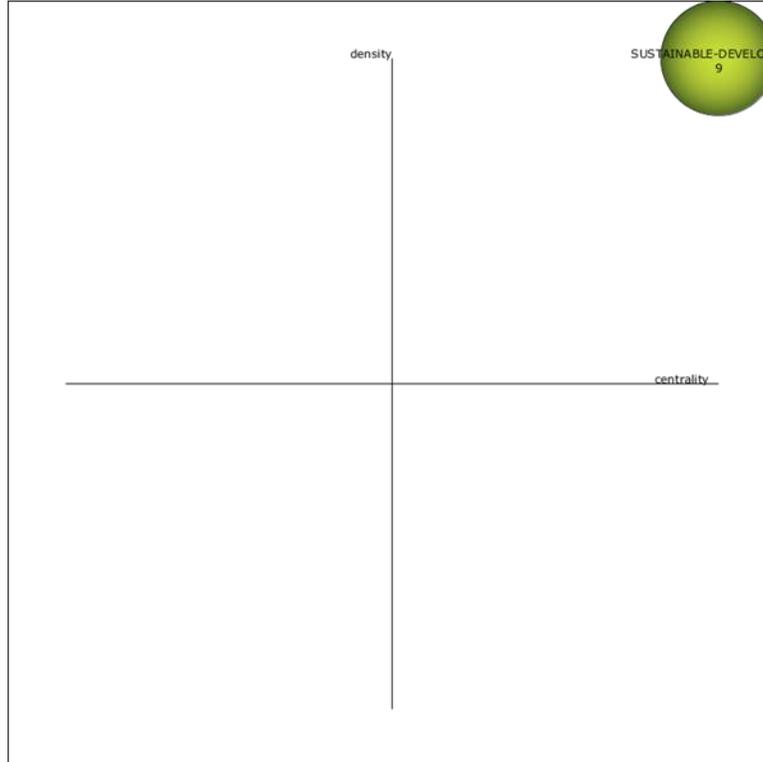


Figure 10. Diagramme stratégique de la première période (1993-2004). Paramètres de la période : Fréquence minimale (2) Cooccurrence minimale (2)

Période 1993-2004 : “*Sustainable development*” souligne l’importance majeure du développement durable en tant que concept central dans la gestion de projets de construction, sa centralité et sa densité parfaites indiquent que le développement durable est au cœur des discussions et des stratégies de gestion durable des projets. Ce terme englobe la nécessité d’intégrer des pratiques qui équilibrent les aspects économiques, environnementaux et sociaux, et il guide les efforts visant à réduire l’empreinte carbone. L’intégration de “*sustainable development*” dans la gestion de projet est donc essentielle pour atteindre les objectifs de durabilité à long terme dans le secteur de la construction.

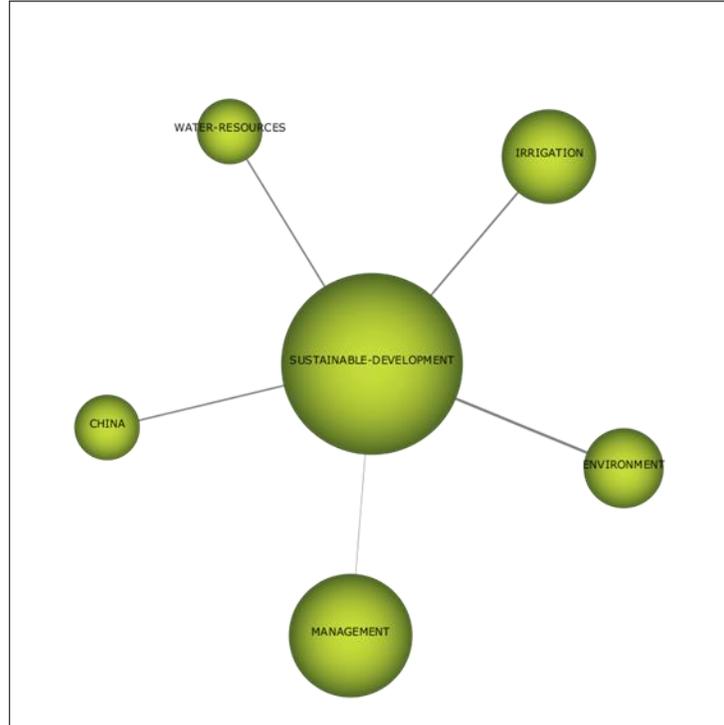


Figure 11. Visualisation de l'agrégat "*Sustainable development*"

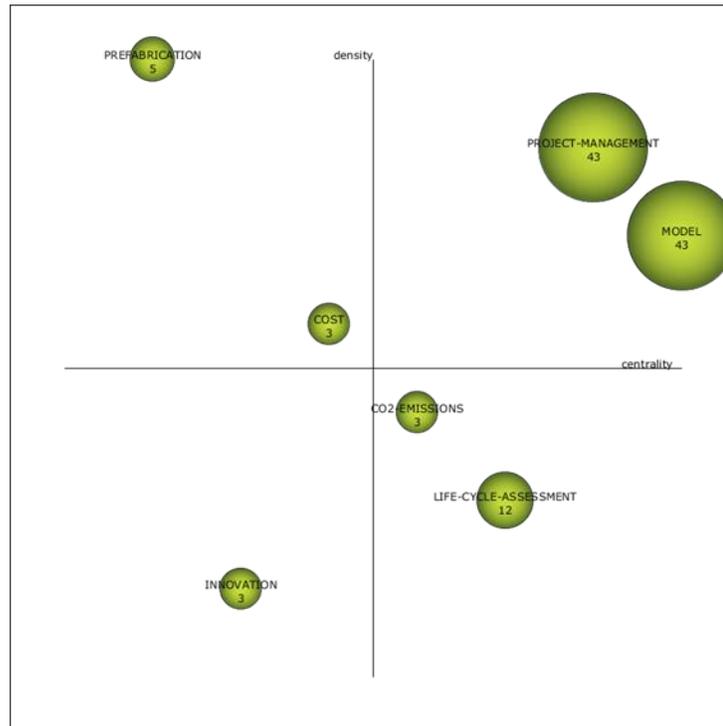


Figure 12. Diagramme stratégique de la deuxième période (2005-2014). Paramètres de la période : Fréquence minimale (3) Cooccurrence minimale (2)

Période 2005-2014 : Les résultats de l'analyse SciMAT mettent en évidence des éléments clés intégrés à la gestion durable des projets. Le terme “model” est central, indiquant l'importance des modèles théoriques et pratiques pour structurer la gestion durable des projets de construction. “*Project-management*” souligne que la gestion de projet joue un rôle essentiel dans l'application de ces modèles pour réduire l'empreinte carbone. Les modèles de planification, de gestion des ressources, de suivi et de contrôle, de gestion des risques et de durabilité sont tous cruciaux. En combinant ces modèles avec des pratiques de gestion de projet efficaces, il est possible de structurer des projets de manière à atteindre des objectifs de durabilité tout en respectant les contraintes de temps et de budget. L'évaluation du cycle de vie “*life-cycle assessment*” et la gestion des coûts “*cost*” sont également des éléments essentiels pour équilibrer les objectifs de durabilité avec les contraintes budgétaires. La préfabrication “*prefabrication*”, bien que moins centrale, apparaît comme une stratégie

prometteuse pour améliorer l'efficacité et réduire les émissions de CO2. En intégrant la préfabrication dans la gestion de projets, les gestionnaires peuvent bénéficier d'une plus grande précision dans la planification, une meilleure maîtrise des coûts et une réduction des délais, tout en contribuant à des pratiques de construction plus durables. Enfin, l'innovation, bien qu'importante, semble encore sous-exploitée, ce qui indique un potentiel de développement pour renforcer la durabilité des projets. Ces résultats montrent que l'intégration de ces aspects dans la gestion de projet est clé pour réduire efficacement l'empreinte carbone dans le secteur de la construction.

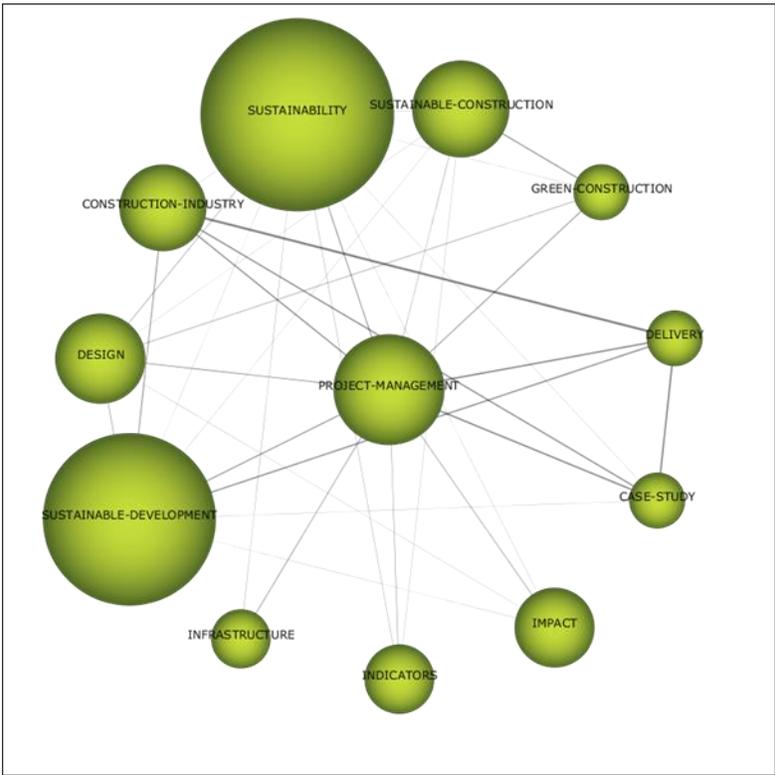


Figure 13. Visualisation de l'agrégat "Project-management"

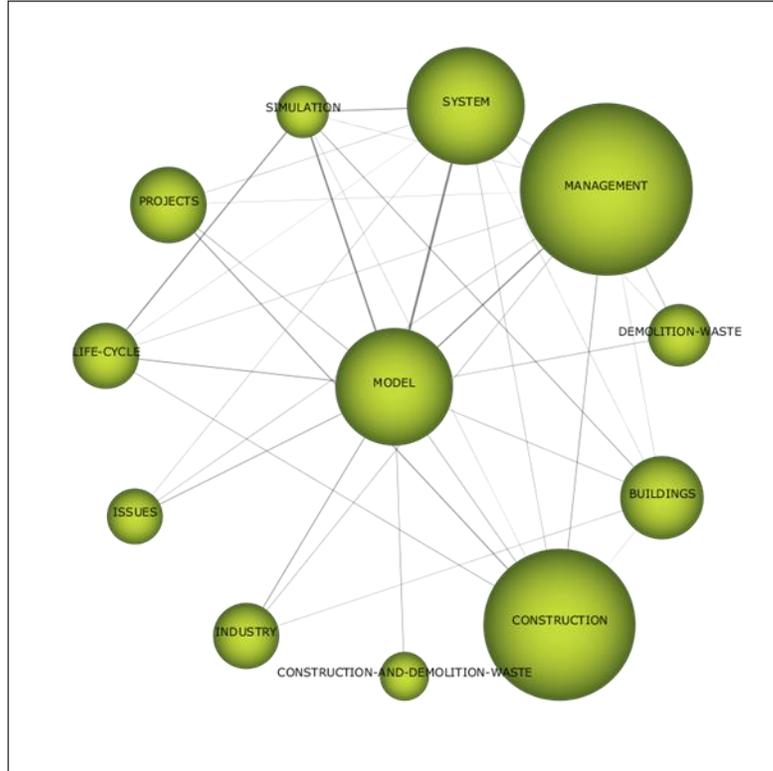


Figure 14. Visualisation de l'agrégat "Model"

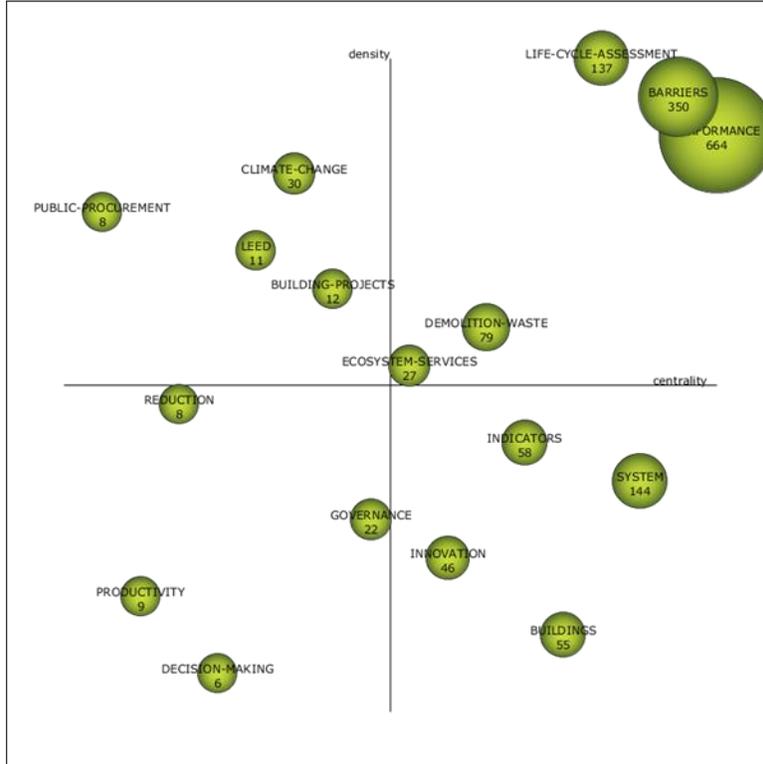


Figure 15. Diagramme stratégique de la troisième période (2015-2024). Paramètres de la période : Fréquence minimale (3) Cooccurrence minimale (4)

Période 2015-2024 : L'analyse SciMAT met en lumière plusieurs mots-clés essentiels. Les défis “*barriers*” et la performance “*performance*” ressortent comme des éléments centraux, indiquant que surmonter les obstacles à l'adoption de pratiques durables de gestion de projets et l'amélioration des performances des projets sont cruciaux pour réduire l'empreinte carbone. L'évaluation du cycle de vie “*life-cycle assessment*” se révèle être une méthode indispensable pour évaluer l'incidence environnementale tout au long du projet. Des concepts tels que la gestion des déchets de démolition “*demolition-waste*”, la gestion systémique “*system*”, et l'innovation “*innovation*” sont particulièrement pertinents. Ces termes soulignent l'importance de l'intégration de nouvelles approches et de la gestion efficace des ressources et des systèmes pour minimiser l'empreinte carbone. De plus, les outils et certifications comme LEED, ainsi que la gouvernance “*governance*” et la prise de

décision “*decision-making*”, sont des aspects qui nécessitent une meilleure intégration dans la gestion de projet pour soutenir des pratiques durables. Ces éléments combinés montrent que la gestion durable des projets de construction doit être holistique, incluant une évaluation rigoureuse de l'incidence environnementale, une gestion efficace des ressources, et une adoption stratégique des innovations et des cadres de gouvernance pour maximiser la durabilité.

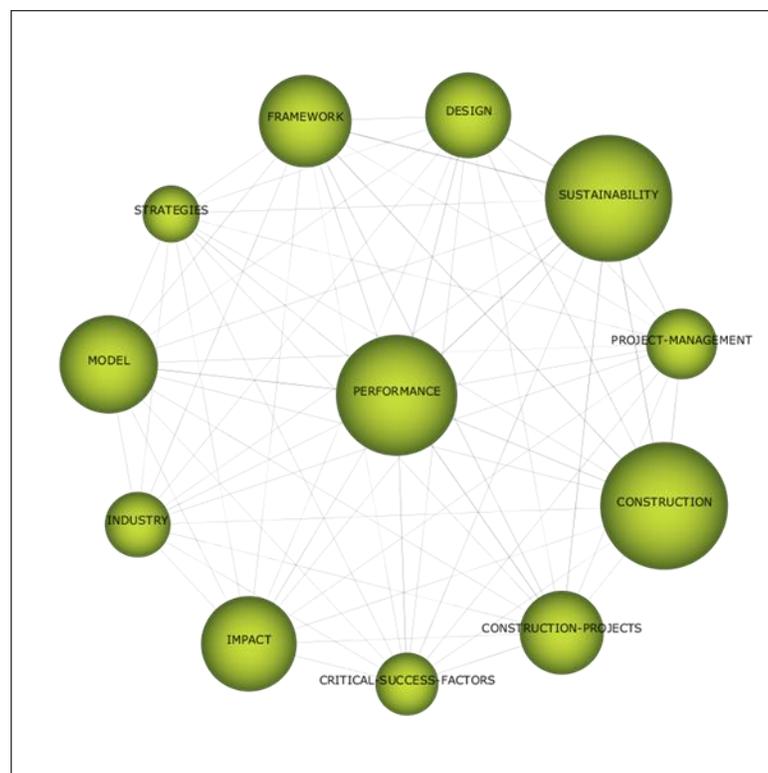


Figure 16. Visualisation de l'agrégat “*Performance*”

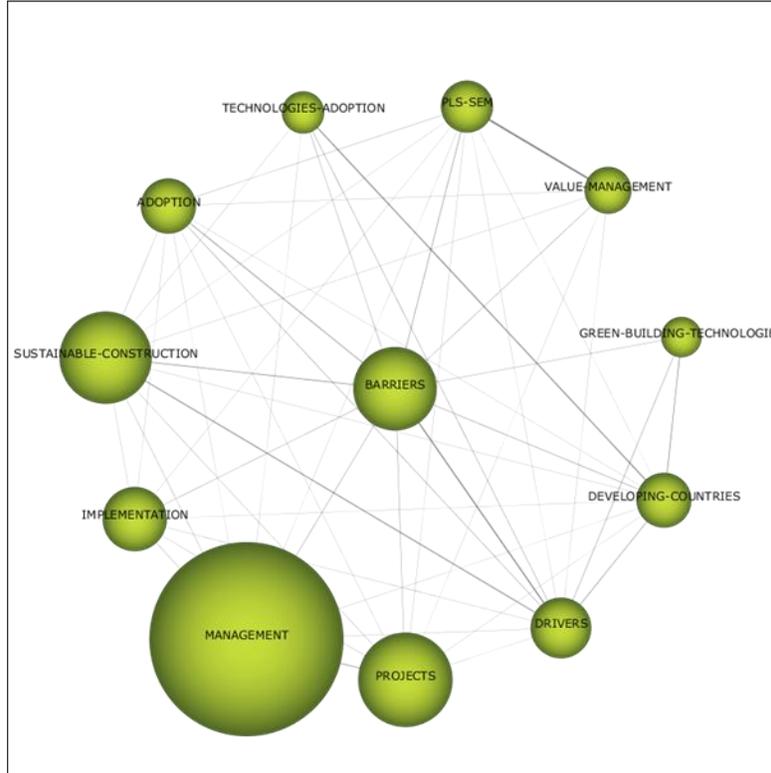


Figure 17. Visualisation de l'agrégat "*Barriers*"

Les résultats de l'analyse révèlent que la gestion durable des projets de construction repose sur l'intégration de modèles théoriques robustes, une évaluation rigoureuse du cycle de vie des projets et une gestion efficace des coûts et des ressources. Bien que les défis liés à l'adoption de ces pratiques soient bien documentés, des stratégies telles que la préfabrication et l'innovation montrent un potentiel significatif pour améliorer la durabilité des projets. En conclusion, cette analyse souligne l'importance d'une approche holistique et structurée pour atteindre les objectifs de durabilité dans le secteur de la construction.

Après avoir exploré l'évolution des thématiques de recherche à travers l'analyse SciMAT, qui a mis en évidence l'émergence et la maturation de concepts clés dans la gestion durable des projets de construction et l'importance croissante des pratiques durables dans la gestion de ces projets, il est essentiel de compléter cette perspective par une analyse plus détaillée des pratiques spécifiques documentées dans la littérature. Cette transition nous amène à examiner non seulement les tendances générales, mais aussi les actions concrètes et les défis pratiques rencontrés sur le terrain.

4.2 ANALYSE DE CONTENU

L'objectif principal de cette analyse est d'approfondir les pratiques de gestion durable des projets documentées dans la littérature scientifique et de comprendre leur incidence sur la réduction de l'empreinte carbone dans les projets de construction. Cette analyse vise à identifier les pratiques les plus fréquemment mentionnées, à évaluer leur efficacité, et à repérer les défis et obstacles communs à leur mise en œuvre.

Pour cette recherche, une codification des données a été réalisée à partir de 92 articles scientifiques sélectionnés (voir Tableau 3). Les concepts clés ont été identifiés et codés sous plusieurs thèmes principaux. La codification a permis de structurer les données de manière à identifier des motifs récurrents et à dégager des tendances significatives, facilitant ainsi l'analyse approfondie des conséquences de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone.

4.2.1 Thèmes principaux

Pour structurer notre analyse de contenu, nous avons adopté une approche systématique en organisant les informations en thèmes, sous-thèmes et sections. Les thèmes principaux

correspondent aux piliers de la GDP identifiés dans la littérature (92 articles sélectionnés). Les sous-thèmes abordent les divers aspects spécifiques de chacun de ces derniers, permettant une organisation en niveaux pour une compréhension approfondie. Avec les sections ou catégories comme pratiques, outils, méthodologies, défis, obstacles, effet, résultat, innovations et tendances, nous mettons en évidence non seulement les pratiques, outils, méthodologies concrètes actuelles, mais aussi les défis à leur adoption, leurs efficacités à la mise en œuvre et les perspectives d'amélioration, donnant ainsi une vue d'ensemble complète des enjeux et des avancées dans le domaine.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse de contenu des articles scientifiques sélectionnés pour cette recherche. Il synthétise les principaux thèmes identifiés, ainsi que les sous-thèmes récurrents. Les pratiques de gestion durable regroupent les actions concrètes mises en œuvre pour atteindre des objectifs de durabilité dans les projets de construction. Elles sont soutenues par des méthodologies et outils spécifiques qui permettent de mesurer et d'optimiser l'incidence environnementale des projets. Les tendances émergentes illustrent une évolution vers des approches de plus en plus innovantes et technologiques, visant à maximiser l'efficacité tout en réduisant l'empreinte carbone.

Tableau 3
 Synthèse des résultats de l'analyse de contenu : Thèmes et sous-thèmes clés liés à la gestion durable des projets de construction

Thèmes principaux					
1. Pratiques de gestion durable des projets	2. Réduction de l'empreinte carbone	3. Défis et obstacles à la mise en œuvre	4. Efficacité des pratiques	5. Innovations et tendances émergentes	6. Gouvernance et gestion des parties prenantes
Sous-thèmes 1					
1.1. Numérisation et outils numériques	2.1. Méthodologies de réduction	3.1. Barrières technologiques et opérationnelles	4.1. Effets et résultats mesurables des pratiques	5.1. Nouvelles approches et technologies	6.1. Engagement et communication
Sections					
1.1.1. BIM et SIG	2.1.1. Optimisation énergétique des bâtiments	3.1.1. Complexité d'intégration de	4.1.1. Réduction de l'empreinte	5.1.1. Jumeaux numériques dans la gestion durable	6.1.1. Implication des parties prenantes dans

1.1.2. Collaboration interdisciplinaire		BIM dans la gestion durable	carbone grâce au BIM et à l'IA	5.1.2.Évaluation dynamique d'empreintes carbone	les projets durables
1.1.3. Jumeau numérique	2.1.2. Utilisation de matériaux bas carbone	3.1.2. Difficultés dans l'adoption des technologies numériques	4.1.2. Efficacité des audits de durabilité sur le cycle de vie des infrastructures	5.1.3. Utilisation de l'IA pour l'optimisation des projets	6.1.2. Gestion des conflits dans les projets de construction durables
1.1.4. IA pour l'analyse de l'empreinte carbone				5.1.4. Lean Construction	
1.1.5. Logiciels de gestion de projet	2.1.3. Simulation d'émissions carbone pour l'entretien routier	3.1.3. Gestion des déchets de construction et de démolition	4.1.3. Optimisation des bâtiments pour réduire les émissions	5.1.5.Méthodologie Agile	6.1.3. Incidence de la gouvernance sur la durabilité
1.1.6. Outils de gestion des déchets					

Sous-thèmes 2			
1.2. Cycle de vie des projets	2.2. Évaluation et suivi	3.2. Résistance au changement et manque de formation	
Sections			
1.2.1. Évaluation du cycle de vie	2.2.1. Audit de durabilité et vulnérabilité	3.2.1. Manque de compétences dans les pratiques durables	
1.2.2. Gestion durable des infrastructures	2.2.2. Système intégré de suivi de la durabilité	3.2.2. Résistance des parties prenantes	
1.2.3. Réutilisation et reconstruction	2.2.3. Incidence des projets de restauration écologique	3.2.3. Défis de la gestion des parties prenantes	

Sous-thèmes 3	
1.3. Certification et normes	
Sections	
1.3.1. LEED, BREEAM	
Sous-thèmes 4	
1.4. Gestion des ressources	
Sections	
1.4.1. Optimisation des matériaux	
1.4.2. Efficacité énergétique	

4.2.1.1 Pratiques de gestion durable des projets :

Sous-thème 1 : Numérisation et outils numériques :

L'utilisation de technologies numériques telles que le BIM, les SIG, l'IA et les jumeaux numériques est essentielle pour améliorer la durabilité dans la gestion des projets de construction. Ces outils permettent une planification précise, une optimisation des ressources et une réduction de l'empreinte carbone.

- BIM et SIG : Ces technologies sont utilisées pour évaluer et améliorer l'efficacité écologique et la durabilité des projets de construction à travers une analyse du cycle de vie. BIM et SIG permettent de simuler différents scénarios et de réduire l'empreinte carbone tout au long du projet (Zubair et al., 2024).

- Pratique : L'intégration de BIM et SIG pour la gestion du cycle de vie des projets permet d'améliorer l'efficacité écologique en visualisant et en analysant les incidences environnementales tout au long du processus de construction.

- Méthodologie : Utilisation d'une évaluation du cycle de vie "*Life Cycle Assessment*" pour quantifier les conséquences environnementales associées à chaque phase du projet, en utilisant les capacités de modélisation 3D du BIM et la gestion spatiale du SIG.

- Collaboration interdisciplinaire : La collaboration interdisciplinaire, telle que décrite par Kaewunruen & Lian (2019), repose sur l'intégration et la coopération entre diverses disciplines et parties prenantes tout au long du cycle de vie de projet

des systèmes d'aiguillage ferroviaire. En utilisant le BIM 6D² comme plateforme de partage de données, cette pratique permet de planifier de manière logique et durable, d'améliorer la collaboration et de réduire le gaspillage. Le jumeau numérique facilite la visualisation et la hiérarchisation des options de maintenance, l'estimation précise des coûts et la résolution des problèmes techniques. De plus, il encourage la co-crédation de solutions d'amélioration des politiques et de la durabilité entre des parties prenantes aux horizons techniques variés.

- Pratique : L'intégration des données de terrain en 3D, facilitée par le BIM, incluant le calendrier, les coûts et la durabilité, afin d'améliorer la collaboration entre les parties prenantes et optimiser les performances durables.

- Outils : Utilisation du BIM 6D pour la gestion du cycle de vie des projets de système d'aiguillage ferroviaire.

- Jumeaux numériques : Les jumeaux numériques permettent d'auditer et d'optimiser la durabilité des projets d'infrastructures comme les stations de métro et les systèmes ferroviaires en simulant les performances en temps réel et en analysant les données tout au long du cycle de vie de ces projets (Kaewunruen, Peng, et al., 2020). En appliquant ces jumeaux numériques intégrés, on peut créer des modèles virtuels précis des infrastructures ainsi de simuler leurs performances en temps réel et d'analyser les données tout au long du cycle de vie de ces projets.

² Les 6D du BIM permettent une approche plus complète et intégrée de la gestion de projets de construction : la 3D pour la visualisation géométrique, la 4D pour la planification temporelle, la 5D pour l'estimation des coûts et la 6D pour l'évaluation de la durabilité et de l'incidence environnementale (Kaewunruen & Lian 2019).

Cette approche combinée permet aux parties prenantes de prendre des décisions éclairées.

- Pratique : Le concept de jumeau numérique est utilisé pour créer des modèles virtuels précis des infrastructures (comme les stations de métro) pour auditer leur durabilité et vulnérabilité.

- Outils : Jumeau numérique pour la surveillance en temps réel, permettant une évaluation continue des performances environnementales et de la résilience des projets d'infrastructures.

- IA pour l'analyse de l'empreinte carbone : L'intelligence artificielle peut analyser l'incidence des projets de construction sur l'empreinte carbone, en identifiant les sources d'émissions et en proposant des solutions d'optimisation (Mésároš et al., 2024).

- Pratique : L'intelligence artificielle est utilisée pour analyser et prédire l'empreinte carbone des projets de construction, facilitant ainsi une prise de décision plus éclairée pour minimiser les émissions.

- Outils : Modèles d'apprentissage machine pour l'analyse des données environnementales et la simulation des scénarios de réduction des émissions.

- Logiciels de gestion de projet : Sont définis comme des outils commerciaux utilisés pour la planification et la gestion des projets de construction. Ces logiciels sont essentiels pour assurer une allocation continue et optimale du temps et des

ressources tout au long du cycle de vie du projet, contribuant ainsi à une planification durable des projets de construction (Dasovic et al., 2020).

- Pratique : Gérer efficacement les coûts, les calendriers et les ressources tout en intégrant des pratiques durables.

- Outils : L'utilisation de logiciels comme MS Project ou Primavera pour planifier et suivre les aspects durables du projet est documentée.

- Outils de gestion des déchets : Udawatta et al. (2015) mettent en avant plusieurs outils essentiels pour une gestion efficace des déchets dans les projets de construction. Ils soulignent l'importance de former des équipes dédiées et de mettre en place une supervision rigoureuse. L'établissement de lignes directrices stratégiques permet de standardiser les pratiques de gestion de projets de valorisation et de recyclage des déchets. Une conception soignée et une documentation précise sont également cruciales pour réduire les erreurs. L'innovation dans les décisions de gestion des projets de traitement des déchets, ainsi que la prise en compte du cycle de vie complet des matériaux, sont des stratégies clés pour améliorer la gestion des projets de valorisation des déchets et promouvoir des pratiques de construction plus durables.

- Pratique : Déterminer les facteurs critiques et proposer des solutions adaptées pour la gestion des projets de traitement et de recyclage des déchets.

- Méthodologie : L'utilisation de l'analyse factorielle exploratoire³ pour identifier les principaux obstacles à la gestion des projets de valorisation des déchets dans les projets de construction en Australie.

Sous-thème 2 : Cycle de vie des projets :

L'approche du cycle de vie des projets met l'accent sur l'évaluation et la gestion des incidences environnementales à chaque phase, de la conception à la démolition. Cela inclut l'utilisation de l'analyse du cycle de vie pour quantifier les émissions de carbone et optimiser les processus.

- Évaluation du cycle de vie : L'ACV est une méthodologie qui évalue l'incidence environnementale tout au long du cycle de vie d'un projet. Elle est souvent utilisée conjointement avec des outils comme BIM et SIG pour quantifier les émissions de carbone et améliorer la durabilité des projets. L'approche du berceau à la porte (*cradle-to-gate*) qui se concentre sur l'évaluation du cycle de vie des matériaux et des processus de construction, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie de l'usine, sans inclure l'utilisation et la fin de vie du produit, permet d'identifier les opportunités d'amélioration en termes de durabilité, d'optimiser l'utilisation des ressources et de minimiser les émissions de carbone, contribuant ainsi à des pratiques de gestion de projets de

³ L'AFE est une méthode statistique qui est utilisée dans cette étude pour révéler les principaux obstacles à la gestion des déchets dans les projets de construction en Australie. Ce qui a permis de les classer en plusieurs dimensions principales, souvent déterminées par des facteurs liés à la réglementation, au coût, aux connaissances techniques, et aux pratiques de gestion. Cette classification aide les chercheurs à comprendre quels aspects sont les plus critiques pour améliorer les pratiques de valorisation des déchets, en mettant en évidence les domaines nécessitant des interventions ciblées (Udawatta et al. 2015).

construction plus respectueuses de l'environnement. (Russell-Smith & Lepech, 2015).

- Pratique : Intégration de l'évaluation du cycle de vie dans la gestion des projets de construction pour évaluer les incidences environnementales dès la phase de conception jusqu'à la clôture du projet.

- Méthodologie : Cette méthode se concentre sur la minimisation des empreintes tout au long du cycle de vie du projet, en mettant l'accent sur la réduction des émissions de carbone.

- Gestion durable des infrastructures : La gestion durable des infrastructures, selon Kaewunruen, Sresakoolchai, & Zhou (2020) repose sur l'utilisation de la modélisation de l'information du bâtiment en 6D. Cette approche intègre des informations 3D avec des données de planification, d'estimation des coûts et d'analyse de l'empreinte carbone tout au long du cycle de vie du projet. Elle permet une meilleure collaboration entre les parties prenantes, une réduction des erreurs et une gestion plus efficace des actifs et des projets. En prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des infrastructures, cette méthode vise à minimiser les émissions de carbone et à promouvoir des pratiques plus durables dans la gestion de projets de construction.

- Pratique : Utilisation de la gestion du cycle de vie basée sur la durabilité pour les projets d'infrastructures de ponts, intégrant le BIM 6D pour inclure des dimensions supplémentaires comme la durabilité ce qui permet une gestion de projets plus efficace et durable.

- Outils : BIM 6D pour inclure des paramètres de durabilité tout au long de la gestion du cycle de vie des projets d'infrastructures, optimisant ainsi la gestion durable des projets de construction.

- Réutilisation et reconstruction : La réutilisation des infrastructures existantes permet une optimisation des ressources et une réduction des coûts initiaux des projets de construction. En réutilisant les infrastructures existantes, les coûts et l'empreinte carbone associés à la construction de nouveaux projets de bâtiment sont réduits. L'intégration de technologies durables, comme les panneaux solaires, contribue à la création d'un environnement zéro carbone. Cela nécessite une planification minutieuse et une coordination efficace entre les différentes parties prenantes. Une analyse détaillée de l'empreinte carbone permet de planifier efficacement la réduction des émissions futures. Enfin, la prise de décisions basée sur des données précises et actualisées assure une gestion proactive et informée du projet, garantissant ainsi son succès et sa durabilité à long terme. En guise d'exemple, le projet de transformation d'un ancien camp militaire en campus universitaire zéro carbone "Reconstruction of a Zero-Carbon Campus on an Unused Military Camp" à Taïwan démontre ainsi comment la réutilisation et la reconstruction peuvent jouer un rôle central dans la promotion de la durabilité (Liu & Lee, 2022).

- Pratique : Réutilisation des infrastructures existantes pour reconstruire des campus à zéro carbone, minimisant ainsi les nouvelles émissions associées à la construction.

- Méthodologie : Inventaire des émissions de carbone tout au long du cycle de vie de la phase de réutilisation, en intégrant des pratiques de gestion durable de projets.

Sous-thème 3 : Certification et normes :

Les certifications et normes environnementales telles que LEED, BREEAM et autres jouent un rôle crucial dans la promotion de la durabilité. Elles fournissent des directives et des critères pour évaluer les performances environnementales des projets de construction.

- LEED, BREEAM : La certification LEED joue un rôle central dans la gestion durable des projets de construction. L'intégration des critères LEED dans la gestion de projets permet de suivre et d'améliorer la performance environnementale des bâtiments tout au long de leur cycle de vie. Cela inclut la planification, la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments. Maulidevi et al. (2023) soulignent l'importance de la certification LEED pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments d'enseignement supérieur en intégrant des pratiques de construction durable dès les premières phases du projet. L'article présenté par Mésároš et al. (2024) met en avant la certification BREEAM comme un outil essentiel pour la gestion durable des projets de construction. La certification BREEAM permet d'évaluer et d'améliorer la durabilité des projets de construction en tenant compte de divers critères environnementaux. L'article explore également le potentiel de l'intelligence artificielle pour analyser l'incidence de l'industrie de la construction sur l'empreinte carbone, en utilisant les critères BREEAM comme référence. Cela permet aux gestionnaires de projets de prendre des décisions éclairées pour minimiser l'incidence environnementale des projets de construction.

- Pratique : Evaluer et valider les performances durables des projets de construction à travers des cadres méthodologiques avec l'intégration des pratiques de gestion écologiques tout au long du cycle de vie du projet.

- Méthodologie : Les certifications vertes et les normes en l'occurrence les certifications LEED et BREEAM sont essentielles pour évaluer et valider les performances durables.

Sous-thème 4 : Gestion des ressources :

La gestion efficace des ressources, y compris les matériaux, l'énergie et les déchets, est essentielle pour réduire l'empreinte environnementale des projets de construction. Cela implique l'optimisation de l'utilisation des ressources et la minimisation des déchets.

- Optimisation des matériaux : Cette approche permet de surveiller et d'ajuster les performances environnementales tout au long du processus des projets de construction. En définissant des objectifs de durabilité spécifiques, cette méthodologie permet de concevoir des bâtiments respectant des normes environnementales strictes (Russell-Smith & Lepech, 2015).

- Pratique : Fixer des objectifs environnementaux spécifiques et évaluer les performances écologiques tout au long du cycle de vie du bâtiment.

- Méthodologie : L'intégration de l'évaluation du cycle de vie et de la conception de valeur cible (*Target Value Design*) pour optimiser l'utilisation de matériaux durables et recyclables ce qui permet de minimiser l'empreinte écologique.

- Efficacité énergétique : Papachristos et al. (2020) proposent une approche multi-méthodologique pour analyser l'efficacité énergétique des projets de construction en intégrant les opérations de gestion de projet et l'utilisation énergétique des bâtiments. Cette approche permet de surveiller et d'ajuster les opérations de gestion de projet pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de carbone. En alignant les partenaires du projet et en prenant des décisions éclairées tout au long du cycle de vie de ces projets, il est possible de réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO2 de manière significative. Cette méthodologie offre des solutions pour des bâtiments plus durables et à faible émission de carbone, tout en assurant une meilleure qualité de l'environnement intérieur.

- Pratique : Analyser l'incidence des processus de gestion de projet sur la consommation d'énergie et les émissions de carbone dans un bâtiment public au Royaume-Uni.

- Méthodologie : Développer un cadre méthodologique multi-méthodes qui couple la modélisation dynamique des systèmes à la modélisation des performances énergétiques des bâtiments.

Synthèse :

Les articles analysés montrent que l'intégration de technologies numériques telles que le BIM, le SIG, et les jumeaux numériques est essentielle pour une gestion durable des projets de construction. Ces outils facilitent non seulement la visualisation et l'analyse des impacts environnementaux, mais aussi l'optimisation des processus de construction en temps réel. L'évaluation du cycle de vie est fréquemment utilisée pour quantifier les incidences environnementales, soulignant ainsi son importance dans la gestion durable des projets. De

plus, l'intelligence artificielle et les logiciels de gestion de projet permettent une meilleure prise de décision pour minimiser les émissions de carbone, tandis que des outils spécifiques sont employés pour améliorer la gestion des projets de valorisation des déchets. Enfin, les certifications vertes comme LEED et BREEAM, ainsi que l'optimisation des ressources, jouent un rôle clé dans l'atteinte des objectifs de durabilité.

4.2.1.2 Réduction de l'empreinte carbone

Sous-thème 1 : Méthodologies de réduction :

Les méthodologies de réduction de l'empreinte carbone incluent des stratégies et des techniques spécifiques pour minimiser les émissions de GES associées aux projets de construction, comme l'optimisation énergétique, l'utilisation de matériaux bas carbone et la mise en œuvre de technologies vertes.

- Optimisation énergétique des bâtiments : Trinh et al. (2021) proposent une approche innovante pour l'optimisation énergétique des projets de construction en utilisant un algorithme déterministe de type "*Branch-and-Reduce*". Cette méthodologie permet de minimiser les émissions de CO₂ des bâtiments à dalle plate en intégrant des opérations de gestion de projet efficaces. L'article démontre comment l'alignement des partenaires du projet et la prise de décisions éclairées peuvent réduire de manière significative les émissions de carbone. L'algorithme "*Branch-and-Reduce*" permet d'optimiser les matériaux et les processus des projets de construction pour atteindre une réduction supplémentaire de 31 % des émissions de carbone par rapport aux méthodes traditionnelles. Cette approche offre des solutions pratiques pour des bâtiments plus durables et à faible émission de carbone, tout en assurant une gestion de projet efficace et alignée sur les objectifs environnementaux.

- Pratique : Optimisation de la conception des bâtiments plats pour réduire l'empreinte carbone en utilisant des algorithmes déterministes. Cette approche renforce la capacité des chefs de projet à intégrer des solutions numériques pour prendre des décisions éclairées.

- Outils : Algorithmes de type “*Branch-and-Reduce*” pour optimiser les paramètres de conception en fonction des émissions de carbone, améliorant ainsi la gestion durable de ces projets.

- Utilisation de matériaux bas carbone : L'intégration de la comptabilité carbone avec le BIM permet de prendre des décisions éclairées sur le choix des matériaux et des processus de construction. Cette méthodologie permet de suivre et d'optimiser l'empreinte carbone des matériaux tout au long du cycle de vie du projet. En utilisant des outils de modélisation et d'analyse, les gestionnaires de projet peuvent identifier les matériaux à faible émission de carbone et optimiser leur utilisation pour réduire l'empreinte carbone globale des projets de construction. Cette approche permet également de surveiller en temps réel les incidences environnementales et d'ajuster les stratégies de construction en conséquence (Stadel et al., 2011).

- Pratique : Intégration de la comptabilité carbone et du BIM pour sélectionner et utiliser des matériaux à faible empreinte carbone tout au long du cycle de vie du projet.

- Méthodologie : Conception durable intelligente qui utilise des données sur les émissions de carbone pour informer les choix de matériaux dans le BIM.

- Simulation d'émissions carbone pour l'entretien routier : En intégrant l'évaluation du cycle de vie, les gestionnaires de projet peuvent évaluer les

émissions de carbone tout au long du cycle de vie des projets de travaux d'entretien routier, depuis la production des matériaux jusqu'à leur mise en œuvre et leur maintenance. La micro-simulation, quant à elle, permet de modéliser les perturbations du trafic causées par les projets de travaux d'entretien routier et d'estimer les émissions supplémentaires de CO₂ dues aux ralentissements et aux détours. Cette approche combinée offre une vision complète des incidences environnementales des travaux d'entretien routier, permettant aux gestionnaires de projet de prendre des décisions éclairées pour minimiser les émissions de carbone et améliorer la durabilité des projets d'infrastructures routières (Huang et al., 2009).

- Pratique : Simulation des émissions de carbone associées aux projets de travaux d'entretien routier et au trafic perturbé pour optimiser la gestion des projets d'interventions routières.

- Outils : Évaluation du cycle de vie combinée avec des micro-simulations pour prédire et réduire les émissions dues aux projets d'interventions routières.

Sous-thème 2 : Évaluation et suivi :

L'évaluation et le suivi de l'empreinte carbone sont essentiels pour mesurer l'efficacité des pratiques de réduction et pour ajuster les stratégies en conséquence. Cela inclut l'utilisation d'outils comme les systèmes de monitoring intégrés, d'audits et de systèmes de gestion environnementale, permettent d'évaluer l'empreinte carbone des projets en temps réel et d'ajuster les processus pour minimiser les conséquences environnementales.

- **Audit de durabilité et vulnérabilité** : Cette méthodologie permet de prioriser les activités de conception et de construction afin d'améliorer les objectifs de développement durable. En intégrant l'évaluation du cycle de vie avec des jumeaux numériques, les gestionnaires de projet peuvent évaluer les coûts, les émissions de carbone et les besoins sociétaux à chaque étape du cycle de vie du projet. Cette approche permet également d'identifier les risques émergents et de proposer des solutions potentielles pour les atténuer, assurant ainsi une meilleure résilience des projets d'infrastructures (Kaewunruen, Peng, et al., 2020).

- **Pratique** : Utilisation des jumeaux numériques pour auditer la durabilité et la vulnérabilité des projets d'infrastructures en temps réel.

- **Méthodologie** : Audit continu basé sur les données en temps réel fournies par le jumeau numérique, permettant des ajustements rapides pour améliorer la durabilité de la gestion de ces projets.

- **Système intégré de suivi de la durabilité** : En utilisant des technologies de pointe, les gestionnaires de projet peuvent suivre en temps réel les émissions de carbone et ajuster les stratégies de gestion pour minimiser l'empreinte carbone des projets. Cette approche permet également d'identifier les opportunités d'amélioration continue et de garantir que les bâtiments respectent les objectifs de durabilité fixés par les institutions (Maulidevi et al., 2023).

- **Pratique** : Développement d'un système de surveillance intégré pour suivre les performances de durabilité, y compris les émissions de carbone dans les bâtiments éducatifs, améliore la gestion des projets en permettant un suivi plus précis et une optimisation continue.

- Outils : Système de suivi basé sur des indicateurs de durabilité intégrés, incluant des mesures de l'empreinte carbone.

- Incidence des projets de restauration écologique : Il est crucial de planifier et d'exécuter les projets de manière à maximiser les avantages environnementaux tout en minimisant les émissions de carbone. En intégrant des techniques de gestion de projet efficaces, les gestionnaires peuvent surveiller et ajuster les activités de restauration pour optimiser la séquestration du carbone dans les sols et la végétation. Yu et al. (2023) mettent également en avant l'importance de la collaboration entre les différentes parties prenantes pour assurer le succès des projets de restauration et atteindre les objectifs de durabilité.

- Pratique : Évaluation de l'incidence des projets de restauration écologique sur la réduction de l'empreinte carbone dans les écosystèmes de prairies.

- Méthodologie : Analyse des données environnementales pour mesurer la réduction des émissions de carbone due aux efforts de restauration.

Synthèse :

Les méthodes de réduction de l'empreinte carbone identifiées dans les articles incluent l'optimisation énergétique des bâtiments, l'utilisation de matériaux à faible empreinte carbone, et la simulation des émissions carbone. Les résultats montrent que la gestion efficace de ces approches au sein des projets de construction a conduit à des réductions significatives des émissions de carbone dans divers projets.

4.2.1.3 Défis et obstacles à la mise en œuvre

Sous-thème 1 : Barrières technologiques et opérationnelles :

Les prochains paragraphes exposent les barrières technologiques et opérationnelles selon le binôme défi et obstacle. D'une part, la complexité croissante des nouvelles technologies constitue un défi majeur pour leur intégration dans les pratiques de gestion de projets de construction. D'autre part, des obstacles tels que le coût élevé de leur adoption et le manque de compétences spécifiques pour une mise en œuvre efficace freinent leur déploiement optimal.

- Complexité d'intégration de BIM dans la gestion durable : L'intégration complète du BIM dans la gestion durable des projets de construction est un processus complexe qui nécessite une approche systématique et holistique pour maximiser ses avantages environnementaux. Environ 43 % des recherches se concentrent uniquement sur l'analyse énergétique, négligeant d'autres aspects importants tels que la sélection de matériaux verts, la gestion des déchets et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Cela peut être attribué aux limitations techniques et au manque de normes universelles pour guider l'intégration complète du BIM dans les pratiques de gestion durables des projets de construction (Shukra & Zhou, 2021).

- Défi : Difficulté d'intégrer pleinement le BIM dans la gestion durable des projets en raison des limitations techniques et du manque de normes universelles.

- Obstacle : Manque de compatibilité entre les différentes plateformes BIM et les outils de durabilité.

- Difficultés dans l'adoption des technologies numériques : Bien que l'intégration des technologies numériques dans la gestion durable des projets ferroviaires puisse offrir des avantages significatifs à long terme, les coûts initiaux peuvent être élevés en raison des investissements en infrastructure, de la formation, de la compatibilité des systèmes et de la maintenance (Kaewunruen & Lian, 2019).

- Défi : Adoption lente des technologies numériques comme les jumeaux numériques dans les systèmes ferroviaires, en raison de la complexité et des coûts initiaux élevés.

- Obstacle : Résistance des organisations à adopter de nouvelles technologies en raison de l'inertie institutionnelle et des préoccupations concernant les coûts.

- Gestion des déchets de construction et de démolition : Il est crucial de comprendre les définitions légales des déchets et de la récupération, de planifier et de choisir les processus de récupération les plus efficaces et sûrs sur le plan environnemental. De plus, il est essentiel d'améliorer les connaissances sur la génération et la gestion des déchets de construction et de démolition pour atteindre une récupération durable, ce qui nécessite une approche de gestion de projet bien informée et coordonnée (Arm et al., 2017).

- Défi : La gestion efficace des déchets de construction et de démolition est un obstacle majeur pour atteindre les objectifs de durabilité dans les projets de construction.

- Obstacle : Manque de systèmes efficaces pour trier et recycler les matériaux de démolition, ce qui entraîne des coûts supplémentaires et des retards.

Sous-thème 2 : Résistance au changement et manque de formation :

La résistance au changement est souvent un frein à l'adoption des pratiques de gestion durables des projets, renforcée par un manque de sensibilisation, la réticence des parties prenantes à adopter de nouvelles approches et un manque de formation des parties prenantes et des acteurs du projet aux nouvelles méthodes écologiques de gestion de projets.

- Manque de compétences dans les pratiques durables : L'importance d'investir dans le développement des compétences et la formation continue pour promouvoir des pratiques de gestion plus durables dans les projets de construction est essentiel. Les résultats montrent que le manque de formation et de connaissances spécialisées en gestion durable de projets et en gestion de l'énergie entrave l'adoption de ces pratiques (Alhammedi et al., 2024).

- Défi : Insuffisance des compétences techniques et de la formation parmi les gestionnaires de projets pour adopter des pratiques de gestion énergétique durable.

- Obstacle : Manque de programmes de formation spécialisés et d'incitations pour les professionnels à se former aux nouvelles pratiques de gestion durables des projets.

- Résistance des parties prenantes : Plusieurs facteurs contribuant à cette résistance, notamment le manque de compréhension des avantages potentiels des pratiques durables en gestion de projets, l'insuffisance de la coopération entre les praticiens, les institutions de recherche et les organisations environnementales, ainsi que l'absence d'une approche systématique pour poursuivre les objectifs de durabilité. Ces barrières économiques et réglementaires ont une incidence

significative sur l'échec de la transition vers des pratiques de gestion de projets plus durables (Fathalizadeh et al., 2022).

- Défi : Résistance des parties prenantes, notamment les clients et les fournisseurs, à adopter des pratiques de gestion durable des projets de construction en raison des coûts perçus et du manque de compréhension des avantages à long terme.

- Obstacle : Attitudes conservatrices et absence de leadership fort pour promouvoir la durabilité dans les projets de construction.

- Défis de la gestion des parties prenantes : La gestion des parties prenantes dans les projets de construction durables présente des défis significatifs, mais elle est essentielle pour assurer le succès et la durabilité des projets. Les gestionnaires de projet doivent naviguer à travers des intérêts divers et parfois conflictuels des parties prenantes, ce qui peut compliquer la prise de décision et la mise en œuvre des pratiques durables. De plus, Ershadi et al. (2021) indiquent que la communication et la collaboration efficaces sont souvent difficiles à maintenir, surtout lorsque les parties prenantes ont des niveaux de compréhension et d'engagement variés envers les objectifs de durabilité. La gestion des attentes et la résolution des conflits nécessitent des compétences en négociation et en médiation, ainsi qu'une compréhension approfondie des dynamiques de pouvoir et des relations interpersonnelles.

- Défi : Coordination difficile entre les parties prenantes dans les projets de construction durable, surtout lorsque les objectifs ne sont pas alignés.

- Obstacle : Manque de communication claire et d'objectifs partagés entre les parties prenantes, ce qui complique l'atteinte des objectifs de durabilité.

Synthèse :

Les articles révèlent que malgré les avantages des technologies numériques sur les pratiques de gestion durables des projets, plusieurs défis subsistent. Ceux-ci incluent la complexité technique, la résistance des parties prenantes, et le manque de formation adéquate. La gestion des déchets de construction et la réutilisation des infrastructures existantes sont également identifiées comme des obstacles majeurs à la durabilité.

4.2.1.4 Efficacité des pratiques

Sous-thème 1 : Effets et résultats mesurables des pratiques :

L'efficacité des pratiques de gestion durables est évaluée par leur incidence mesurable sur la réduction de l'empreinte carbone, l'amélioration de l'efficacité énergétique, et la performance globale du projet.

- Réduction de l'empreinte carbone grâce au BIM et à l'IA : L'intégration de l'IA et du BIM dans la gestion de projet offre des opportunités significatives pour réduire l'empreinte carbone de l'industrie de la construction, en optimisant les ressources, en améliorant l'efficacité énergétique et en permettant un suivi en temps réel des émissions (Mésároš et al., 2024).

- Effet : L'intégration de l'IA et du BIM dans la gestion des projets de construction a montré une réduction significative de l'empreinte carbone en optimisant les processus de construction et les choix de matériaux.

- Résultat : Les projets utilisant ces technologies ont réussi à réduire les émissions de carbone de manière mesurable par rapport aux projets utilisant des méthodes traditionnelles.

- Efficacité des audits de durabilité sur le cycle de vie des infrastructures : L'utilisation du BIM pour les audits de durabilité offre une méthode efficace pour gérer les projets d'infrastructures de manière durable, en optimisant les ressources, en réduisant les erreurs et en améliorant la communication entre les parties prenantes. L'intégration du BIM en 6D permet de combiner des informations 3D avec des données de planification, d'estimation des coûts et d'analyse de l'empreinte carbone. Cela permet aux gestionnaires de projet de visualiser et de simuler différents scénarios pour identifier les solutions les plus durables et les plus rentables dès les premières phases du projet. En outre, cette approche favorise la collaboration entre les parties prenantes, améliorant ainsi la coordination et la prise de décision (Kaewunruen, Sresakoolchai, et al., 2020).

- Effet : Les audits de durabilité intégrés dans le cycle de vie des infrastructures ont permis de prolonger la durée de vie des ponts tout en réduisant leur conséquence environnementale.

- Résultat : Les infrastructures auditées ont montré une réduction des coûts d'entretien et une amélioration de leur résilience face aux changements climatiques.

- Optimisation des bâtiments pour réduire les émissions : Des algorithmes sophistiqués permettent d'optimiser les conceptions de bâtiments pour réduire leur empreinte carbone tout en assurant leur performance structurelle (Trinh et al., 2021).

- Effet : L'optimisation des conceptions de bâtiments plats à l'aide d'algorithmes a permis de réduire considérablement les émissions de carbone associées à ces structures.

- Résultat : Les bâtiments optimisés ont montré une efficacité énergétique accrue et une empreinte carbone réduite.

Synthèse :

Les pratiques identifiées, telles que l'utilisation de l'IA, l'audit de durabilité via les jumeaux numériques, et l'optimisation des bâtiments, ont démontré une efficacité mesurable dans la réduction de l'empreinte carbone. Les résultats montrent que ces pratiques de gestion durable des projets permettent non seulement de réduire les émissions, mais aussi d'améliorer l'efficacité énergétique et la résilience des infrastructures.

4.2.1.5 Innovations et tendances émergentes

Sous-thème 1 : Nouvelles approches et technologies :

Les innovations et tendances émergentes incluent l'adoption de nouvelles technologies, méthodologies et approches pour améliorer la durabilité des projets. Cela comprend l'IA, les jumeaux numériques, les matériaux innovants.

- Jumeaux numériques dans la gestion durable : Les jumeaux numériques offrent plusieurs avantages clés dans la gestion durable des projets de construction, comme les stations de métro et permet d'optimiser la gestion des actifs, de réduire les émissions de carbone et d'identifier les risques émergents, contribuant ainsi à des projets d'infrastructures plus résilientes et durables (Kaewunruen, Peng, et al., 2020).

- Innovation : Les jumeaux numériques représentent une avancée majeure dans la gestion durable des infrastructures, offrant des possibilités de simulation et d'audit en temps réel.

- Tendances : Adoption croissante des jumeaux numériques dans la gestion des projets d'infrastructure pour améliorer la durabilité et la résilience.

- Évaluation dynamique d'empreintes carbone : L'évaluation dynamique des empreintes carbone offre une méthode efficace pour gérer les projets d'infrastructures de manière durable, en optimisant les ressources et en réduisant les émissions de carbone tout au long du cycle de vie du projet (Kaewunruen & Lian, 2019).

- Innovation : Les systèmes d'évaluation dynamique d'empreintes carbone permettent une gestion proactive et adaptative des projets en temps réel, réduisant les inefficacités.

- Tendances : Intégration de plus en plus courante de ces systèmes dans la gestion des projets d'infrastructures complexes.

- Utilisation de l'IA pour l'optimisation des projets : L'IA permet d'analyser l'empreinte carbone des projets de construction en évaluant la consommation de ressources naturelles, la production de déchets, l'intensité énergétique et les changements environnementaux. Les gestionnaires de projet peuvent ainsi identifier les domaines où des améliorations peuvent être apportées pour réduire l'incidence environnementale (Mésároš et al., 2024).

- Innovation : L'IA est utilisée pour prédire et optimiser les processus de construction, permettant une gestion plus intelligente et durable des projets.

- Tendances : Croissance rapide de l'utilisation de l'IA dans l'industrie de la construction pour atteindre des objectifs de durabilité, notamment grâce à une gestion de projets plus efficace et optimisée.

- Lean Construction : La gestion de la construction Lean dans les projets de construction préfabriquée permet d'améliorer l'efficacité, de réduire les coûts et les déchets, et de promouvoir des pratiques de gestion de projets durables dans l'industrie de la construction (Li et al., 2024).

- Innovation : Évaluer et améliorer les performances des projets de construction préfabriquée en Chine. Ce qui permet de mieux comprendre les facteurs clés et d'optimiser les processus de construction tout au long du projet.

- Tendances : La tendance actuelle de l'approche Lean Construction se concentre sur l'amélioration continue et l'élimination des gaspillages pour optimiser les performances des projets de construction à travers la modélisation par équations structurelles et de la méthode d'évaluation floue.

- Méthodologie Agile : La méthodologie Agile, grâce à sa flexibilité et son adaptabilité, permet une gestion de projet efficace et durable dans le secteur de la construction. L'agilité favorise une collaboration et une communication continues, garantissant que tous les acteurs partagent les mêmes objectifs de durabilité. Les livraisons itératives permettent de tester et d'améliorer constamment les pratiques de construction durable avec une rétroaction continue du client qui participe activement à la réalisation du projet. De plus, la réduction des déchets et l'optimisation des ressources sont réalisées grâce à des cycles de travail courts et des livraisons fréquentes. Enfin, l'amélioration continue est essentielle pour atteindre les objectifs de durabilité à long terme, ce qui permet de promouvoir des pratiques de construction plus durables (Petrelli et al., 2023).

- Innovation : L'intégration de sprints durables dans la méthodologie Agile, permettant des ajustements rapides pour intégrer des pratiques de gestion écologiques.

- Tendances : La tendance actuelle se concentre sur l'amélioration continue des performances de gestion durables tout au long du cycle de vie du projet.

Synthèse :

Les innovations technologiques telles que les jumeaux numériques et les systèmes d'évaluation dynamique d'empreintes carbone se révèlent être des outils prometteurs pour améliorer la gestion durable des projets de construction. Ces technologies permettent une simulation en temps réel et une optimisation proactive des processus, rendant la gestion des projets d'infrastructures plus réactive et efficace. L'intelligence artificielle est également de plus en plus utilisée pour prédire et optimiser les processus de construction, contribuant ainsi à des pratiques plus intelligentes et durables grâce à une gestion de projets améliorée et plus efficace. Par ailleurs, des approches comme le Lean Construction et la méthodologie Agile

sont adoptées pour réduire les déchets, améliorer l'efficacité et intégrer plus facilement des pratiques durables tout au long du cycle de vie des projets.

4.2.1.6 Gouvernance et gestion des parties prenantes

Sous-thème 1 : Engagement et communication :

L'engagement des parties prenantes, renforcé par une communication efficace, est essentiel pour intégrer des pratiques durables dans la gestion des projets ainsi pour obtenir les résultats souhaités en matière de durabilité. Cela implique la collaboration, la transparence, et la gestion des attentes pour aligner les objectifs de durabilité avec les intérêts des différentes parties. La participation active des parties prenantes peut améliorer la prise de décision et la mise en œuvre des initiatives de durabilité.

- Implication des parties prenantes dans les projets durables : L'engagement des parties prenantes est un facteur déterminant pour la réussite des projets de construction durables. En intégrant les parties prenantes dès le début du projet, les gestionnaires peuvent s'assurer que les objectifs de durabilité sont bien compris et soutenus par tous les acteurs impliqués. Cela favorise une meilleure communication et collaboration, permettant de surmonter les défis liés à la durabilité. Leur engagement continu tout au long du projet permet de maintenir un alignement sur les objectifs de durabilité et d'assurer une mise en œuvre efficace des pratiques durables (Wu et al., 2023).

- Pratique : L'implication active des parties prenantes est essentielle pour assurer l'alignement avec les objectifs de durabilité ainsi que la réussite des projets de construction durable, nécessitant une communication claire et des objectifs partagés.

- Résultat : Les projets qui ont intégré les parties prenantes dès le début ont montré une plus grande adhésion aux pratiques durables et une meilleure performance globale.

- Gestion des conflits dans les projets de construction durables : La gestion des conflits est essentielle pour la réussite des projets de construction durables. Une gestion efficace des parties prenantes permet d'identifier et de résoudre les conflits potentiels dès le début du projet, ce qui favorise une meilleure collaboration et communication entre les acteurs impliqués. En comprenant les opportunités et les menaces associées aux parties prenantes, les gestionnaires de projet peuvent établir des objectifs communs et appliquer des stratégies appropriées pour améliorer la satisfaction des parties prenantes. Cela contribue non seulement à la réussite du projet, mais aussi à la durabilité globale en minimisant les interruptions et en optimisant l'utilisation des ressources (Klaus-Rosinska & Iwko, 2021).

- Pratique : La gestion proactive des conflits entre les parties prenantes est cruciale pour éviter les retards et les dépassements de coûts dans les projets durables.

- Résultat : Les projets avec une gestion efficace des conflits ont réussi à maintenir le cap sur leurs objectifs de durabilité malgré les défis rencontrés.

- Incidence de la gouvernance sur la durabilité : La gouvernance des projets comprend des fonctions telles que l'autorisation de l'initiation des projets, l'approbation des étapes clés, l'autorisation des changements, et la conformité aux politiques de l'organisation et aux exigences légales. La relation entre la gouvernance et la performance des projets est démontrée. Les politiques gouvernementales, la politique, l'assistance financière et les programmes

gouvernementaux sont des éléments déterminants pour la réussite de la mise en œuvre des projets durables. Une gouvernance mal alignée peut entraîner des problèmes de performance significatifs (Misnan et al., 2024).

- Pratique : La gouvernance, en particulier le rôle des gouvernements locaux, joue un rôle clé dans la facilitation des pratiques de gestion durable des projets à travers des politiques et des réglementations appropriées.

- Résultat : Les projets soutenus par une gouvernance forte et des incitations gouvernementales ont montré une adoption plus rapide et efficace des pratiques durables de gestion de projets.

Synthèse :

La gouvernance et la gestion des parties prenantes jouent un rôle crucial dans le succès des projets de construction durable. L'implication des parties prenantes dès les premières phases et une gouvernance forte sont essentielles pour garantir l'adhésion aux objectifs de durabilité.

CHAPITRE 5

DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La numérisation des processus de gestion des projets de construction s'affirme comme un levier central pour atteindre les objectifs de durabilité. L'utilisation d'outils numériques comme le BIM, le SIG et les jumeaux numériques permet une approche intégrée et systémique, favorisant une meilleure coordination entre les parties prenantes et une optimisation des ressources. Cette approche, fondée sur des données concrètes, contribue à une réduction significative de l'empreinte carbone des projets, transformant les pratiques de gestion traditionnelles de l'industrie vers des modèles plus écologiques et durables. L'intégration de l'évaluation du cycle de vie et de l'intelligence artificielle dans les processus de gestion de projets renforce cette transition, tout en assurant une gestion proactive des conséquences environnementales tout au long du cycle de vie des projets.

L'accent mis sur la réduction de l'empreinte carbone illustre une évolution vers des pratiques de gestion de projets plus responsables. En optimisant les conceptions et en sélectionnant des matériaux écologiques dès les premières phases du cycle de vie des projets, il est possible de réduire l'incidence environnementale. Ces pratiques de gestion de projets contribuent non seulement à la lutte contre le changement climatique, mais elles améliorent également l'efficacité économique des projets à long terme en réduisant les coûts énergétiques et les besoins en ressources. Néanmoins, il est important de souligner que la majorité des recherches sur ces sujets proviennent du domaine de l'ingénierie et se concentrent principalement sur les aspects techniques, tandis que les cadres spécifiques à la gestion de projet pour intégrer ces dimensions environnementales restent limités. Cette lacune justifie la nécessité d'une approche intégrée qui tienne compte non seulement des solutions technologiques, mais aussi des méthodologies de gestion durable et de la gouvernance des projets. Ainsi, ce travail apporte une contribution en analysant les pratiques de gestion durable sous l'angle de la gestion de projet, en les confrontant aux référentiels

existants et en identifiant les leviers de réduction de l’empreinte carbone spécifiques aux méthodologies en GP.

Toutefois, ces avancées sont confrontées à des défis qui nécessitent une approche holistique et une meilleure coordination entre les parties prenantes. L'adoption des nouvelles technologies est souvent freinée par des coûts initiaux élevés et un manque de compétences, ce qui souligne l'importance des investissements en formation et en développement des capacités. De plus, la résistance au changement met en lumière la nécessité d'une communication claire sur les avantages à long terme des pratiques durables de gestion de projets et d'une stratégie de gestion du changement bien conçue pour faciliter la transition dans le secteur de la construction.

L'intégration de l'intelligence artificielle et des audits de durabilité dans la gestion des projets de construction permet de maximiser les résultats tout en minimisant les conséquences environnementales. Cela suggère que ces pratiques deviendront progressivement des normes dans l'industrie à mesure que les technologies deviennent plus accessibles et que les coûts diminuent. Cette évolution vers des approches plus prédictives et adaptatives permet de répondre rapidement aux défis environnementaux et contribue à une gestion durable des projets.

Les innovations et les tendances émergentes dans la gestion durable des projets de construction, notamment l'adoption des jumeaux numériques, des systèmes d'évaluation dynamique d'empreintes carbone, et de l'intelligence artificielle, marquent une transformation significative dans l'industrie. Ces technologies permettent une gestion plus adaptative et intelligente, capable de répondre aux exigences de durabilité en temps réel. La montée en puissance du Lean Construction et de la méthodologie Agile témoigne d'une

tendance vers des pratiques plus flexibles, axées sur la réduction des déchets et l'amélioration continue. Ces approches et technologies, en facilitant une gestion durable et optimisée, ont le potentiel de remodeler les standards de l'industrie pour répondre aux défis environnementaux actuels.

Cependant, le succès de ces initiatives dépend fortement de la qualité de la gouvernance et de la gestion des parties prenantes. Une approche proactive et inclusive est essentielle pour améliorer la collaboration, réduire les conflits, et atteindre les objectifs de durabilité. En outre, une gouvernance efficace, soutenue par des politiques et des régulations adaptées, peut accélérer l'adoption des pratiques de gestion durables dans les projets de construction.

La gestion durable des projets de construction et la réduction de l'empreinte carbone sont des objectifs réalisables, à condition d'adopter une approche intégrée et systématique pour relever les défis identifiés. L'intégration des technologies numériques telles que les jumeaux numériques, l'intelligence artificielle, et les systèmes d'évaluation dynamique d'empreintes carbone, combinée à des pratiques comme le Lean Construction et la méthodologie Agile, offre un potentiel considérable pour transformer l'industrie vers des modèles plus écologiques et durables. Cependant, le succès de ces initiatives dépend largement de la qualité de la gouvernance, de la gestion des parties prenantes, et de l'adoption des nouvelles technologies. Une gouvernance efficace, soutenue par des politiques adaptées et une formation adéquate, est essentielle pour surmonter les obstacles tels que les coûts initiaux élevés et la résistance au changement. En optimisant les processus de conception, en sélectionnant des matériaux écologiques dès les premières phases du cycle de vie des projets, et en assurant une communication claire sur les avantages à long terme des pratiques de gestion durables, il est possible de maximiser l'efficacité économique et environnementale des projets.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans un contexte où les enjeux environnementaux sont de plus en plus pressants, la durabilité est devenue une priorité incontournable. Ainsi ce mémoire a examiné l'incidence de la gestion durable des projets de construction sur la réduction de l'empreinte carbone. Dans cette optique, nous avons analysé comment les projets de construction adaptent leur gestion de projet pour améliorer leur durabilité, en identifiant les pratiques de GDP adoptées dans ce secteur, en évaluant les meilleures stratégies à mettre en œuvre et en repérant les obstacles à leur adoption pour surmonter les défis associés. En nous appuyant sur des données secondaires, nous avons pu obtenir des résultats diversifiés et validés, couvrant un large éventail de cas et de contextes géographiques. Cette approche a permis de synthétiser les résultats des recherches existantes et d'apporter une contribution significative à la compréhension de l'incidence de la GDP sur l'empreinte carbone dans le secteur de construction.

Nous avons adopté une approche hybride, combinant une revue systématique et une revue narrative pour examiner la GDP dans le secteur de la construction. Cette méthodologie a permis d'identifier des tendances clés grâce aux outils VOSviewer et SciMAT, où une analyse bibliométrique a mis en lumière les principales thématiques et relations conceptuelles issues de 2233 articles scientifiques provenant de la base de données Web of Science. L'analyse avec SciMAT a révélé une transition des cadres théoriques vers des applications pratiques. Par la suite, une analyse de contenu a approfondi les pratiques de GDP documentées dans la littérature scientifique afin de comprendre leur incidence sur la réduction de l'empreinte carbone dans les projets de construction. Cette démarche a permis d'identifier les pratiques les plus fréquemment mentionnées, d'évaluer leur efficacité et de repérer les principaux défis à leur mise en œuvre. Pour cette recherche, 92 articles

scientifiques, sélectionnés à partir de quatre bases de données (Scopus, Web of Science, Science Direct et Google Scholar), ont été analysés et codifiés selon des concepts clés regroupés sous plusieurs thèmes principaux. De plus, une revue narrative a enrichi cette approche en intégrant des articles supplémentaires pour approfondir les définitions des concepts clés, offrant ainsi une vision plus nuancée des pratiques de GDP.

L'une des contributions majeures de cette recherche est l'affirmation que l'intégration de technologies numériques avancées constitue un levier central pour atteindre les objectifs de durabilité dans le secteur de la construction. En particulier, le BIM joue un rôle critique dans la gestion des ressources, la réduction des déchets et la simulation des performances énergétiques des projets. L'utilisation de systèmes d'information géographique et de jumeaux numériques permet également une planification plus efficace et une optimisation en temps réel des opérations. Ces innovations, notamment les systèmes d'évaluation dynamique des empreintes carbone, marquent un tournant dans la GDP. Elles offrent une approche proactive et adaptative, capable de simuler les conséquences des décisions et d'ajuster les processus en fonction des résultats obtenus. Cette recherche démontre ainsi comment ces technologies peuvent transformer les pratiques de GP de construction vers une approche plus durable et responsable.

L'évaluation du cycle de vie apparaît comme un outil indispensable pour mesurer les incidences environnementales de chaque phase des projets de construction, depuis la conception passant par la clôture des projets et jusqu'à la fin de vie des bâtiments. L'intelligence artificielle et les logiciels de GP permettent d'anticiper les conséquences environnementales et d'optimiser les choix en matière de matériaux, d'énergie, et de processus de construction. Les résultats montrent que ces pratiques ont effectivement conduit à des réductions significatives des émissions de carbone dans les projets de construction. Par exemple, l'optimisation énergétique des bâtiments et l'utilisation de matériaux à faible

empreinte carbone se sont révélées être des stratégies efficaces pour minimiser les émissions tout au long du cycle de vie des projets. Des outils comme la simulation des émissions carbone permettent de modéliser les incidences environnementales et de tester différentes options pour choisir celles qui sont les plus durables.

Cependant, bien que l'incidence des pratiques de GDP soit indéniable, les défis restent importants. La recherche a mis en évidence des barrières techniques et organisationnelles qui freinent l'adoption généralisée de ces pratiques. Les coûts initiaux élevés des technologies numériques, le manque de compétences en matière d'utilisation des nouvelles technologies et la résistance des parties prenantes à adopter de nouvelles méthodes de GP sont parmi les principaux obstacles identifiés. Cela souligne l'importance d'une formation adéquate et continue, ainsi qu'une stratégie de gestion du changement pour surmonter ces résistances.

La gestion des parties prenantes et la gouvernance se révèlent également des éléments essentiels pour garantir le succès des projets de construction durable. Une gestion proactive et inclusive, impliquant toutes les parties dès les premières phases du projet, est cruciale pour maintenir l'alignement sur les objectifs de durabilité. La recherche montre que les projets où la gouvernance est forte et où les parties prenantes sont engagées dès le début tendent à mieux atteindre les objectifs de réduction de l'empreinte carbone. De plus des approches de GP telles que le Lean Construction et l'approche Agile sont de plus en plus adoptées pour maximiser l'efficacité, réduire les déchets et mieux intégrer les pratiques de durabilité tout au long du cycle de vie des projets. Ces méthodes favorisent une amélioration continue en permettant aux équipes de s'adapter aux changements et de réagir rapidement face aux défis imprévus.

Cette étude souligne que la gestion durable des projets de construction peut significativement réduire l'empreinte carbone, à condition d'adopter une approche systématique et intégrée. L'optimisation des processus de conception, la sélection de matériaux écologiques et l'utilisation des technologies comme le BIM, l'analyse de cycle de vie et les jumeaux numériques sont des stratégies essentielles pour transformer l'industrie de la construction vers des modèles plus durables. Toutefois, le succès de ces initiatives repose en grande partie sur la capacité des gestionnaires de projets à surmonter les défis liés aux coûts initiaux, à la résistance au changement et au manque de compétences techniques. L'avenir de la gestion durable des projets de construction dépendra de la capacité de l'industrie à intégrer ces nouvelles technologies et à surmonter les défis organisationnels. La gouvernance et l'implication des parties prenantes jouent un rôle déterminant dans l'adoption des pratiques de GDP. Avec des investissements adéquats dans la formation et une gestion des changements bien orchestrée, les projets de construction pourront non seulement contribuer à la lutte contre le changement climatique, mais aussi améliorer leur efficacité économique à long terme. L'avenir de la construction durable repose donc sur l'innovation continue et une approche holistique de la GP, alliant technologies avancées et gouvernance responsable.

En définitive, il est essentiel que le secteur de la construction continue d'évoluer vers des pratiques plus durables. Cela nécessite un engagement collectif et une volonté d'innover pour surmonter les défis actuels. Cette étude présente certaines limites, notamment l'absence de données primaires, ce qui peut restreindre la profondeur des conclusions. Cette lacune souligne l'importance de futures recherches qui pourraient explorer des données empiriques pour valider et enrichir les résultats obtenus. Des recherches futures pourraient se concentrer sur l'analyse comparative entre différents pays ou régions, afin d'identifier les facteurs culturels et réglementaires qui influencent l'adoption des pratiques de GDP. Une telle approche pourrait également inclure des enquêtes auprès des professionnels du secteur pour recueillir des perspectives sur les défis rencontrés et les solutions potentielles. Enfin,

l'exploration de nouvelles technologies et innovations dans le domaine de la construction durable pourrait offrir des pistes intéressantes pour améliorer encore la gestion des projets. En intégrant ces éléments, les recherches à venir pourraient non seulement valider les résultats de cette étude, mais aussi proposer des solutions pratiques pour surmonter les défis identifiés, ainsi que des recommandations concrètes pour une GP plus durable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES⁴

- Aarseth, W., Ahola, T., Aaltonen, K., Økland, A., & Andersen, B. (2017). Project sustainability strategies: A systematic literature review. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1071-1083. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.11.006>
- Akadiri, P., Chinyio, E., & Olomolaiye, P. (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. *Buildings*, 2, 126-152. <https://doi.org/10.3390/buildings2020126>
- Alhammadi, Y., Kineber, A. F., & Alhusban, M. (2024). Investigating Barriers to the Adoption of Energy Management Practices for Sustainable Construction Projects: SEM and ANN Approaches. *Civil Engineering Journal-Tehran*, 10(4), 1232-1253. <https://doi.org/10.28991/cej-2024-010-04-015>. *
- Arafat, Y. (2023). The sustainable development and construction project management: A review and future possibilities. *
- Arm, M., Wik, O., Engelsen, C. J., Erlandsson, M., Hjelm, O., & Wahlström, M. (2017). How Does the European Recovery Target for Construction & Demolition Waste Affect Resource Management? [Article]. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1491-1504. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9661-7>. *
- Biesenthal, C., & Wilden, R. (2014). Multi-level project governance: Trends and opportunities. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1291-1308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.06.005>
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394-416. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>

⁴ Note : Les références précédées d'un « * » sont celles ayant servi directement à l'analyse de contenu.

- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155-205. <https://doi.org/10.1007/BF02019280>
- Carvalho, M. M., & Rabechini Jr, R. (2017). Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1120-1132.
- Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, 143, 395-413. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>
- Chen, X., Huang, M., Bai, Y., & Zhang, Q. B. (2024). Sustainability of underground infrastructure – Part 1: Digitalisation-based carbon assessment and baseline for TBM tunnelling [Article]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 148, Article 105776. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105776>. *
- Cole, R., & Valdebenito, M. (2013). The importation of building environmental certification systems: International usages of BREEAM and LEED. *Building Research and Information*, 41. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.802115>
- Dasovic, B., Galic, M., & Klansek, U. (2020). A Survey on Integration of Optimization and Project Management Tools for Sustainable Construction Scheduling. *Sustainability*, 12(8), Article 3405. <https://doi.org/10.3390/su12083405>. *
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451-464. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>
- Eid, M. (2009). *Sustainable Development & Project Management*. Lambert Academic Publishing.
- Ershadi, M., & Goodarzi, F. (2021). Core capabilities for achieving sustainable construction project management. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1396-1410. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.020>. *
- Ershadi, M., Jefferies, M., Davis, P., & Mojtahedi, M. (2021). Achieving Sustainable Procurement in Construction Projects: The Pivotal Role of a Project Management Office. *Construction Economics and Building*, 21(1), 45-64. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i1.7170>. *

- Eskerod, P., & Huemann, M. (2013). Sustainable development and project stakeholder management: What standards say. *International Journal of Managing Projects in Business*, 6. <https://doi.org/10.1108/17538371311291017>
- Fathalizadeh, A., Hosseini, M. R., Vaezzadeh, S. S., Edwards, D. J., Martek, I., & Shooshtarian, S. (2022). Barriers to sustainable construction project management: the case of Iran. *Smart and Sustainable Built Environment*, 11(3), 717-739. <https://doi.org/10.1108/sasbe-09-2020-0132>. *
- Fernández-Sánchez, G., & Rodríguez-López, F. (2010). A methodology to identify sustainability indicators in construction project management—Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators*, 10(6), 1193-1201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.04.009>. *
- Fowler, K. M., & Rauch, E. M. (2006). Sustainable building rating systems summary.
- Fowler, K. M., Rauch, E. M., Henderson, J. W., & Kora, A. R. (2010). Re-assessing green building performance: A post occupancy evaluation of 22 GSA buildings.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman. <https://books.google.ca/books?id=4PUJAQAAMAAJ>
- Gareis, R., Huemann, M., & Martinuzzi, A. (2013). *Project Management & Sustainable Development Principles*.
- Gieseckam, J., Barrett, J., & Taylor, P. (2015). Construction sector views on low carbon building materials. *Building Research & Information*, 44, 1-23. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1086872>
- Goel, A., Ganesh, L., & Kaur, A. (2020). Project management for social good: A conceptual framework and research agenda for socially sustainable construction project management. *International Journal of Managing Projects in Business*, 13(4), 695-726. *
- Goel, A., Ganesh, L. S., & Kaur, A. (2019). Sustainability integration in the management of construction projects: A morphological analysis of over two decades' research literature. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117676. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117676>. *
- Häkkinen, T., & Belloni, K. (2011). Barriers and drivers for sustainable building. *Building Research and Information - BUILDING RES INFORM*, 39, 239-255. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.561948>

- Heigermoser, D., García de Soto, B., Abbott, E. L. S., & Chua, D. K. H. (2019). BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*, 104, 246-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>. *
- Herazo, B. (2017). *The Influence of Sustainability in Project Management Practices in the Building Sector* Université de Montréal].
- Hill, R. C., & Bowen, P. A. (1997). Sustainable construction: principles and a framework for attainment. *Construction Management & Economics*, 15(3), 223-239.
- Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906-1916. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
- Huang, Y., Bird, R., & Bell, M. (2009). A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation [Article]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.003>. *
- Hwang, B.-G., & Tan, J. S. (2012). Sustainable project management for green construction: challenges, impact and solutions. *World construction conference*. *
- Imperatives, S. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*. Accessed Feb, 10(42,427).
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.007>
- James, W. (1907). *Pragmatism: A new name for some old ways of thinking* [doi:10.1037/10851-000]. Longmans, Green and Co. <https://doi.org/10.1037/10851-000>
- Jaya, N. M., & Frederika, A. (2015). An Identification of Construction Project Overheads for Sustainable Cost Management and Controlling Practices (CMCPs). *Applied Mechanics and Materials*, 776, 121-126. *
- Jiang, X., Zhou, H., Li, M., Lu, K., Lyu, S., Omrani, S., & Skitmore, M. (2023). Sustainable construction projects management in the AEC industry: analysis and visualization. *International Journal of Construction Management*, 24, 1-16. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2257477>. *

- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26. <https://doi.org/10.3102/0013189x033007014>
- Kaewunruen, S., & Lian, Q. (2019). Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1537-1551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.156>. *
- Kaewunruen, S., Peng, S., & Phil-Ebosie, O. (2020). Digital twin aided sustainability and vulnerability audit for subway stations [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19), Article 7873. <https://doi.org/10.3390/SU12197873>. *
- Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., & Zhou, Z. (2020). Sustainability-based lifecycle management for bridge infrastructure using 6D BIM [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6), Article 2436. <https://doi.org/10.3390/su12062436>. *
- Khan, A. U., & Huang, L. (2023). Toward Zero Emission Construction: A Comparative Life Cycle Impact Assessment of Diesel, Hybrid, and Electric Excavators. *Energies*, 16(16), 6025. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/16/6025>
- Khasreen, M., Banfill, P., & Menzies, G. (2009). Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. *Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
- Kibert, C. (1994). ESTABLISHING PRINCIPLES AND A MODEL FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Kim, J., Koo, C., Kim, C.-J., Hong, T., & Park, H. S. (2015). Integrated CO₂, cost, and schedule management system for building construction projects using the earned value management theory. *Journal of Cleaner Production*, 103, 275-285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.031>. *
- Klaus-Rosinska, A., & Iwko, J. (2021). Stakeholder Management-One of the Clues of Sustainable Project Management-As an Underestimated Factor of Project Success in Small Construction Companies. *Sustainability*, 13(17), Article 9877. <https://doi.org/10.3390/su13179877>. *
- Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2005). Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management*, 23(2), 159-168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.06.003>

- Lalmi, A., Fernandes, G., & Souad, S. B. (2021). A conceptual hybrid project management model for construction projects. *Procedia Computer Science*, 181, 921-930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.248>. *
- Lee, W. L., & Burnett, J. (2008). Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. *Building and Environment*, 43(11), 1882-1891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.007>
- León-Romero, L. P., Aguilar-Fernández, M., Luque-Sendra, A., Zamora-Polo, F., & Francisco-Márquez, M. (2024). Characterization of the information system integrated to the construction project management systems. *Heliyon*, 10(11), e31886. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31886>. *
- Li, C. Z., Tam, V. W. Y., Hu, M., & Zhou, Y. (2024). Lean construction management: A catalyst for evaluating and enhancing prefabricated building project performance in China. *Journal of Building Engineering*, 94, 109930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109930>. *
- Liu, H. Y., & Lee, H. C. (2022). The Carbon Inventory of the Reuse Phase's Life Cycle: The Example of the Reconstruction of a Zero-Carbon Campus on an Unused Military Camp [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3), Article 1064. <https://doi.org/10.3390/su14031064>. *
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134-148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>
- Martens, M. L., & Carvalho, M. M. (2017). Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1084-1102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.04.004>
- Maulidevi, N. U., Aji, B. S. K., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Modeling Integrated Sustainability Monitoring System for Carbon Footprint in Higher Education Buildings [Article]. *IEEE Access*, 11, 135365-135376. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333890>. *
- Mésároš, P., Smetanková, J., Behúnová, A., & Krajníková, K. (2024). The Potential of Using Artificial Intelligence (AI) to Analyse the Impact of Construction Industry on the Carbon Footprint [Article]. *Mobile Networks and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11036-024-02368-y>. *

- Misnan, M. S., Ismail, M. Z., & Yan, T. J. (2024). Construction Project Management Issues and Development in Current for Future Construction Project: Challenges and Prospects in Sustainable Project Management. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(2), 1997-2011. *
- Mitchell, R. K., Agle, B. R., & Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *The Academy of Management Review*, 22(4), 853-886. <https://doi.org/10.2307/259247>
- Mukerji, D. (2017). Transcendent Leadership for Sustainable Construction Project Management in China and India. *The Palgrave Handbook of Leadership in Transforming Asia*, 417-444. *
- Müller, R., & Lecoivre, L. (2014). Operationalizing governance categories of projects. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1346-1357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.04.005>
- Nawaz, A., Chen, J., & Su, X. (2023). Factors in critical management practices for construction projects waste predictors to C&DW minimization and maximization. *Journal of King Saud University - Science*, 35(2), 102512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102512>. *
- Nezhaddehghan, M., Ansari, R., & Banihashemi, S. A. (2023). An optimized hybrid decision support system for waste management in construction projects based on gray data: A case study in high-rise buildings. *Journal of Building Engineering*, 80, 107731. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107731>. *
- Papachristos, G., Jain, N., Burman, E., Zimmermann, N., Mumovic, D., Davies, M., & Edkins, A. (2020). Low carbon building performance in the construction industry: A multi-method approach of project management operations and building energy use applied in a UK public office building. *Energy and Buildings*, 206, 109609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109609>. *
- Peng, C. (2016). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, 112, 453-465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>
- Petrelli, M. Z., Pacagnella, A. C., Jr., Ignacio, P. S. D., Rampasso, I. S., Anholon, R., & Bortoletto, W. W. (2023). Sustainable practices in construction project management: impacts on triple bottom line. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 177(3), 150-161. <https://doi.org/10.1680/jensu.21.00109>. *

- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592-1600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P., & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), 701-720. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2011). Greening Project Management Practices for Sustainable Construction. *Journal of Management in Engineering*, 27(1), 48-57. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000030](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000030). *
- Russell-Smith, S. V., & Lepech, M. D. (2015). Cradle-to-gate sustainable target value design: Integrating life cycle assessment and construction management for buildings [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 100, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.044>. *
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249-257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- Shukra, Z. A., & Zhou, Y. (2021). Holistic green BIM: a scientometrics and mixed review [Article]. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(9), 2273-2299. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0377>. *
- Silvius, A. J. G., & Schipper, R. P. J. (2014). Sustainability in project management: A literature review and impact analysis. *Social Business*, 4. <https://doi.org/10.1362/204440814X13948909253866>
- Smith, R. E. (2016). Off-site and modular construction explained. National institute of building sciences.
- Stadel, A., Eboli, J., Ryberg, A., Mitchell, J., & Spatari, S. (2011). Intelligent sustainable design: Integration of carbon accounting and building information modeling [Article]. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 137(2), 51-54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000053). *
- Trinh, H. T. M. K., Chowdhury, S., Nguyen, M. T., & Liu, T. (2021). Optimising flat plate buildings based on carbon footprint using Branch-and-Reduce deterministic algorithm [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 320, Article 128780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128780>. *

- Udawatta, N., Zuo, J., Chiveralls, K., & Zillante, G. (2015). Improving waste management in construction projects: An Australian study. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 73-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.003>. *
- Ullah, M., Khan, M. W. A., Rana, F., Ahmad, I., & Khan, A. (2024). Navigating sustainable project management in construction: Exploring the differential impact of coercive pressures and ethical responsibility using importance-performance matrix analysis (IPMA). *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8(4), Article 3109. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i4.3109>. *
- Wang, W. (2021). The concept of sustainable construction project management in international practice. *Environment Development and Sustainability*, 23(11), 16358-16380. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01333-z>. *
- Wanlin, P. (2007). L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. *Actes du Colloque Bilan et Perspectives de la Recherche Qualitative*, 3, 243-272.
- Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., & Mateen Khan, A. (2023). Integration of passive RFID for small-scale construction project management. *Data and Information Management*, 7(4), 100055. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dim.2023.100055>. *
- Wu, S. W., Yan, Y. F., Pan, J. L., & Wu, K. S. (2023). Linking Sustainable Project Management with Construction Project Success: Moderating Influence of Stakeholder Engagement. *Buildings*, 13(10), Article 2634. <https://doi.org/10.3390/buildings13102634>. *
- Yu, L., Liu, S., Wang, F., Liu, H., Liu, Y., Wang, Q., & Zhao, Y. (2023). Effect of ecological restoration projects on carbon footprint in a grassland ecosystem on the Qinghai-Tibet Plateau [Article]. *Land Degradation and Development*, 34(18), 5824-5834. <https://doi.org/10.1002/ldr.4880>. *
- Zubair, M. U., Ali, M., Khan, M. A., Khan, A., Hassan, M. U., & Tanoli, W. A. (2024). BIM- and GIS-Based Life-Cycle-Assessment Framework for Enhancing Eco Efficiency and Sustainability in the Construction Sector [Article]. *Buildings*, 14(2), Article 360. <https://doi.org/10.3390/buildings14020360>. *
- Zuo, J., & Zhao, Z.-Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271-281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>

