Revue Française d'Économie et de Gestion
ISSN : 2728- 0128
Volume 7 : Numéro 11

L'intelligence artificielle et la performance environnementale des entreprises : une revue systématique de la littérature et une analyse bibliométrique

Artificial Intelligence and Corporate Environmental Performance: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis

HARAIFI Hafssa
Doctorante
Faculté d'Économie et de Gestion de Fès
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (USMBA)-Maroc
Laboratoire Etudes et recherches en management des organisations et des territoires (ERMOT).

GHADA Moufdi
Enseignant chercheur
Faculté d'Économie et de Gestion de Fès
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (USMBA)-Maroc
Laboratoire Etudes et recherches en management des organisations et des territoires (ERMOT).

Date de soumission : 30/07/2026

Date d'acceptation : 18/10/2026

Pour citer cet article :

HARAIFI. H. GHADA. M. (2026) « L'intelligence artificielle et la performance environnementale des entreprises : une revue systématique de la littérature et une analyse bibliométrique », Revue Française d'Économie et de Gestion « Volume 7 : Numéro 11 » pp : 104- 128.

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License

Résumé

Le développement rapide de l'intelligence artificielle (IA) renforce la nécessité d'examiner sa contribution à la performance environnementale et à l'efficacité énergétique. Cette étude analyse l'état actuel de la recherche sur le rôle de l'IA dans l'amélioration des performances environnementales et énergétiques des entreprises et identifie les principales tendances et orientations futures. Une revue systématique de la littérature et une analyse bibliométrique ont été menées sur 71 articles scientifiques publiés entre 2014 et 2025 et indexés dans Scopus. L'analyse combine une analyse descriptive et de performance avec une cartographie scientifique réalisée à l'aide de VOSviewer, afin d'identifier les principales publications, collaborations, structures intellectuelles et thématiques de recherche. Les résultats révèlent un recours croissant à l'IA pour optimiser la consommation énergétique, réduire les impacts environnementaux et soutenir la prise de décision durable. Ils mettent également en évidence l'émergence de recherches sur l'innovation verte, la gouvernance environnementale et l'empreinte environnementale de l'IA. Ces résultats soulignent ainsi le double rôle de l'IA, à la fois levier d'efficacité environnementale et source de nouveaux défis de durabilité.

Mots-clés : intelligence artificielle ; performance environnementale ; efficacité énergétique ; durabilité ; revue systématique de la littérature ; analyse bibliométrique.

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) has increased the need to examine its contribution to environmental performance and energy efficiency. This study examines the current state of research on the role of AI in improving the environmental and energy performance of firms and identifies major research trends and future directions. A systematic literature review and bibliometric analysis were conducted on 71 scientific articles published between 2014 and 2025 and indexed in Scopus. Descriptive and performance analyses were combined with scientific mapping using VOSviewer to identify major publications, collaborations, intellectual structures, and research themes. The results reveal a growing use of AI to optimize energy consumption, reduce environmental impacts, and support sustainable decision-making. They also highlight emerging research on green innovation, environmental governance, and the environmental footprint of AI. Overall, the findings reveal the dual role of AI as a driver of environmental efficiency and a source of new sustainability challenges.

Keywords: artificial intelligence; environmental performance; energy efficiency; sustainability; systematic literature review; bibliometric analysis.

Introduction

Le développement rapide de l'intelligence artificielle (IA) et des technologies numériques renforce la nécessité d'examiner leur contribution à la performance environnementale et à l'efficacité énergétique des organisations. L'IA s'impose comme un levier du développement durable grâce à la prise de décision fondée sur les données, l'optimisation des processus et la gestion environnementale prédictive (Gómez Gandía et al., 2025; Abonamah et al., 2025; Behnia et al., 2025). Ses applications permettent notamment d'optimiser les réseaux énergétiques, de réduire les déchets et d'améliorer la maintenance industrielle, avec des bénéfices environnementaux et économiques potentiels (Zhou & Bu, 2025).

Cependant, malgré ces résultats prometteurs, l'adoption de l'intelligence artificielle soulève également des préoccupations concernant sa propre empreinte environnementale. La puissance de calcul nécessaire pour entraîner et déployer de grands modèles d'IA implique une consommation énergétique importante ainsi que des émissions significatives de carbone, créant ainsi un paradoxe entre « l'IA au service de la durabilité » et la « durabilité de l'IA » (Koteczki et al., 2025). Cette dualité souligne la nécessité d'appréhender simultanément les bénéfices environnementaux permis par l'IA et son propre impact environnemental.

Les travaux récents examinent différents mécanismes par lesquels l'IA contribue à la performance environnementale et énergétique. Zhou et Bu (2025) montrent que l'adoption de l'IA peut réduire la consommation énergétique des entreprises à travers l'innovation verte et les capacités numériques. Gómez Gandía et al. (2025) mettent en évidence ses applications dans les produits durables, la gestion des déchets et l'optimisation énergétique, tandis qu'Abonamah et al. (2025) soulignent son potentiel dans le secteur énergétique pour réduire le gaspillage et les émissions de carbone. Toutefois, la littérature demeure fragmentée entre les recherches portant sur l'IA comme levier de performance environnementale et énergétique et celles consacrées à son empreinte environnementale. Cette fragmentation limite une compréhension intégrée de l'évolution, de la structure intellectuelle et des orientations de recherche à l'intersection de ces dimensions.

La présente étude vise à contribuer à cette littérature à travers une revue systématique et une analyse bibliométrique de 71 publications indexées dans Scopus entre 2014 et 2025. Elle cherche à identifier les principaux acteurs scientifiques, réseaux de collaboration, structures intellectuelles, thématiques et tendances émergentes du domaine, tout en mettant en évidence la double dynamique entre les bénéfices environnementaux de l'IA et les impacts associés à son propre développement.

Dans cette perspective, trois questions de recherche sont formulées :

- Quelles sont les publications, les auteurs et les institutions les plus influents traitant de la relation entre l'intelligence artificielle, la performance environnementale et l'efficacité énergétique ?
- Comment la littérature portant sur l'intégration de l'intelligence artificielle dans la gestion environnementale et énergétique a-t-elle évolué au fil du temps et comment est-elle répartie géographiquement ?
- Quel est le périmètre actuel de la recherche et quelles sont les tendances émergentes ainsi que les orientations futures des études scientifiques reliant l'intelligence artificielle à la performance environnementale et à l'efficacité énergétique ?

L'étude combine une analyse descriptive et de performance avec une cartographie scientifique réalisée à l'aide de VOSviewer, permettant d'examiner les citations, la co-citation, le couplage bibliographique, les cooccurrences de mots-clés et les réseaux de collaboration. Les détails relatifs à la stratégie de recherche, aux critères de sélection et au protocole PRISMA sont présentés dans la section Méthodologie.

Sur le plan théorique, cette étude contribue à structurer la littérature autour de la double relation entre l'IA et la durabilité environnementale, en distinguant son rôle comme levier d'amélioration de la performance environnementale et énergétique de son propre impact environnemental. Sur le plan managérial, elle identifie les principales orientations favorisant une utilisation plus responsable et économe en ressources de l'IA.

L'article présente d'abord les concepts clés et la méthodologie, puis les résultats et leur discussion, avant de conclure par les principaux enseignements, limites et perspectives de recherche.

1. Concepts clés

Afin de distinguer les principales dimensions mobilisées dans cette étude, il convient de clarifier conceptuellement les notions de performance environnementale, efficacité énergétique, durabilité et empreinte environnementale de l'intelligence artificielle (IA).

1.1. Performance environnementale

La performance environnementale désigne les résultats mesurables obtenus par une organisation dans la gestion de ses aspects environnementaux et dans la maîtrise de ses impacts sur l'environnement. Elle peut notamment être évaluée à travers différents indicateurs relatifs aux émissions, à la consommation des ressources, aux déchets ou à la consommation

énergétique (ISO, 2013). Elle renvoie ainsi à un résultat environnemental, plutôt qu'à une ressource ou à un intrant.

1.2. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique désigne la relation entre le service ou le produit utile obtenu et la quantité d'énergie nécessaire à sa réalisation. Elle constitue donc un ratio technique permettant d'apprécier la manière dont l'énergie est utilisée pour produire un résultat donné (Patterson, 1996). Elle représente une dimension particulière de la performance environnementale, mais ne permet pas à elle seule d'appréhender l'ensemble des impacts environnementaux d'une organisation.

1.3. Durabilité

La durabilité constitue un concept plus large et multidimensionnel, renvoyant à la capacité à répondre aux besoins actuels sans compromettre ceux des générations futures (Brundtland, 1987). Dans le contexte organisationnel, elle implique la prise en compte conjointe des dimensions économique, sociale et environnementale. Elle se distingue ainsi de la performance environnementale et de l'efficacité énergétique, qui correspondent à des dimensions plus spécifiques de la performance organisationnelle.

1.4. Empreinte environnementale de l'IA

L'empreinte environnementale de l'IA renvoie aux impacts environnementaux associés au développement et à l'utilisation des systèmes d'intelligence artificielle, notamment en matière de consommation énergétique et d'émissions de carbone (Strubell et al., 2019). Cette notion peut également être appréhendée selon une perspective plus large intégrant les ressources nécessaires aux infrastructures numériques et au fonctionnement des systèmes d'IA. Elle désigne donc les impacts environnementaux imputables à l'utilisation de l'IA, et non la performance environnementale de l'entreprise qui l'adopte.

Ces distinctions sont importantes dans le cadre de cette étude. En effet, l'efficacité énergétique et la performance environnementale constituent des dimensions pouvant contribuer à la durabilité des entreprises, tandis que l'empreinte environnementale de l'IA renvoie aux impacts générés par la technologie elle-même. Ainsi, l'IA peut simultanément contribuer à l'amélioration de la performance environnementale d'une entreprise, par exemple grâce à l'optimisation des processus et de la consommation énergétique, et générer une empreinte environnementale liée à son propre fonctionnement.

2. Méthodes

Cette étude combine une revue systématique de la littérature (SLR) et une analyse bibliométrique afin d'examiner les relations entre l'intelligence artificielle (IA), la performance environnementale et l'efficacité énergétique des entreprises. Les données ont été collectées à partir de Scopus, choisie pour sa couverture multidisciplinaire, la richesse de ses métadonnées bibliographiques et la disponibilité des informations nécessaires à l'analyse des citations et des collaborations scientifiques. Le recours à une base unique favorise également l'homogénéité des données et limite les problèmes de doublons liés à la multiplicité des sources. Toutefois, ce choix peut entraîner un biais de couverture, certaines publications indexées dans d'autres bases pouvant être exclues.

La revue systématique a été conduite selon les recommandations du protocole PRISMA (Page et al., 2021), sur la base de critères d'inclusion et d'exclusion prédéfinis, afin de renforcer la transparence et la reproductibilité du processus (Abdullah & Naved Khan, 2021). L'analyse bibliométrique vise à identifier les tendances scientifiques, les réseaux de collaboration et les principales thématiques de recherche (Donthu et al., 2021 ; Monteiro et al., 2021). Les données ont été analysées à l'aide de VOSviewer (version 1.6.20), permettant de cartographier les réseaux de citations, de cooccurrences de mots-clés et de collaborations scientifiques, ainsi que les structures conceptuelles du domaine (Van Eck & Waltman, 2010 ; Warren et al., 2019 ; Börner et al., 2003 ; Cobo et al., 2011 ; Morris & Van Der Veer Martens, 2008).

3. Résultats

3.1. Collecte des données

La stratégie de recherche a été élaborée à partir d'une concertation entre les auteurs. Elle a suivi les recommandations du protocole PRISMA (Page et al., 2021), afin d'assurer la transparence et la reproductibilité de la sélection.

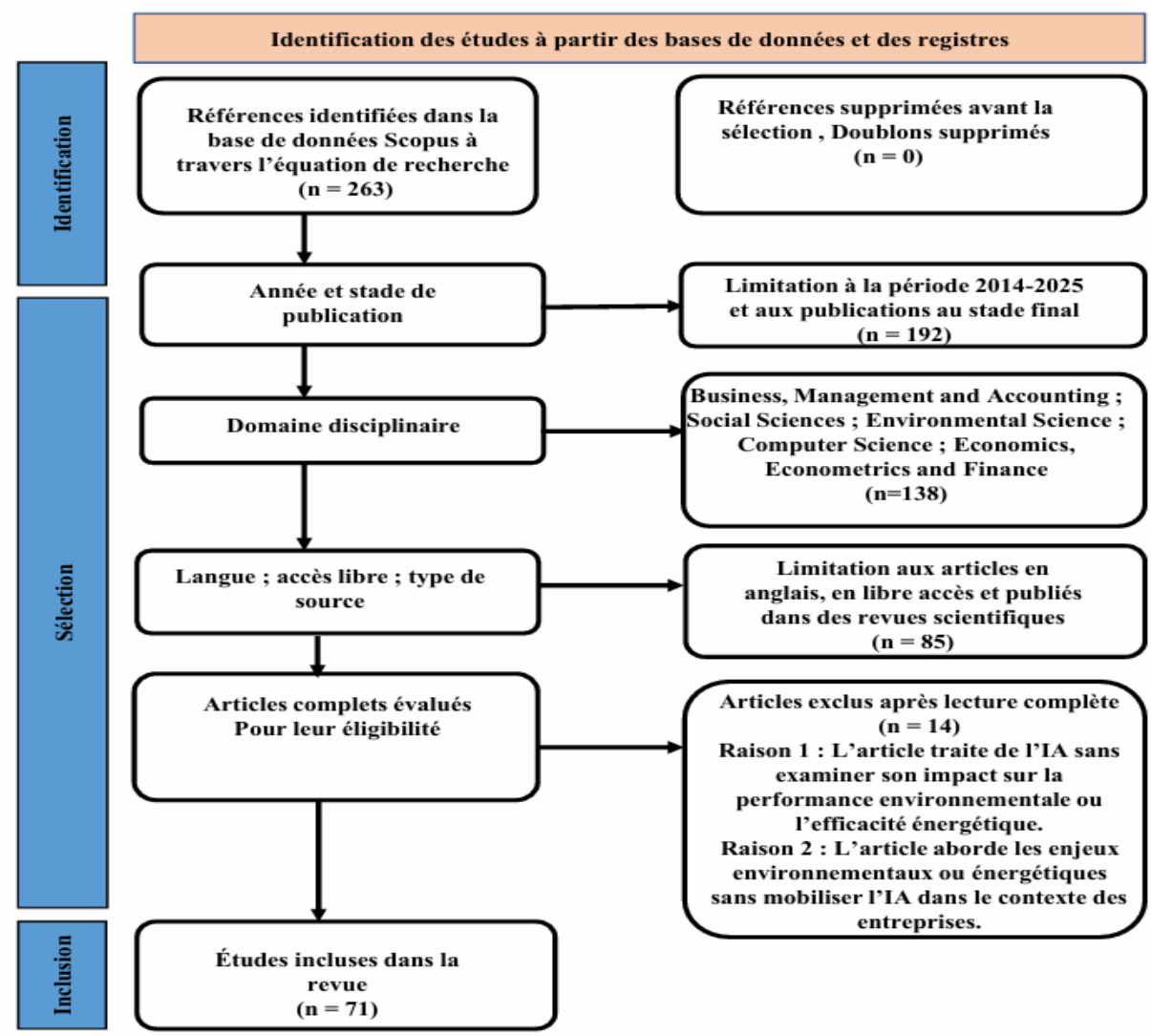
La recherche a été effectuée dans Scopus, en combinant quatre catégories de termes : l'intelligence artificielle, la performance environnementale, l'efficacité énergétique et le contexte organisationnel. L'équation de recherche complète est présentée ci-dessous : *" TITLE-ABS-KEY (("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural network*" OR "AI applications" OR "data analytics" OR "big data") AND ("environmental performance" OR "green performance" OR "environmental efficiency" OR "environmental sustainability" OR "eco-efficiency" OR "environmental impact") AND ("energy consumption" OR "energy efficiency" OR "carbon footprint" OR "energy demand" OR "power consumption" OR "energy optimization" OR "low carbon") AND ("company" OR "enterprise" OR*

"organization" OR "firm" OR "business")) AND (PUBYEAR > 2013) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) ".

Les résultats ont ensuite été affinés à l'aide des critères suivants : publications en accès libre (Open Access), articles et revues publiés dans des revues scientifiques, documents au stade final de publication (Final), en langue anglaise et relevant des domaines suivants : Business, Management and Accounting ; Social Sciences ; Environmental Science ; Computer Science ; Economics, Econometrics and Finance. La période couverte s'étend de 2014 à 2025.

Comme présenté dans le diagramme PRISMA (Figure 1), 263 références ont été initialement identifiées. Après les différents filtres, 192 références ont été retenues, puis 138 après le filtrage disciplinaire et 85 pour l'examen en texte intégral. À l'issue de cette évaluation, 14 documents ont été exclus pour non-conformité au périmètre thématique, conduisant à un corpus final de 71 publications. Les critères d'inclusion reposaient sur la pertinence des études au regard de l'intersection entre l'IA, la performance environnementale et l'efficacité énergétique dans le contexte des entreprises ; les études ne répondant pas à cette exigence ont été exclues. Le corpus final a ensuite été analysé avec VOSviewer (version 1.6.20).

Figure 1. Diagramme de flux PRISMA



Source : élaboré par les auteurs.

3.2. Analyse descriptive et de performance

Le corpus final comprend 71 publications portant sur l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans la performance environnementale et énergétique des organisations, rédigées par 260 auteurs. Les publications couvrent la période 2014–2025, avec une productivité moyenne de 5,91 publications par an, témoignant d'un intérêt croissant pour l'IA appliquée à la durabilité et à l'optimisation énergétique.

Sur les 71 publications, 59 ont reçu au moins une citation, pour un total de 1 055 citations, soit une proportion de publications citées (PCP) de 0,83 et une moyenne de 14,85 citations par document. L'indice de collaboration (CI) s'établit à 3,86, confirmant l'importance de la collaboration scientifique dans ce domaine.

Dans l'ensemble, ces indicateurs mettent en évidence une production scientifique en développement, caractérisée par une visibilité académique croissante et une dynamique

collaborative. Les principaux indicateurs descriptifs et de performance sont présentés dans le Tableau 1.

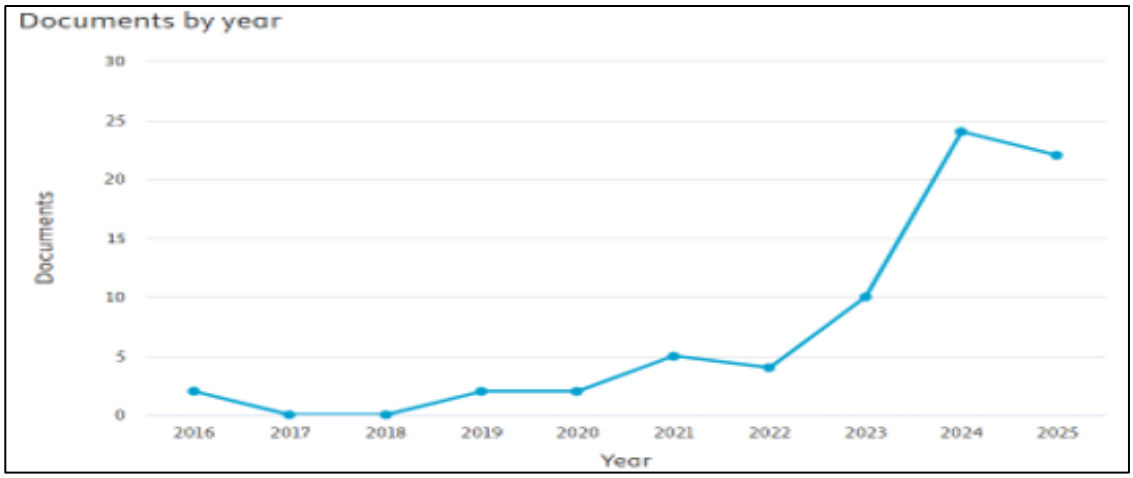
Tableau 1 : Analyse de performance des articles sélectionnés

Catégorie	Indicateur	Résultat
Publications	Total des publications (TPs)	71
Publications	Nombre d'auteurs contributeurs (NCA)	260
Publications	Documents à auteur unique	5
Publications	Nombre d'années de publication (2014–2025) (Y)	12
Publications	Productivité par année active de publication (PAY = TP/Y)	5,91
Citations	Total des citations des documents dans Scopus (TC)	1055
Citations	Nombre moyen de citations par document (AC = TC/TP)	14,85
Publications et citations	Indice de collaboration (CI)	3,86
Publications et citations	Nombre de publications citées (NCP)	59
Publications et citations	Proportion de publications citées (PCP = NCP/TP)	0,83

Source : Élaboré par les auteurs.

La Figure 2 met en évidence une augmentation nette de la production scientifique entre 2016 et 2025, traduisant l'intérêt croissant pour les relations entre l'intelligence artificielle (IA), la performance environnementale et l'efficacité énergétique. La production demeure limitée jusqu'en 2020, puis augmente progressivement à partir de 2021. Elle atteint un maximum de 24 publications en 2024, avant de se maintenir à un niveau élevé avec 22 publications en 2025. Cette progression confirme le développement rapide de cette thématique, notamment autour de l'utilisation de l'IA pour l'optimisation énergétique, la réduction des impacts environnementaux et l'amélioration de la performance durable des entreprises.

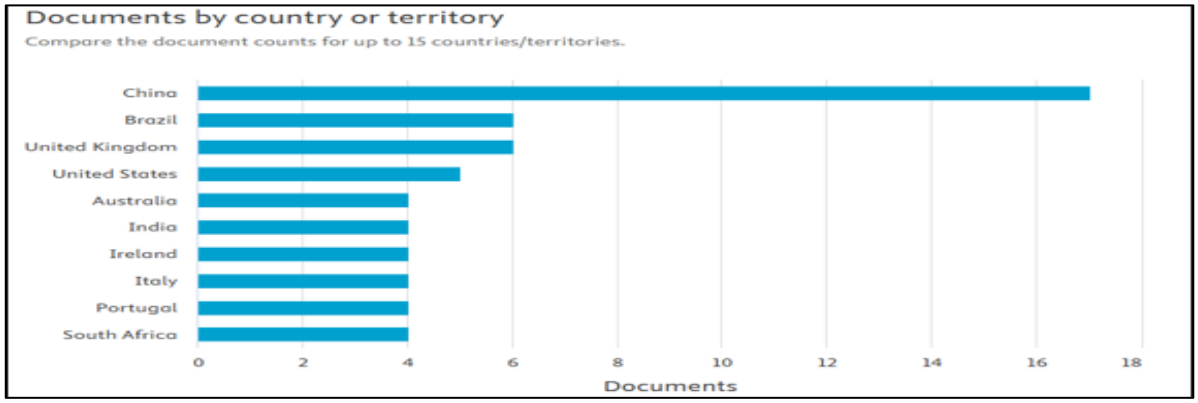
Figure 2 : Nombre d'articles publiés par année.



Source : Scopus.

La Figure 3 met en évidence une répartition internationale des publications, avec une contribution particulièrement importante de la Chine (18 publications). Le Brésil et le Royaume-Uni suivent avec 6 publications chacun, tandis que les États-Unis comptent 5 publications. Cette distribution témoigne d'un intérêt scientifique croissant pour l'application de l'intelligence artificielle à la performance environnementale et énergétique dans différents contextes nationaux.

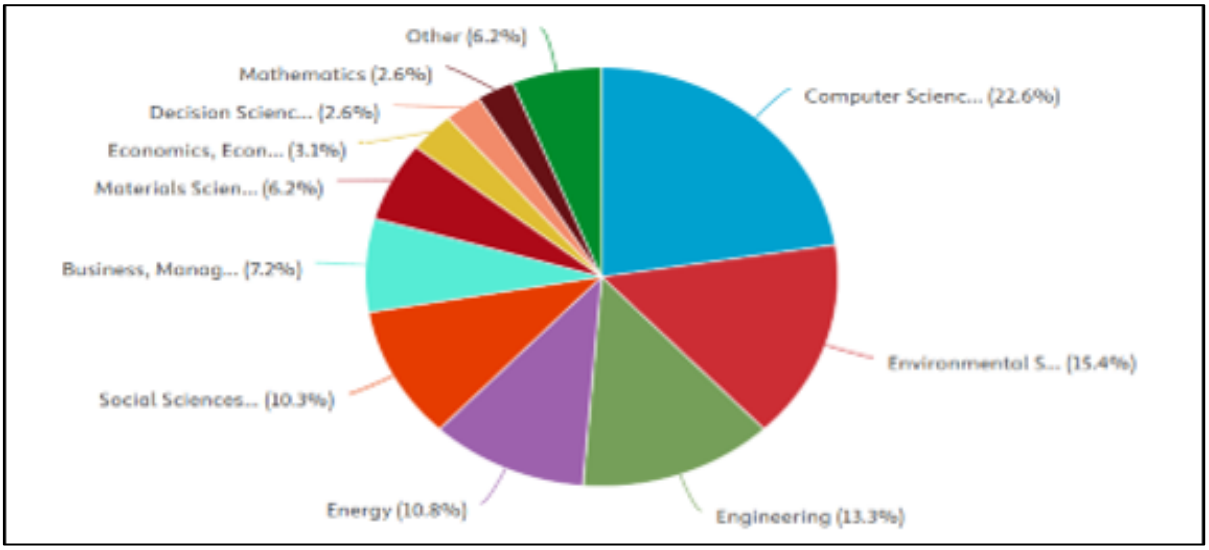
Figure 3 : Répartition des articles publiés par pays.



Source : Scopus.

La Figure 4 confirme le caractère multidisciplinaire de la recherche sur l'intelligence artificielle, la performance environnementale et l'efficacité énergétique. Le domaine de l'informatique (Computer Science) arrive en tête avec 22,6 % des publications, suivi des sciences de l'environnement (Environmental Science) avec 15,4 %, de l'ingénierie (Engineering) avec 13,3 % et de l'énergie (Energy) avec 10,8 %. Cette répartition souligne l'importance conjointe des dimensions technologiques, environnementales et énergétiques dans ce champ de recherche.

Figure 4 : Répartition des documents par domaine disciplinaire.



Source : Scopus.

3.3. Réalisation de la cartographie scientifique avec VOSviewer

3.3.1. Analyse des citations

L'analyse des citations a été réalisée avec VOSviewer (version 1.6.20) afin d'identifier les publications les plus influentes du corpus, au niveau des documents et des sources.

3.3.1.1. Analyse des citations par document

Un seuil minimal de deux citations par document a permis de retenir 50 publications. Toutefois, aucun lien de citation direct n'a été identifié entre ces documents, ce qui témoigne du caractère encore émergent et fragmenté du champ de recherche. La Figure 5 illustre cette distribution, tandis que le Tableau 2 présente le classement des publications selon leur nombre de citations dans Scopus.

Tableau 2 : Analyse des citations par document

Documents	Citations dans Scopus
Wang et al. (2022)	135
Garre et al. (2020)	82
Obiora et al. (2024)	72
Usama & Erol-Kantarci (2019)	71
Mohyuddin et al. (2024)	67
Mirmozaffari et al. (2021)	56
Kwilinski et al. (2023)	43
Laxmi Lydia et al. (2021)	34
Huang & Mao (2024)	31
X. Zhang et al. (2022)	30

Source : VOSviewer.

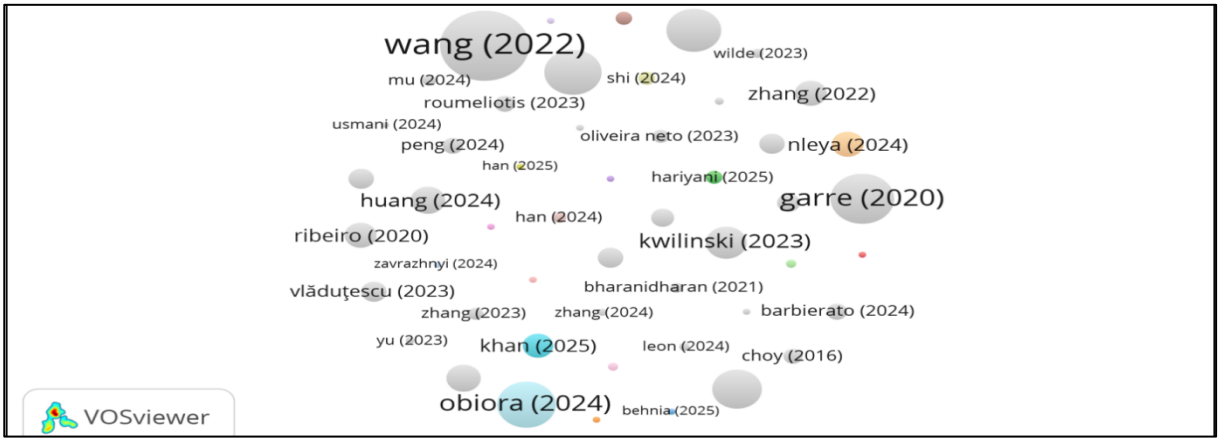


Figure 5 : Cartographie scientifique de l'analyse des citations par document. (Barbierato & Gatti, 2024; Behnia et al., 2025; Bharanidharan & Jayalakshmi, 2021; Choy et al., 2016; Khan et al., 2025; Laxmi Lydia et al., 2021; Leon, 2024; Maulidevi et al., 2024; Mirmozaffari et al., 2021; Obiora et al., 2024; Omran et al., 2022; Saetang et al., 2024; Vlăduţescu & Stanescu, 2023; Yu, 2023; Zavrazhnyi et al., 2024; X. Zhang et al., 2022; Y. Zhang, 2023; A. M. Ferreira & Pernici, 2016; Kwilinski et al., 2023; Labaran & Masood, 2025; Li et al., 2024; Wang et al., 2022)

Source : VOSviewer.

3.3.1.2. Analyse des citations par source

L'analyse des citations par source a été réalisée afin d'identifier les revues scientifiques les plus influentes publiant des recherches dans ce domaine. L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel VOSviewer en appliquant un seuil minimal de deux documents et de deux citations par source.

Parmi les 41 sources identifiées dans la base de données Scopus, 11 répondaient à ces critères, soit 26,8 % de l'ensemble des sources recensées.

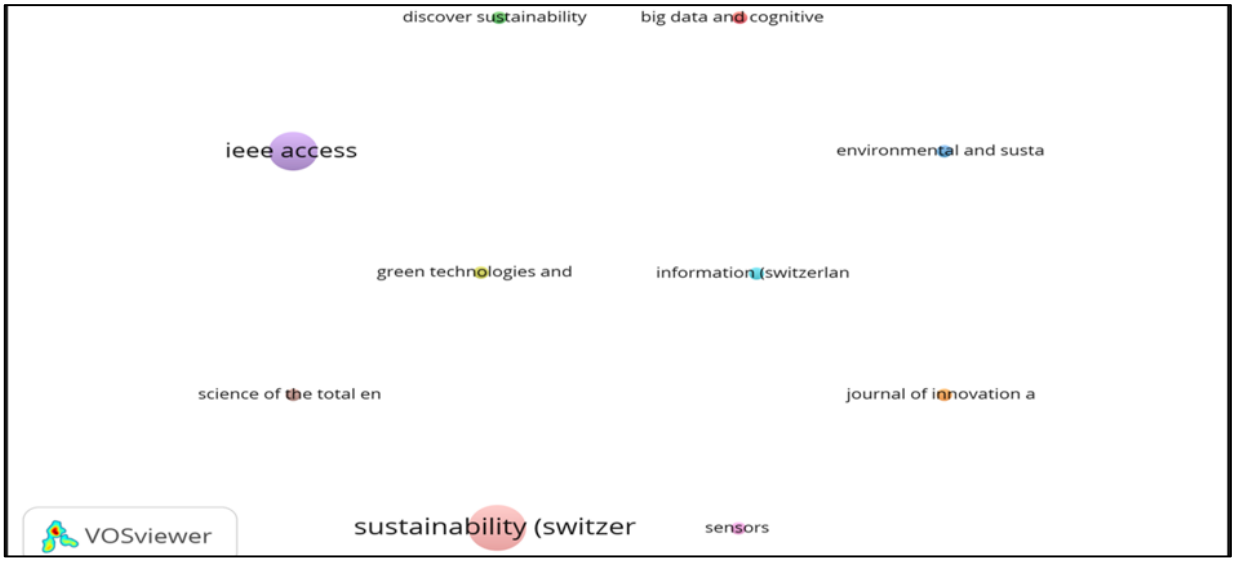
Tableau 3 : Analyse des citations par source

Source (revue)	Documents	Citations
Sustainability (Switzerland)	13	141
IEEE Access	10	140
Green Technologies and Sustainability	2	84
Sensors	2	83
Information (Switzerland)	2	62
Big Data and Cognitive Computing	2	19
Science of the Total Environment	2	18
Environmental and Sustainability Indicators	2	6
Discover Sustainability	2	4
Journal of Innovation and Knowledge	2	3

Source : VOSviewer.

La visualisation du réseau (Figure 6) révèle l'absence de liens de co-citation particulièrement forts entre les différentes revues, ce qui indique que ce champ de recherche demeure encore relativement fragmenté, bien qu'il soit en pleine croissance. Cette dispersion reflète le caractère multidisciplinaire de la thématique étudiée, qui se situe à l'intersection des sciences de l'environnement, de l'ingénierie, de l'intelligence artificielle et des études sur la durabilité.

Figure 6 : Cartographie scientifique de l'analyse des citations par source.



Source : VOSviewer.

3.3.2. Analyse de la co-publication (Co-authorship Analysis)

L'analyse de la co-publication a été réalisée avec VOSviewer afin d'examiner les collaborations internationales. Un seuil minimal de deux publications et cinq citations par pays a été appliqué. Parmi les 42 pays représentés dans le corpus, 21 répondaient à ces critères.

La Figure 7 met en évidence quatre clusters de collaboration, pour une force totale de liaison (*Total Link Strength*) de 28. La taille des nœuds correspond au nombre de publications, tandis que les liens représentent l'intensité des collaborations entre pays.

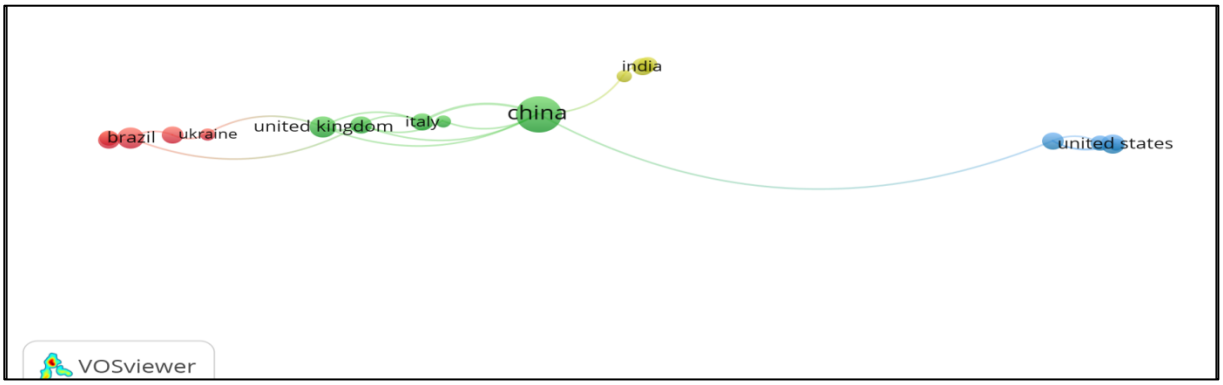
Tableau 4 : Analyse de la co-publication par pays

Country	Published Articles	Citations in Scopus	Total Link Strength	VOSviewer Cluster
China	18	272	7	Green
United Kingdom	6	193	5	Green
Italy	4	184	4	Green
Ireland	4	236	6	Green
Pakistan	2	71	2	Green
United States	5	68	4	Blue
Saudi Arabia	3	51	2	Blue
Australia	4	89	4	Blue
Brazil	6	134	4	Red
Portugal	4	15	2	Red
Germany	3	51	1	Red
South Africa	4	103	1	Red
Ukraine	2	46	2	Red
India	4	57	3	Yellow
Canada	3	76	1	Yellow
South Korea	2	34	2	Yellow
Total	74	1 730	28	—

Source : VOSviewer.

La Chine occupe une position centrale dans le réseau avec 18 publications et la plus forte liaison totale (TLS = 7). Le Royaume-Uni, l'Irlande et l'Italie présentent également des niveaux élevés de collaboration. La présence de quatre clusters souligne la structuration internationale et collaborative du champ de recherche.

Figure 7 : Cartographie scientifique de l'analyse de la co-publication par pays.



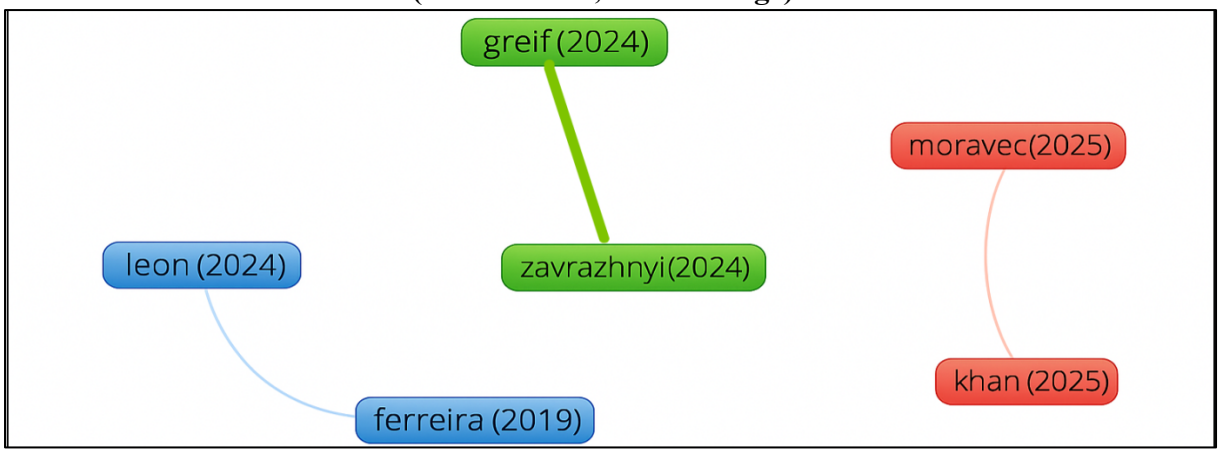
Source : VOSviewer.

3.3.3. Couplage bibliographique (Bibliographic Coupling)

Une analyse de couplage bibliographique a été réalisée avec VOSviewer afin d'identifier les proximités intellectuelles et thématiques entre les publications du corpus. Cette méthode repose sur le partage de références communes entre les documents.

L'analyse a été effectuée au niveau des documents. Parmi les publications recensées, 50 documents ayant obtenu au moins deux citations dans Scopus ont été retenus. La cartographie obtenue fait apparaître trois clusters, regroupant des articles partageant des références communes et présentant des orientations de recherche convergentes. Ces clusters permettent ainsi d'identifier les principaux noyaux intellectuels structurant la littérature sur l'IA, la performance environnementale et l'efficacité énergétique.

Figure 8 : Cartographie scientifique du couplage bibliographique par document (clusters bleu, vert et rouge).



Source : VOSviewer.

3.3.4. Analyse de co-citation (Co-Citation Analysis)

L'analyse de co-citation met en évidence les principaux fondements intellectuels de la recherche sur l'intelligence artificielle, la performance environnementale et l'efficacité énergétique. Sur les 667 références citées, 27 répondent au seuil minimal d'une citation et sont

regroupées en trois clusters. Les références sélectionnées, publiées entre 2016 et 2024, présentent des niveaux variables de *Total Link Strength*, traduisant leur degré d'interconnexion et leur influence au sein du réseau scientifique. Les trois clusters révèlent ainsi différents courants de recherche complémentaires qui structurent le champ et reflètent l'évolution progressive des connaissances autour de l'IA et de la durabilité. La cartographie obtenue permet d'identifier les références et travaux majeurs qui constituent la base intellectuelle du domaine.

Figure 9 : Cartographie scientifique de l'analyse de co-citation.



Source : VOSviewer.

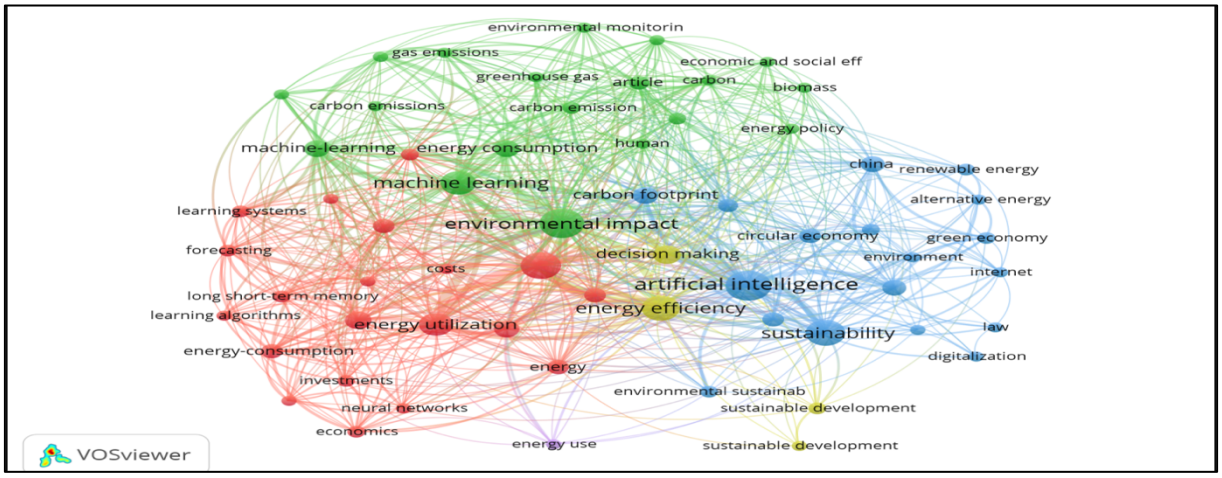
3.3.5. Analyse de cooccurrence (Co-Occurrence Analysis)

L'analyse de cooccurrence permet d'identifier les principales connexions thématiques à partir des mots-clés apparaissant conjointement dans les publications. Sur les 873 mots-clés extraits du corpus, 62 ont atteint le seuil minimal de trois occurrences et ont été retenus pour la cartographie avec VOSviewer.

Le réseau obtenu comprend cinq clusters, 766 liens et une *Total Link Strength* de 1 243, révélant une forte interconnexion entre les principaux concepts étudiés. Les mots-clés les plus fréquents occupent les positions centrales du réseau, tandis que les différents clusters mettent en évidence plusieurs axes thématiques liés à l'intelligence artificielle, à la durabilité environnementale et à l'efficacité énergétique.

La cartographie permet ainsi de distinguer les principaux thèmes structurants et leurs interrelations, offrant une représentation de la structure conceptuelle du champ de recherche.

Figure 10 : Cartographie scientifique de l'analyse de cooccurrence des mots-clés.



Source : VOSviewer.

4. Discussion

Premièrement, conformément à la première question de recherche, l'analyse met en évidence les publications, auteurs et sources les plus influents à l'intersection de l'intelligence artificielle (IA), de la performance environnementale et de l'efficacité énergétique. L'article de Wang et al. (2022), *An Index of Cryptocurrency Environmental Attention (ICEA)*, constitue la publication la plus citée du corpus avec 135 citations dans Scopus. Parmi les autres travaux influents figurent Garre et al. (2020), portant sur l'apprentissage automatique appliqué à l'optimisation de la production et à la gestion des déchets, Obiora et al. (2024), consacré à la production d'hydrogène à partir de biomasse, ainsi qu'Usama et Erol-Kantarci (2019), qui examinent l'efficacité énergétique des réseaux 5G. Ces travaux illustrent la diversité des applications de l'IA aux enjeux environnementaux et énergétiques.

Les principales sources de publication sont *Sustainability (Switzerland)*, avec 13 articles et 141 citations, et *IEEE Access*, avec 10 articles et 140 citations. Leur position confirme le caractère interdisciplinaire du champ, situé à l'intersection des technologies numériques, des systèmes énergétiques et de la durabilité.

Deuxièmement, les résultats relatifs aux collaborations montrent une internationalisation croissante de la recherche. Quatre clusters sont identifiés : un premier regroupant notamment la Chine, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Irlande ; un deuxième centré sur les États-Unis, l'Arabie Saoudite et l'Australie ; un troisième associant notamment le Brésil, le Portugal, l'Allemagne, l'Afrique du Sud et l'Ukraine ; et un quatrième regroupant l'Inde, le Canada et la Corée du Sud. La Chine occupe une position centrale avec 18 publications et une force totale de liaison de 7. Toutefois, les liens relativement limités entre les clusters suggèrent une structuration encore fragmentée du champ malgré son internationalisation.

Troisièmement, la troisième question de recherche vise à délimiter le champ d'étude, les principaux thèmes ainsi que les tendances émergentes des recherches futures portant sur l'intelligence artificielle, la performance environnementale et l'efficacité énergétique. Pour répondre à cet objectif, trois méthodes ont été mobilisées : le couplage bibliographique, l'analyse de co-citation et l'analyse de cooccurrence des mots-clés.

L'analyse du couplage bibliographique permet d'identifier des groupes de publications partageant des références communes, traduisant ainsi une proximité conceptuelle et méthodologique.

La cartographie a mis en évidence trois principaux clusters, chacun représentant une orientation thématique distincte reliant l'intelligence artificielle à la durabilité et à l'efficacité énergétique :

- **Cluster 1 (Khan et al., 2025 ; Moravec et al., 2025)** : centré sur l'intelligence artificielle, la transformation numérique et la durabilité environnementale. Ces travaux explorent le double rôle de l'IA comme levier d'innovation durable mais également comme facteur d'augmentation de la demande énergétique.
- **Cluster 2 (Greif et al., 2024 ; Zavrazhnyi et al., 2024)** : consacré à la gouvernance stratégique et à la gestion durable de l'intelligence artificielle. Ces auteurs mettent en évidence la contribution de l'IA à la planification durable et à la prise de décision stratégique des entreprises.
- **Cluster 3 (Leon, 2024 ; Ferreira et al., 2019)** : axé sur la modélisation énergétique et l'empreinte écologique de l'intelligence artificielle. Les études soulignent les implications environnementales des technologies fondées sur les données ainsi que la nécessité de développer des solutions informatiques durables.

Dans l'ensemble, le couplage bibliographique révèle une structure tripartite articulée autour de la transformation technologique, de la gouvernance stratégique et de l'impact environnemental, constituant ainsi le noyau intellectuel de la recherche sur la durabilité fondée sur l'intelligence artificielle.

L'analyse de co-citation met en évidence les travaux fondamentaux qui sont fréquemment cités conjointement, révélant ainsi les connexions intellectuelles entre les chercheurs.

Trois grands clusters dominent le réseau :

- **Les fondements technologiques de l'IA**, représentés principalement par LeCun et al. (2015), qui portent sur les architectures d'apprentissage profond et d'apprentissage automatique favorisant le développement de systèmes d'IA économes en énergie.
- **L'opérationnalisation de l'IA et l'efficacité numérique**, illustrée par Peixoto et al. (2025), mettant l'accent sur les cadres d'optimisation numérique tels que les pratiques MLOps et la réutilisation des modèles afin de réduire la consommation de ressources.
- **L'IA au service de l'innovation durable et de la gestion environnementale**, représentée par Govindan (2024), qui relie les applications de l'IA à l'innovation verte, à la production responsable et à la gouvernance environnementale.

La structure de co-citation met en évidence le rôle central de LeCun (2015) et de Govindan (2024) comme références-ponts entre les différents courants de recherche, traduisant une

convergence croissante entre l'IA verte (Green AI), l'efficacité numérique et l'innovation orientée vers la durabilité.

L'analyse de cooccurrence permet d'identifier les concepts les plus récurrents dans le corpus étudié et de cartographier le paysage conceptuel du domaine.

Les termes centraux tels que *intelligence artificielle*, *développement durable*, *impact environnemental* et *efficacité énergétique* constituent le noyau conceptuel du champ de recherche. Autour de ces notions gravitent des concepts tels que *apprentissage automatique*, *consommation énergétique*, *empreinte carbone* et *énergies renouvelables*, qui représentent les dimensions technologiques et opérationnelles du domaine.

Enfin, des mots-clés plus périphériques tels que *transformation numérique*, *économie circulaire*, *économie verte* et *industrie 4.0* témoignent de l'émergence de nouvelles orientations de recherche. Ces résultats suggèrent l'existence d'intersections encore peu explorées entre l'intelligence artificielle, l'optimisation énergétique et la durabilité environnementale, offrant ainsi de nombreuses perspectives pour les recherches futures.

Au-delà de leur portée descriptive, les résultats bibliométriques permettent de dégager une contribution théorique à la compréhension de la relation entre intelligence artificielle et durabilité environnementale. La structure thématique du corpus révèle une double dynamique : l'IA comme levier d'optimisation énergétique, d'innovation verte et d'amélioration de la performance environnementale, mais également l'IA comme source potentielle d'impacts environnementaux liés à ses besoins en ressources et en énergie. Cette dualité apparaît notamment à travers la coexistence, dans le corpus, des thématiques relatives à l'efficacité énergétique, à l'innovation durable et à l'empreinte environnementale de l'IA.

Ces résultats complètent les travaux antérieurs principalement centrés sur les applications de l'IA au service de l'optimisation énergétique et de la performance environnementale. Notre analyse met en évidence l'émergence parallèle d'une perspective portant sur la durabilité des technologies d'IA elles-mêmes. La contribution de cette étude réside ainsi dans la mise en évidence de la convergence entre transformation technologique, gouvernance environnementale et impact environnemental de l'IA, permettant de dépasser une conception unidirectionnelle de la relation entre IA et durabilité.

Conclusion

À l'issue de cette recherche, deux orientations majeures pour les développements scientifiques et pratiques futurs peuvent être dégagées.

Premièrement, l'analyse des études sélectionnées met en évidence les principaux axes de recherche et les tendances émergentes reliant l'intelligence artificielle (IA), la performance environnementale et l'efficacité énergétique. Ces tendances incluent :

- L'intégration de l'IA et des technologies de l'Industrie 4.0 (apprentissage automatique, Internet des objets (IoT), informatique en nuage (cloud computing), jumeaux numériques (digital twins)) afin d'améliorer la gestion énergétique, d'optimiser les systèmes de production et de soutenir les transitions vers des modèles à faibles émissions de carbone dans différents secteurs ;
- L'émergence de l'IA verte (Green AI) et de la numérisation éco-efficiente comme réponse à l'augmentation des besoins énergétiques des infrastructures informatiques, mettant l'accent sur le développement de modèles d'IA durables et d'algorithmes sensibles à la consommation énergétique ;
- L'application de l'IA à la gouvernance environnementale et à l'innovation verte, où les entreprises utilisent l'analyse prédictive et l'automatisation pour surveiller les émissions, optimiser l'allocation des ressources et renforcer leur conformité aux objectifs de durabilité;
- La dimension stratégique et managériale de l'adoption de l'IA, notamment dans la gouvernance de la durabilité des entreprises, l'amélioration de l'efficacité des ressources humaines et le développement de cadres de prise de décision numérique ;
- Les aspects éthiques et socio-environnementaux des systèmes d'IA, incluant la protection des données, l'innovation responsable et la dualité entre « l'IA au service de la durabilité » et « la durabilité de l'IA » ;
- Les applications sectorielles de l'IA dans les domaines de l'énergie, de l'agriculture, de la logistique et de l'industrie manufacturière, démontrant le rôle des technologies intelligentes dans la transition vers des opérations neutres en carbone et des modèles d'économie circulaire.

Deuxièmement, l'analyse bibliométrique confirme l'existence d'une forte dynamique scientifique autour de l'utilisation de l'IA au service de la durabilité et de l'optimisation énergétique. Toutefois, elle met également en évidence plusieurs lacunes de recherche qui méritent une attention particulière :

- La nécessité de développer des modèles transsectoriels et interdisciplinaires intégrant l'IA aux systèmes d'énergies renouvelables ainsi qu'aux cadres de politiques environnementales;
- L'exploration encore limitée de l'empreinte environnementale de l'IA, notamment en ce qui concerne les centres de données et la consommation énergétique liée aux infrastructures de calcul ;
- Le manque d'études provenant des économies émergentes et des pays de la région MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord), où les défis de la transformation numérique et de la durabilité se croisent dans des contextes socio-économiques spécifiques ;
- L'importance de renforcer les cadres éthiques et de gouvernance afin de garantir que l'intelligence artificielle contribue positivement à la performance environnementale sans accentuer les inégalités liées à l'accès à l'énergie.

La revue systématique de la littérature et la cartographie bibliométrique de 71 articles scientifiques réalisées dans le cadre de cette recherche révèlent que l'intersection entre l'intelligence artificielle, la performance environnementale et l'efficacité énergétique constitue un domaine de recherche en pleine expansion et d'une importance stratégique croissante. Les résultats obtenus fournissent une base solide pour les futures recherches et pour l'élaboration des politiques publiques visant à concilier innovation technologique et responsabilité écologique, contribuant ainsi à l'avancement de l'agenda mondial en faveur d'une transformation numérique durable et économe en énergie.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le CNRST dans le cadre du programme de bourse PhD-Associate Scholarship Program (PASS).

Bibliographie

Abdullah, & Naved Khan, M. (2021). Determining mobile payment adoption: A systematic literature search and bibliometric analysis. *Cogent Business & Management*, *8*(1), 1893245. https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1893245

Abonamah, A., Hassan, S., & Cale, T. (2025). Artificial Intelligence and Environmental Sustainability Playbook for Energy Sector Leaders. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(14). Scopus. https://doi.org/10.3390/su17146529

Amer, M., Hilmi, Y., & El Kezazy, H. (2024, April). Big Data and Artificial Intelligence at the Heart of Management Control: Towards an Era of Renewed Strategic Steering. In The International Workshop on Big Data and Business Intelligence (pp. 303-316). Cham: Springer Nature Switzerland.

Barbierato, E., & Gatti, A. (2024). Toward Green AI: A Methodological Survey of the Scientific Literature. *IEEE Access*, *12*, 23989–24013. Scopus. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3360705

Behnia, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., & Behnia, M. (2025). Evaluation of sustainable energy use in sugarcane production: A holistic model from planting to harvest and life cycle assessment. *Environmental and Sustainability Indicators*, *26*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100617

Bharanidharan, G., & Jayalakshmi, S. (2021). Predictive Scaling for Elastic Compute Resources on Public Cloud Utilizing Deep Learning based Long Short-term Memory. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *12*(10), 73–81. Scopus. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0121010

Börner, K., Chen, C., & Boyack, K. W. (2003). Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology*, *37*(1), 179–255. https://doi.org/10.1002/aris.1440370106

Brundtland, G. H. (1987). Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.

Choy, K. L., Ho, G. T. S., Lee, C. K. H., Lam, H. Y., Cheng, S. W. Y., Siu, P. K. Y., Pang, G. K. H., Tang, V., Lee, J. C. H., & Tsang, Y. P. (2016). A recursive operations strategy model for managing sustainable chemical product development and production. *International Journal of Production Economics*, *181*, 262–272. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.011

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *62*(7), 1382–1402. https://doi.org/10.1002/asi.21525

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Dounia, G., Chaimae, K., Yassine, H., & Houda, B. (2025). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND BIG DATA IN MANAGEMENT CONTROL OF MOROCCAN COMPANIES: CASE OF THE RABAT-SALE-KENITRA REGION. Proceedings on Engineering, 7(2), 925-938.

Ferreira, A. M., & Pernici, B. (2016). Managing the complex data center environment: An Integrated Energy-aware Framework. *Computing*, *98*(7), 709–749. Scopus. https://doi.org/10.1007/s00607-014-0405-x

Ferreira, J., Callou, G., Costa, A., Tutsch, D., & MacIel, P. (2019). An artificial neural network approach to forecast the environmental impact of data centers. *Information (Switzerland)*, *10*(3). Scopus. https://doi.org/10.3390/info10030113

Garre, A., Ruiz-Abellón, M. C., & Hontoria, E. (2020). Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*, *7*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100147

Gómez Gandía, J. A. G., Ancillo, A. D. L., & Núñez, M. T. D. V. (2025). The Role of Artificial Intelligence and Knowledge in Enhancing Corporate Sustainability. *Journal of Innovation and Knowledge*, *10*(5). Scopus. https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100792

Govindan, K. (2024). How Artificial Intelligence Drives Sustainable Frugal Innovation: A Multitheoretical Perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 638–655. https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3116187

Greif, L., Kimmig, A., El Bobbou, S., Jurisch, P., & Ovtcharova, J. (2024). Strategic view on the current role of AI in advancing environmental sustainability: A SWOT analysis. *Discover Artificial Intelligence*, *4*(1). Scopus. https://doi.org/10.1007/s44163-024-00146-z

Huang, R., & Mao, S. (2024). Carbon Footprint Management in Global Supply Chains: A Data-Driven Approach Utilizing Artificial Intelligence Algorithms. *IEEE Access*, *12*, 89957–89967. Scopus. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3407839

International Organization for Standardization. (2013). ISO 14031:2013: Environmental management—Environmental performance evaluation—Guidelines. International Organization for Standardization.

KAIZAR, C., Dounia, G. A. G. A., & HILMI, Y. (2026). Intelligence artificielle et contrôle de gestion: leviers d'accountability et de gouvernance efficace. Agence Francophone, 576-607.

Khan, M. I., Yasmeen, T., Khan, M., Hadi, N. U., Asif, M., Farooq, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2025). Integrating industry 4.0 for enhanced sustainability: Pathways and prospects. *Sustainable Production and Consumption*, *54*, 149–189. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.12.012

Koteczki, R., Csikor, D., & Balassa, B. E. (2025). The role of generative AI in improving the sustainability and efficiency of HR recruitment process. *Discover Sustainability*, *6*(1). Scopus. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01484-3

Kwilinski, A., Lyulyov, O., & Pimonenko, T. (2023). The Impact of Digital Business on Energy Efficiency in EU Countries. *Information (Switzerland)*, *14*(9). Scopus. https://doi.org/10.3390/info14090480

Labaran, M. J., & Masood, T. (2025). Technological frontiers: Addressing renewable energy supply chain and sustainability challenges. *Discover Sustainability*, *6*(1). Scopus. https://doi.org/10.1007/s43621-025-00909-3

Laxmi Lydia, E., Arokiaraj Jovith, A., Francis Saviour Devaraj, A., Seo, C., & Joshi, G. P. (2021). Green energy efficient routing with deep learning based anomaly detection for internet of things (Iot) communications. *Mathematics*, *9*(5), 1–18. Scopus. https://doi.org/10.3390/math9050500

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444. https://doi.org/10.1038/nature14539

Leon, M. (2024). The Escalating AI's Energy Demands and the Imperative Need for Sustainable Solutions. *WSEAS Transactions on Systems*, *23*, 444–457. Scopus. https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.46

Li, Z., Fei, J., Du, Y., Ong, K.-L., & Arisian, S. (2024). A near real-time carbon accounting framework for the decarbonization of maritime transport. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *191*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103724

Maulidevi, N. U., Christianto, V. G., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2024). Development of prediction model for information technology equipment procurement as the basis of knowledge for an Intelligent Decision Support System based on carbon emissions and End-of-Life phase. *Resources, Environment and Sustainability*, *16*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2024.100151

Mirmozaffari, M., Shadkam, E., Khalili, S. M., Kabirifar, K., Yazdani, R., & Gashteroodkhani, T. (2021). A novel artificial intelligent approach: Comparison of machine learning tools and algorithms based on optimization DEA Malmquist productivity index for eco-efficiency evaluation. *International Journal of Energy Sector Management*, *15*(3), 523–550. Scopus. https://doi.org/10.1108/IJESM-02-2020-0003

Mohyuddin, G., Khan, M. A., Haseeb, A., Mahpara, S., Waseem, M., & Saleh, A. M. (2024). Evaluation of Machine Learning Approaches for Precision Farming in Smart Agriculture System: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, *12*, 60155–60184. Scopus. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3390581

Monteiro, A. P., Aibar-Guzmán, B., Garrido-Ruso, M., & Aibar-Guzmán, C. (2021). Employee-Related Disclosure: A Bibliometric Review. *Sustainability*, *13*(10), 5342. https://doi.org/10.3390/su13105342

Moravec, V., Gavurová, B., & Kováč, V. (2025). Environmental footprint of GenAI – Changing technological future or planet climate? *Journal of Innovation and Knowledge*, *10*(3). Scopus. https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100691

Morris, S. A., & Van Der Veer Martens, B. (2008). Mapping research specialties. *Annual Review of Information Science and Technology*, *42*(1), 213–295. https://doi.org/10.1002/aris.2008.1440420113

Obiora, N. K., Ujah, C. O., Christian, C. O., Kolawole, F. O., & Ekwueme, B. N. (2024). Production of hydrogen energy from biomass: Prospects and challenges. *Green Technologies and Sustainability*, *2*(3). Scopus. https://doi.org/10.1016/j.grets.2024.100100

Omran, E., Jammal, M., Bourk, M., Dabbour, K., & El Morr, C. E. (2022). Indoor Localization in Wireless Networks Using Received Signal Strength: A Model using Bregman Distance to Increase Public Utility Benefits. *Journal of System and Management Sciences*, *12*(3), 117–134. Scopus. https://doi.org/10.33168/JSMS.2022.0307

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., …

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? : Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy, 24(5), 377-390. https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1

Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Peixoto, E., Torres, D., Carneiro, D., Silva, B., & Marques, R. (2025). Reusing ML Models in Dynamic Data Environments: Data Similarity-Based Approach for Efficient MLOps. *Big Data and Cognitive Computing*, *9*(2). Scopus. https://doi.org/10.3390/bdcc9020047

Saetang, W., Chai-Arayalert, S., Kajornkasirat, S., Kongcharoen, J., Saeliw, A., Puangsuwan, K., & Puttinaovarat, S. (2024). Eco-Friendly Office Platform: Leveraging Machine Learning and GIS for Carbon Footprint Management and Green Space Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(21). Scopus. https://doi.org/10.3390/su16219424

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. In A. Korhonen, D. Traum, & L. Màrquez (Éds.), Proceedings of the 57th

Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (p. 3645-3650). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

Usama, M., & Erol-Kantarci, M. (2019). A survey on recent trends and open issues in energy efficiency of 5G. *Sensors*, *19*(14). Scopus. https://doi.org/10.3390/s19143126

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Vlăduţescu, Ș., & Stanescu, G. C. (2023). Environmental Sustainability of Metaverse: Perspectives from Romanian Developers. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(15). Scopus. https://doi.org/10.3390/su151511704

Wang, Y., Lucey, B., Vigne, S. A., & Yarovaya, L. (2022). An index of cryptocurrency environmental attention (ICEA). *China Finance Review International*, *12*(3), 378–414. Scopus. https://doi.org/10.1108/CFRI-09-2021-0191

Warren, S., Sauser, B., & Nowicki, D. (2019). A Bibliographic and Visual Exploration of the Historic Impact of Soft Systems Methodology on Academic Research and Theory. *Systems*, *7*(1), 10. https://doi.org/10.3390/systems7010010

Yu, X. (2023). Low-Carbon Design of Green Packaging Based on Deep Learning Perspective for Smart City. *IEEE Access*, *11*, 117423–117433. Scopus. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3326988

Zavrazhnyi, K., Kulyk, A., Voronenko, V., Sokolov, M., & de Abreu, O. A. (2024). FORMATION OF STRATEGIC DIRECTIONS FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ENTERPRISE TO ACHIEVE THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, *5*(58), 470–483. Scopus. https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.58.2024.4448

Zhang, X., Liu, P., & Zhu, H. (2022). The Impact of Industrial Intelligence on Energy Intensity: Evidence from China. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(12). Scopus. https://doi.org/10.3390/su14127219

Zhang, Y. (2023). Circular Economy Model for Elderly Tourism Operation Based on Multi-source Heterogeneous Data Integration. *Applied Artificial Intelligence*, *37*(1). Scopus. https://doi.org/10.1080/08839514.2023.2205228

Zhou, Y., & Bu, W. (2025). From Artificial Intelligence to Energy Reduction: How Green Innovation Channels Corporate Sustainability. *Systems*, *13*(9). Scopus. https://doi.org/10.3390/systems13090757