

L'adoption de l'industrie 4.0 dans le secteur textile : Cartographie des dynamiques scientifiques mondiales (2013– 2025)

Industry 4.0 adoption in the textile sector: Global scientific trends and mapping (2013–2025)

Rania ARBAOUI, (*Doctorante en sciences de gestion*)
*Laboratoire d'Etudes et de Recherche en Sciences de Gestion (LERSG),
Faculté des sciences juridiques économiques et sociales d'Agdal.
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Rajaa AMZILE, (*professeur d'enseignement supérieur*)
*Laboratoire d'Etudes et de Recherche en Sciences de Gestion (LERSG),
Faculté des sciences juridiques économiques et sociales d'Agdal.
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Adresse de correspondance :	Faculté Des Sciences Juridiques Économiques Et Sociales Agdal Av. des Nations Unies, Rabat 05377-72732
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat, de l'usage de l'intelligence artificielle dans la rédaction, ainsi que des résultats présentés dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	ARBAOUI, R., & AMZILE, R. (2025). L'adoption de l'industrie 4.0 dans le secteur textile : Cartographie des dynamiques scientifiques mondiales (2013–2025). International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 6(12), 652–680. https://doi.org/10.5281/zenodo.17670285
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 20/10/2025

Accepted: 02/12/2025

International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME
ISSN: 2658-8455
Volume 6, Issue 12 (2025)

L'adoption de l'industrie 4.0 dans le secteur textile : cartographie des dynamiques scientifiques mondiales (2013–2025)

Résumé :

Dans un contexte de transformation industrielle rapide et de quête de durabilité, l'Industrie 4.0 s'impose comme un paradigme technologique clé pour le secteur textile, historiquement marqué par une forte intensité de main-d'œuvre et une faible digitalisation. Malgré ses atouts en automatisation, flexibilité et traçabilité, son adoption demeure partielle et inégale. Cette recherche comble une lacune de la littérature en proposant une cartographie systématique et longitudinale des barrières à l'adoption des technologies 4.0 dans l'industrie textile mondiale.

En mobilisant une approche bibliométrique quantitative, 150 articles indexés dans Scopus (2013–2025) ont été analysés à l'aide des outils Bibliometrix (R), Biblioshiny et VOSviewer. L'étude combine des analyses de performance (production, citations, H-index) et de structure (co-occurrence, co-citation, couplage bibliographique) afin d'identifier les principales thématiques, acteurs et freins du champ.

Les résultats révèlent une croissance annuelle moyenne de 24,6 % et une structuration en quatre clusters : (1) technologies de production intelligentes, (2) durabilité et circularité, (3) modèles organisationnels d'adoption et (4) innovations textiles et e-textiles. Les freins principaux apparaissent interconnectés : coûts d'investissement élevés, déficit de compétences en data science, interopérabilité limitée, cybersécurité et résistances sociotechniques. L'étude montre aussi une concentration géographique inégale, les pays du Sud produisant des connaissances souvent sous-citées. L'intelligence artificielle émerge comme un axe transversal appliqué à la maintenance prédictive, la simulation, l'automatisation et la gestion adaptative.

En conclusion, cette étude propose une lecture systémique des barrières et offre un cadre structurant pour une transition vers un modèle textile plus intelligent, durable et résilient.

Mots clés : Industrie 4.0, Secteur textile, Barrières technologiques, Bibliométrie, Adoption technologique, Intelligence artificielle, Durabilité

JEL Classification : O33, L67, M11, Q56

Type du papier : Recherche Théorique

Abstract :

In a context of rapid industrial transformation and growing sustainability demands, Industry 4.0 has emerged as a key technological paradigm for the textile sector, historically characterized by labor intensity and low digitalization. Despite its potential for automation, flexibility, and traceability, adoption remains partial and uneven. This study addresses a major gap in the literature by providing a systematic and longitudinal mapping of the barriers to Industry 4.0 adoption in the global textile industry.

Using a quantitative bibliometric approach, 150 Scopus-indexed articles (2013–2025) were analyzed with Bibliometrix (R), Biblioshiny, and VOSviewer. The study combines performance analyses (output, citations, H-index) with structural analyses (co-occurrence, co-citation, and bibliographic coupling) to identify the field's main themes, key contributors, and persistent barriers.

The results indicate an average annual growth rate of 24.6% and reveal four thematic clusters: (1) intelligent production technologies, (2) sustainability and circularity, (3) organizational adoption models, and (4) innovations in smart and functional textiles. The main obstacles are interconnected: high investment costs, lack of data science skills, limited interoperability, cybersecurity risks, and socio-technical resistance. The analysis also highlights geographic asymmetries, as Southern countries often produce knowledge that remains under-cited. Artificial intelligence emerges as a transversal enabler applied to predictive maintenance, simulation, automation, and adaptive management.

Overall, this study calls for a systemic reassessment of the barriers to adoption, integrating human, technical, and institutional dimensions. It offers a structured framework to guide the textile industry's transition toward a smarter, more sustainable, and resilient model.

Keywords : Industry 4.0, Textile sector, Technological barriers, Bibliometrics, Technology adoption, Artificial intelligence, Sustainability

Classification JEL : O33, L67, M11, Q56

Paper type : Theoretical Research

1. Introduction

Dans un contexte où la mondialisation renforce la pression concurrentielle et où les exigences de durabilité s'imposent de plus en plus, l'Industrie 4.0 est perçue comme une transformation majeure des systèmes de production. Elle repose, désormais, sur l'intégration de technologies avancées telles que l'Internet des objets, les jumeaux numériques, les systèmes intelligents d'aide à la décision et la fabrication additive (Liao et al., 2017 ; Xu, Xu & Li, 2018). Ces technologies dites de pointe permettent de créer des usines connectées, capables d'optimiser en continu leurs processus, de suivre en temps réel les indicateurs de performance, et de réduire les pertes et la consommation énergétique (Zupic & Čater, 2015). L'intérêt croissant accordé pour ces innovations technologiques se manifeste dans de nombreuses publications scientifiques, notamment dans les domaines de la production, de la logistique et de la maintenance prédictive (Aria & Cuccurullo, 2017).

Jadis, fondé sur des procédés manuels ou semi-automatisés, le secteur industriel connaît aujourd'hui une évolution marquée vers une automatisation renforcée, appuyée par le data mining et la prise de décision autonome. Plusieurs recherches mettent en évidence l'apport de l'Internet des objets dans la traçabilité des fibres textiles (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018), tandis que l'utilisation de jumeaux numériques permet d'ajuster en continu les paramètres de production afin d'améliorer la qualité et la cadence (Arnarson & Yadla, 2023). De même, l'impression 3D ouvre de nouvelles possibilités dans la fabrication de prototypes personnalisés, en particulier dans les secteurs médical et vestimentaire, où la conception s'appuie désormais sur des systèmes capables d'intégrer automatiquement les besoins spécifiques des utilisateurs (Rouf & Sarker, 2022).

Plusieurs barrières ressortent de la littérature. Sur le plan technologique, l'interopérabilité limitée entre les systèmes d'information existants et les nouvelles plateformes numériques pose des difficultés d'intégration, favorisant des situations de dépendance vis-à-vis de certains fournisseurs (« vendor lock-in ») particulièrement coûteuses (Pal & Yasar, 2020). Le développement de réseaux de production interconnectés, souvent appuyés sur des flux de données en temps réel, accroît par ailleurs le risque de cyberattaques, en raison de la multiplication des points d'accès potentiels (Majumdar et al., 2021). À cela s'ajoutent des coûts d'investissement initiaux souvent sous-estimés, comprenant l'acquisition d'équipements, la formation des équipes et la maintenance des systèmes logiciels avancés, y compris ceux intégrant des fonctions prédictives ou automatisées (Rouf & Sarker, 2022).

Ces obstacles techniques sont renforcés par des freins humains et organisationnels. L'absence de leadership numérique, la résistance au changement, ainsi que le manque de compétences en traitement et interprétation des données limitent fortement l'impact des outils intelligents, dont l'efficacité repose précisément sur une exploitation pertinente de l'information collectée. En l'absence d'une gouvernance adaptée, la collecte massive de données, souvent générée par des systèmes automatisés, risque de rester sans effet tangible sur la performance globale (Gravagnuolo, Angiello & Bosone, 2019).

Pourtant, ces investigations restent le plus souvent cantonnées à des études de cas locales (entreprises, régions ou pays spécifiques) ou à des analyses sectorielles ciblées (filières de la confection, chaînes d'approvisionnement régionales), ce qui engendre une vision parcellaire des freins identifiés (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018 ; Majumdar, Garg & Jain, 2021). Chaque article met en lumière quelques obstacles — qu'ils soient techniques (interopérabilité, cybersécurité), économiques (coûts initiaux, retour sur investissement) ou organisationnels (résistance au changement, déficit de compétences) — mais sans jamais les replacer dans un cadre unifié. De fait, il n'existe aujourd'hui aucun travail systématique qui enregistre l'ensemble des barrières en fonction de leur fréquence d'apparition, de leur intensité de citation et de leurs cooccurrences dans la littérature. Or, sans cette cartographie, il est impossible de

distinguer les obstacles structurels, qui subsistent de manière récurrente et transversale, des freins périphériques, qui ne concernent que certains contextes ou technologies. Cette lacune méthodologique fragilise la formulation de stratégies d'accompagnement cohérentes et hiérarchisées tant pour les chercheurs que pour les praticiens (Donthu et al., 2021). C'est précisément pour répondre à ce besoin de vision globale, de mise en perspective temporelle et de hiérarchisation des freins que nous proposons ici une analyse bibliométrique exhaustive, fondée sur plus de 150 publications, qui rendra compte de la densité, des réseaux d'interconnexion et de l'évolution de ces obstacles dans le temps.

L'objectif de cet article est de combler ce gap en proposant une analyse bibliométrique, fondée sur un corpus de 150 publications extraites de la base Scopus pour la période 2013–2025. Cette démarche quantitative porte sur les questions suivantes

- *RQ1. Tendances de publication et indicateurs de performance : Quelle est l'évolution annuelle du nombre de publications sur les freins à l'Industrie 4.0 dans le secteur textile, et comment se répartissent la productivité des auteurs, des institutions et des sources (nombre d'articles, citations, H-index) ?*
- *RQ2. Documents et contributeurs influents : Quels sont les articles, auteurs et revues les plus cités et les plus influents dans l'étude des barrières à l'adoption de l'Industrie 4.0 textile ?*
- *RQ3. Réseaux de collaboration : Comment s'organisent les co-publications entre auteurs, institutions et pays ? Quelles sont les principales coopérations nationales et internationales ?*
- *RQ4. Mots-clés et thématiques émergentes : Quels sont les mots-clés les plus co-occurents et les clusters thématiques majeurs (techniques, économiques, organisationnels, environnementaux) identifiés dans la littérature ?*
- *RQ5. Co-citation et structuration intellectuelle : Quels sont les profils de co-citation des auteurs et des sources qui structurent les courants de recherche sur les freins de l'Industrie 4.0 textile ?*
- *RQ6. Couplage bibliographique des pays : Comment les pays se regroupent-ils selon leurs pratiques de couplage bibliographique autour des barrières identifiées*

Pour répondre à ces questions, la présente recherche sera structurée comme suit : la Section 2 décrit la méthodologie de collecte et de traitement des données bibliographiques ; la Section 3 présente les résultats de l'analyse bibliométrique, en détaillant les quatre clusters de barrières et leurs réseaux de co-citation ; la Section 4 propose une discussion critique de ces résultats ; enfin, la Section 5 conclut en formulant des recommandations pour la recherche future .

2. Positionnement méthodologique

La présente étude s'inscrit dans une posture post-positiviste et systémique, reconnaissant que la connaissance scientifique est approximative, contextualisée et révisable (Popper, 1959 ; Ryan, 2006). Cette position repose sur l'idée que les phénomènes complexes — tels que l'adoption de l'Industrie 4.0 — ne peuvent être compris isolément, mais doivent être analysés à travers l'interaction de multiples dimensions (technologiques, organisationnelles, humaines et institutionnelles).

Dans cette perspective, l'approche systémique adoptée permet d'appréhender l'Industrie 4.0 comme un écosystème interconnecté (Bertalanffy, 1968 ; Midgley, 2000), où les entités (entreprises, technologies, acteurs et institutions) forment un réseau dynamique d'interactions. Ce cadre est particulièrement adapté à la bibliométrie, qui vise précisément à observer, cartographier et modéliser les relations entre unités de connaissance.

Sur le plan méthodologique, ce positionnement se traduit par une démarche empirico-déductive : l'analyse repose sur des données observables (articles indexés) afin de formuler des inférences

fondées sur des régularités statistiques, tout en intégrant une interprétation qualitative des structures sous-jacentes. Cette double posture assure à la fois la rigueur empirique et la profondeur interprétative nécessaires à une étude scientifique de la dynamique de recherche sur l'Industrie 4.0 et le textile.

3. Méthodes

La présente étude adopte une approche bibliométrique quantitative afin d'identifier les tendances, les obstacles et les interactions conceptuelles liés à l'adoption des technologies de l'Industrie 4.0 dans le secteur textile. Cette méthode permet de dégager une vision systémique et mesurable des productions scientifiques, en observant les régularités, les co-occurrences et les structures de collaboration.

L'analyse s'appuie sur les principes du post-positivisme, qui privilégie la mesure empirique tout en admettant la part interprétative du chercheur dans la lecture des relations conceptuelles. Elle mobilise ainsi un raisonnement déductif : à partir d'un corpus de données observées, elle vise à confirmer ou à infirmer les hypothèses théoriques relatives aux barrières technologiques, économiques, organisationnelles et humaines à l'adoption de l'Industrie 4.0.

La bibliométrie constitue ici une méthode d'analyse secondaire rigoureuse permettant d'explorer un large corpus de publications scientifiques pour en extraire les structures de connaissance (Börner et al., 2003).

Les résultats quantitatifs (indicateurs de performance, densité de réseau, co-citation) sont ensuite interprétés qualitativement à travers une analyse thématique des clusters, afin de relier les regroupements de mots-clés aux cadres théoriques dominants (Tornatzky & Fleischer, 1990 ; Rogers, 2003 ; Ajzen, 1991). Ce couplage entre cartographie empirique et analyse interprétative renforce la cohérence méthodologique de la recherche et prépare le terrain à la discussion des résultats.

3.1. Stratégie de recherche

Pour construire un corpus pertinent d'articles sur l'adoption de l'Industrie 4.0 et de la fabrication intelligente dans le secteur textile, nous avons appliqué une stratégie de recherche structurée. Tout d'abord, nous avons ciblé les termes clés « Industry 4.0 », « Smart manufacturing », « Digital manufacturing », « Connected industry » et « Intelligent industry » dans les titres et résumés, et limité notre champ aux études portant sur le textile, l'habillement ou la mode en lien avec la production industrielle. Ensuite, pour nous assurer que chaque document traitait spécifiquement des obstacles à cette transition technologique, nous avons inclus uniquement les publications mentionnant « barrier* », « challenge* », « constraint* », « limitation* », « restriction* » ou « obstacle* ».

(TITLE-ABS-KEY("industry 4.0 " OR "Smart manufacturing" OR "Digital manufacturing" OR "Connected industry" OR "Intelligent industry") AND TITLE-ABS-KEY((textile OR cloths OR fashion) AND (sector OR manufacturing OR industry)) AND TITLE-ABS-KEY(barrier OR challenge* OR constraint* OR limitation* OR restriction* OR obstacle*))*

Afin d'affiner notre sélection, nous avons imposé que chaque référence comporte au moins l'un des mots-clés exacts suivants : termes liés à l'Industrie 4.0 (par exemple « Additive Manufacturing » ou « Internet of Things »), au textile (« Textile Manufacturing », « Smart Textiles »), à l'innovation numérique (« Blockchain », « Machine Learning ») ou aux enjeux de durabilité (« Sustainability »). Nous avons exclu toute occurrence du mot-clé « Enzyme Stability » pour éviter les études hors sujet. Enfin, la base de données Scopus a été limitée aux disciplines de l'ingénierie, de l'informatique, des affaires, des sciences décisionnelles, de la sociologie et de l'économie, et aux articles rédigés en anglais, afin de garantir la cohérence et la comparabilité des résultats. Cette approche nous a ainsi permis de constituer un ensemble

d'environ 150 publications, représentatif des défis et des perspectives de l'Industrie 4.0 dans le domaine textile.

(TITLE-ABS-KEY("industry 4.0 " OR "Smart manufacturing" OR "Digital manufacturing" OR "Connected industry" OR "Intelligent industry") AND TITLE-ABS-KEY((textile OR cloths OR fashion) AND (sector OR manufacturing OR industry)) AND TITLE-ABS-KEY(barrier* OR challenge* OR constraint* OR limitation* OR restriction* OR obstacle*)) AND LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industry 4.0") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile Industry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textiles") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Sustainability") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Smart Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Artificial Intelligence") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Digital Transformation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Internet Of Things") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Additive Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Fashion Industry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"3D Printing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Supply Chains") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Smart Textiles") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Manufacture") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Digital Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industrial Research") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Embedded Systems") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile And Clothings") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Digital Technologies") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Clothing Industry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Big Data") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Interoperability") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industry 5.0") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industrial Revolutions") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Clothes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Blockchain") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Additives") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile Production") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Smart Factory") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Machine Learning") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Lean Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Information Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industrial Production") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"E-textiles") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Digitalization") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Augmented Reality") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Anomaly Detection") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile Sector") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Textile Printing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Technology Adoption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Machine-learning") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Manufacturing Industries") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Internet Of Things (IoT)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Internet Of Thing (IOT)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Industrial Environments") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Computer Vision") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Computer Aided Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Clothing Manufacturing") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Block-chain") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Barriers")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"DECI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"SOCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ECON")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))

Notre méthodologie porte sur 150 documents extraits de Scopus pour la période 2013–2025, analysés à l'aide de Bibliometrix sous R et de VOSviewer. Nous calculons des indicateurs de performance tels que le nombre total de citations, l'indice h et le nombre de publications

annuelles pour évaluer l'influence des auteurs, des institutions et des revues. Les techniques de cartographie scientifique révèlent ensuite la structure intellectuelle via des analyses de co-citation et de couplage bibliographique, tandis que l'analyse co-lexicale fait émerger les clusters thématiques où ces barrières coexistent. Cette approche combinée nous permet de quantifier non seulement la fréquence de discussion de chaque obstacle, mais aussi leurs interconnexions, les réseaux de collaboration qui se forment autour d'eux et l'évolution de leur importance

3.2. Logiciel d'analyse bibliométrique

L'analyse bibliométrique a été réalisée à l'aide de l'application Biblioshiny retenue pour sa souplesse dans le choix des mesures de construction et de visualisation des réseaux bibliométriques et des cartographies de la connaissance scientifique, ainsi que pour son interface web du package bibliometrix sous R, open source et accessible à tous. Biblioshiny constitue aujourd'hui l'une des plateformes les plus répandues pour analyser globalement un domaine de recherche, tant par la quantification des indicateurs (nombre de publications, citations, h-index) que par la construction de cartes thématiques (Ellegaard & Wallin, 2015). Il permet de décrire de manière exhaustive la structure de la connaissance, d'identifier les acteurs clés (auteurs, institutions, revues) et de suivre l'évolution temporelle des thématiques et des collaborations.

4. Résultats

• Statistiques générales

L'analyse bibliométrique couvrant la période 2013–2025 révèle une dynamique de publication soutenue sur le thème de l'Industrie 4.0 dans le secteur textile, avec un total de 150 documents issus de 120 sources scientifiques, ce qui correspond à un ratio source/document relativement élevé (0,8). Le taux de croissance annuel moyen de 24,6 % illustre une accélération notable de l'intérêt scientifique, particulièrement à partir de 2019, corrélée à la montée en puissance des politiques de transformation numérique dans l'industrie manufacturière mondiale.

Le corpus mobilise 633 auteurs, soit une moyenne de 4,22 auteurs par article, ce qui est conforme aux standards des champs technologiques complexes où la production scientifique repose sur des collaborations multidisciplinaires. Cette mouvance est renforcée par un taux de co-publication internationale de 22,67 %, témoignant d'une ouverture significative du champ à des partenariats interinstitutionnels et transnationaux. La part très faible d'articles à auteur unique (13 auteurs seulement) confirme la nature collective des investigations, typique des travaux mobilisant des approches techniques croisées (ingénierie, informatique, supply chain, management).

Du point de vue lexical, les 534 mots-clés d'auteur (DE) renseignent sur la diversité des thématiques abordées. Le ratio mots-clés/documents (3,56) traduit une spécialisation croissante, avec une densité sémantique compatible avec une littérature encore exploratoire, mais déjà bien structurée autour de concepts dominants tels que Industry 4.0, textile manufacturing, digital transformation, barriers, et smart technologies. En parallèle, la richesse bibliographique est attestée par les 8269 références, soit en moyenne 55,13 références par article.

L'âge moyen des documents, estimé à 3,14 ans, indique un corpus globalement récent, en phase avec l'évolution rapide des technologies ciblées. Le score moyen de 18,61 citations par document constitue un indicateur robuste d'impact académique, notamment dans un champ jeune. Ce niveau de citation montre que plusieurs publications du corpus exercent une influence

significative sur les orientations de la recherche internationale, contribuant ainsi à la maturation théorique et méthodologique du domaine.

Figure 1 : Statistiques descriptives de l'analyse bibliométrique entre 2013-2025



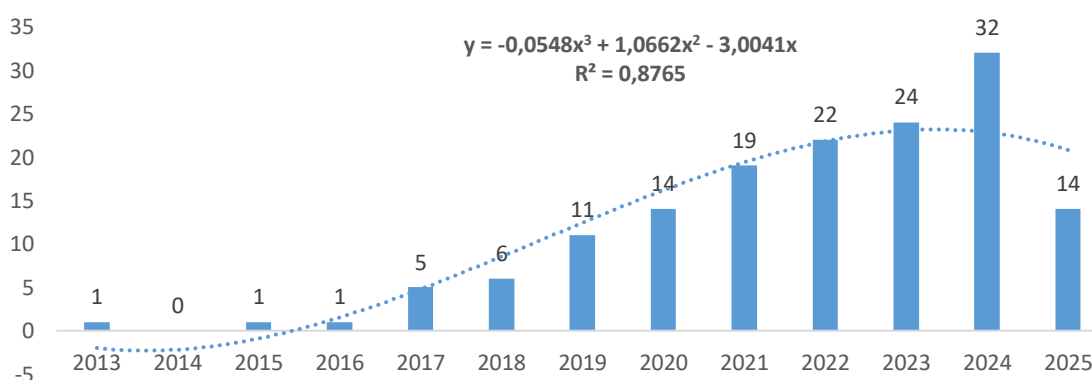
Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Évolution de la production scientifique

Entre 2013 et 2016, la production scientifique reste marginale, avec seulement un à deux articles par an. Cette période peut être qualifiée de phase d'amorçage, marquée par une faible visibilité du sujet dans les cercles académiques. À partir de 2017, la dynamique s'accélère progressivement, atteignant 5 publications, puis un rythme croissant jusqu'en 2020 où l'on enregistre 14 articles. Cette croissance soutenue reflète l'émergence de l'Industrie 4.0 comme thème transversal, porté par l'introduction concrète de technologies numériques dans les chaînes de valeur textiles. La période 2019–2024 constitue ainsi la phase d'expansion du champ, avec un pic atteint en 2024 (32 publications), ce qui correspond à une multiplication par plus de 6 du volume annuel en seulement cinq ans.

Le modèle polynomial de degré 3 ajusté à la courbe présente un coefficient de détermination $R^2 = 0.8765$, ce qui indique un excellent niveau d'ajustement (87,65 % de la variance expliquée). Ce choix de modèle est pertinent pour capter la non-linéarité du phénomène, notamment l'accélération puis le fléchissement potentiel. En effet, l'année 2025 montre une baisse nette avec 14 publications seulement, ce qui peut être interprété de deux façons : soit comme un effet de données incomplètes (prévisions ou articles encore non indexés), soit comme un début de saturation ou de réorientation thématique dans la recherche.

Figure 2 : Évolution annuelle du nombre de publications sur l'Industrie 4.0 dans le secteur textile (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Citation des travaux

L'analyse des données de citation sur la période 2013–2025 permet de dégager des tendances fines concernant la visibilité et l'impact scientifique des publications relatives à l'adoption de l'Industrie 4.0 dans le secteur textile. Trois indicateurs sont ici mobilisés : le nombre d'articles

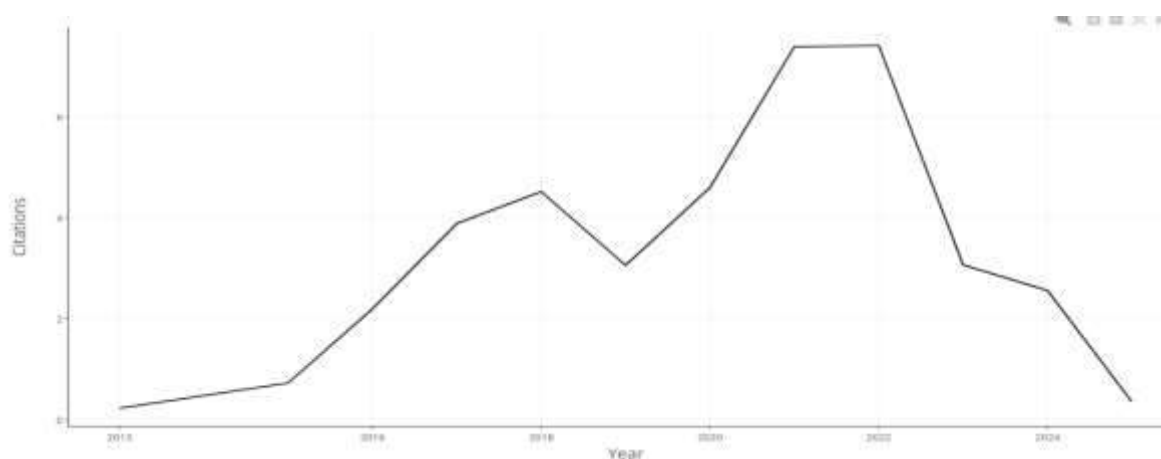
publiés par an (N), la moyenne de citations totales par article (citation moyenne par article), et la moyenne de citations par année (citation moyenne par année). À cela s'ajoute le nombre d'années citables (Citable Years), c'est-à-dire le temps écoulé depuis la publication permettant une évaluation de l'impact.

L'année 2018 se distingue comme un point d'inflexion, avec une citation moyenne par article de 36,17 et une moyenne de citation par année de 4,52, traduisant un niveau d'impact élevé et stable dans le temps. Cette tendance s'accroît en 2021 et 2022 où l'on observe les scores les plus élevés en termes de citations annuelles moyennes (7,39 et 7,41 respectivement). Ces données suggèrent que les articles publiés dans ces deux années ont bénéficié à la fois d'une meilleure visibilité académique et d'une pertinence accrues vis-à-vis des préoccupations scientifiques contemporaines, notamment autour des notions de transformation numérique, durabilité, et chaîne d'approvisionnement intelligente.

Tableau 1 : Citation des publications (2013–2025)

Year	MeanTCperArt	N	MeanTCperYear	CitableYears
2013	3.00	1	0.23	13
2015	8.00	1	0.73	11
2016	22.00	1	2.20	10
2017	35.00	5	3.89	9
2018	36.17	6	4.52	8
2019	21.45	11	3.06	7
2020	27.57	14	4.60	6
2021	36.95	19	7.39	5
2022	29.64	22	7.41	4
2023	9.21	24	3.07	3
2024	5.12	32	2.56	2
2025	0.36	14	0.36	1

Figure 3 : Moyenne annuelle des citations des publications sur l'Industrie 4.0 dans le secteur textile (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Le diagramme à trois champs : Pays -Mots clés-Auteur

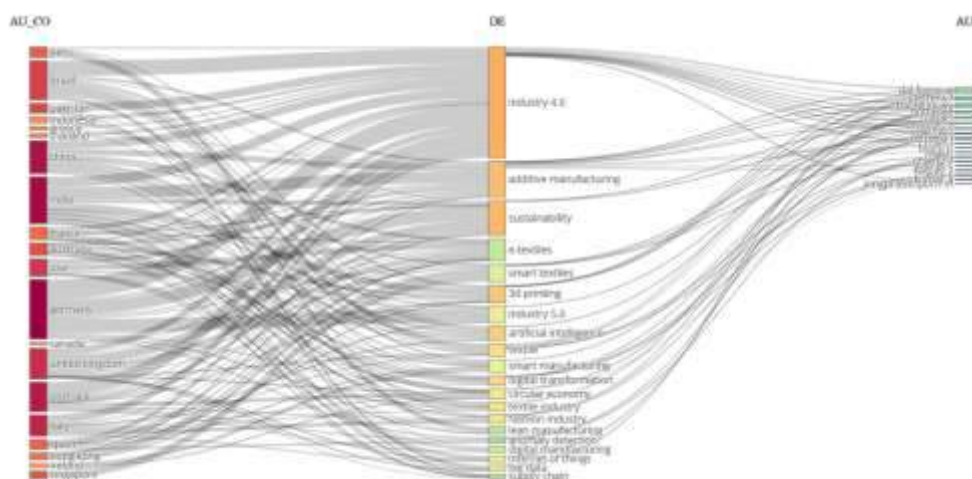
Le diagramme de Sankey fournit une visualisation bibliométrique tridimensionnelle particulièrement riche, reliant les pays d'affiliation des auteurs (AU_CO), les descripteurs d'auteur (DE), et les auteurs individuels (AU). Cette structure permet d'identifier les interconnexions géographiques, thématiques et scientifiques qui structurent le champ de recherche autour de l'Industrie 4.0 dans le secteur textile.

Sur le plan géographique, le graphe révèle une forte activité scientifique provenant de pays émergents et industrialisés, avec une concentration notable d'auteurs affiliés à l'Inde, la Chine, le Pakistan, l'Indonésie et le Brésil, mais aussi une présence significative des États-Unis, du Royaume-Uni, de l'Allemagne, du Canada et de la France. Cette distribution témoigne d'un intérêt global et multisitué pour la digitalisation textile, où les pays producteurs (comme l'Inde, le Pakistan ou l'Indonésie) apparaissent comme des pôles actifs de production scientifique, en lien direct avec des réalités industrielles concrètes.

Au niveau thématique, le mot-clé "Industry 4.0" constitue le cœur sémantique du champ, alimenté transversalement par toutes les zones géographiques. D'autres concepts structurants émergent avec des fréquences marquées tels que "additive manufacturing", "sustainability", "e-textiles", "smart textiles", "3D printing", "artificial intelligence" et "digital transformation". Ces termes témoignent de la transversalité disciplinaire du domaine, combinant les apports de l'ingénierie textile, de la robotique, de l'économie circulaire et des technologies de fabrication intelligente. La présence plus récente de descripteurs comme "Industry 5.0", "circular economy" ou "anomaly detection" reflète un élargissement du champ vers des considérations sociétales, éthiques et prédictives, en réponse aux enjeux de durabilité et de complexité des systèmes.

Concernant les auteurs, Dal Forno AJ, Boukhatem, Kumar, Jongprasithporn, et Bouras apparaissent comme les contributeurs les plus visibles, chacun étant associé à un ou plusieurs descripteurs clés. Leur positionnement dans le graphe indique non seulement une spécialisation thématique, mais également une insertion dans des réseaux transnationaux de recherche. Le lien entre ces auteurs et les pays émergents met en évidence une dynamique de recherche endogène, non exclusivement dominée par les pays du Nord.

Figure 4 : Flux de collaboration entre pays, mots-clés et auteurs dans la recherche sur l'Industrie 4.0 textile (2013–2025)



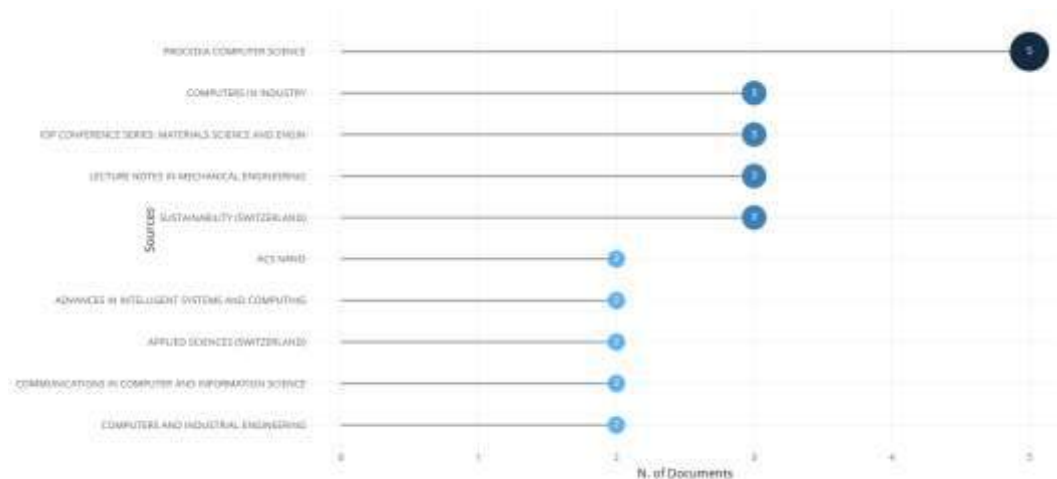
Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Les sources les plus citées

Le graphique 5 des sources les plus productives illustre la dispersion et la spécialisation éditoriale de la recherche sur l'Industrie 4.0 dans le secteur textile. Ce classement montre que la revue *Procedia Computer Science* arrive en tête avec 5 publications. Viennent ensuite, à égalité avec 3 documents chacun, des revues telles que *Computers in Industry*, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering* et *Sustainability (Switzerland)*. Cette diversité montre une transversalité disciplinaire claire : les contributions scientifiques tourne autour de l'automatisation industrielle, sciences des matériaux, mécanique appliquée et enjeux de durabilité. On note également la présence

remarquée de revues à haut facteur d'impact ou à audience interdisciplinaire, telles que ACS Nano ou Applied Sciences (Switzerland), qui comptent 2 publications chacune, au même titre que Communications in Computer and Information Science, Advances in Intelligent Systems and Computing et Computers and Industrial Engineering. Cette répartition éditoriale indique qu'aucune revue unique ne domine encore le champ, ce qui est typique des domaines émergents et pluridisciplinaires.

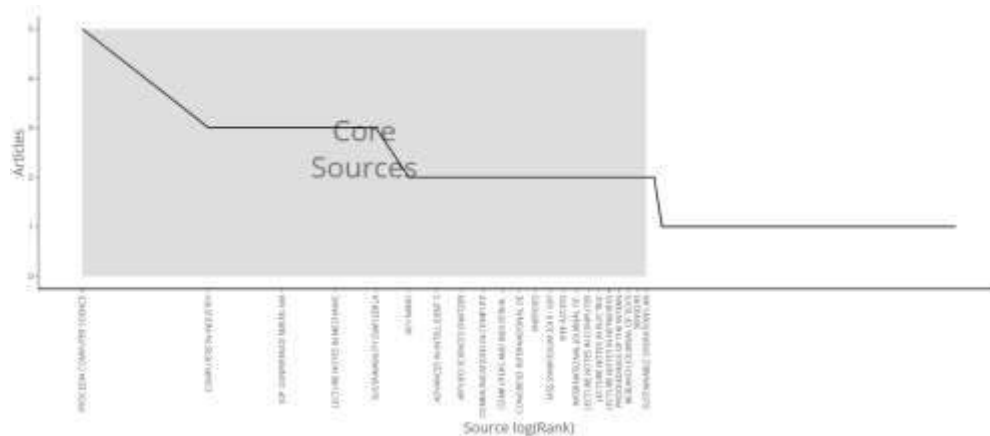
Figure 5 : Répartition des publications par source dans la recherche sur l'Industrie 4.0 textile (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Core Sources by Bradford's Law

Figure 6 : Identification des sources centrales selon la loi de Bradford (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Les auteurs les plus prolifiques

Le tableau 2 présente les auteurs les plus influents du corpus, mesurés selon trois indicateurs principaux : la fréquence de publication (freq), le nombre total de citations (TC), et le taux de citations par an (TCpY). Ces données permettent de dégager non seulement les auteurs les plus prolifiques, mais aussi ceux dont les travaux ont eu l'impact le plus rapide et soutenu dans le champ de l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile.

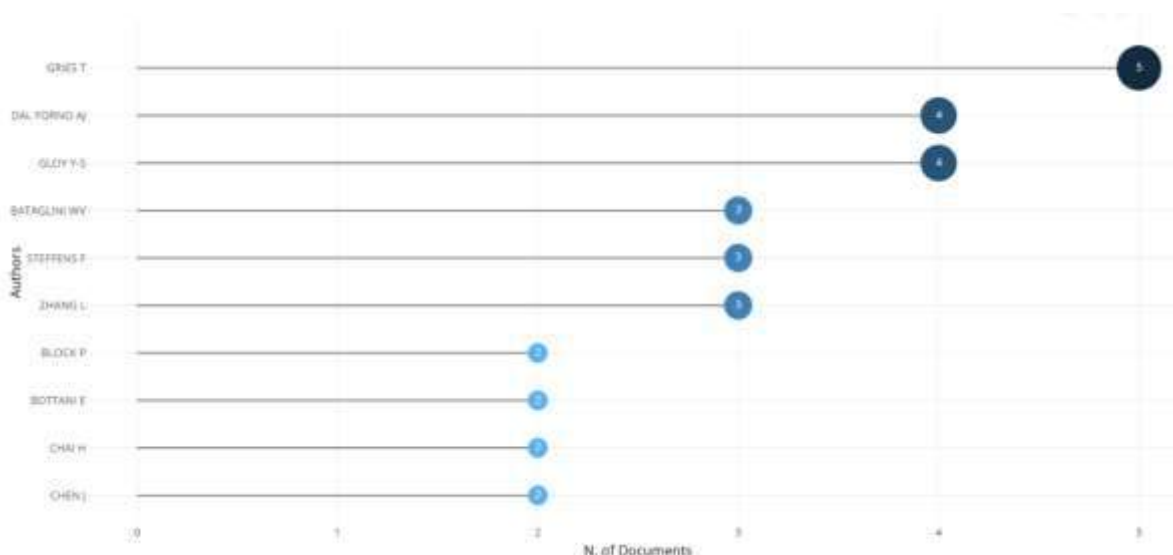
Les auteurs Bataglini WW et Steffens F se distinguent nettement avec 2 publications chacun, concentrées sur la période 2021–2023, et totalisant 39 citations chacune, soit un taux annuel très élevé de 13 citations par an. Ce niveau de performance bibliométrique indique une visibilité rapide et une forte pertinence de leurs travaux. Un autre auteur influent est Gries T, avec des contributions étalées sur trois années (2021, 2023, 2024) et un total de 31 citations en 2024,

pour un total de citation par an exceptionnel de 15,5. Zhang L, bien que présent uniquement en 2019 et 2020, cumule 60 citations en 2020, avec un total de citation par an de 10, ce qui en fait l'un des contributeurs les plus visibles sur le moyen terme. À l'inverse, des auteurs comme Bottani E et Chai H, bien que publiant dans des revues indexées, affichent des scores de citation très faibles ou nuls. Enfin, Gloy Y-S se démarque comme l'un des rares auteurs à avoir publié en continu dès les années 2016–2017, avec un TC global de 103 et un total de citation moyen par an de 11,444.

Tableau 2 : Les auteurs les plus prolifiques

Author	Year	Freq	TC	TCpY
BATAGLINI WV	2021	1	2	0.400
BATAGLINI WV	2023	2	39	13.000
BLOCK P	2019	1	2	0.286
BOTTANI E	2021	1	2	0.400
BOTTANI E	2025	1	0	0.000
CHAI H	2019	2	2	0.286
CHEN J	2023	1	1	0.333
CHEN J	2024	1	4	2.000
DAL FORNO AJ	2021	2	3	0.600
DAL FORNO AJ	2023	2	39	13.000
GLOY Y-S	2016	1	22	2.200
GLOY Y-S	2017	3	103	11.444
GRIES T	2017	2	11	1.222
GRIES T	2023	2	3	1.000
GRIES T	2024	1	31	15.500
STEFFENS F	2021	1	2	0.400
STEFFENS F	2023	2	39	13.000
ZHANG L	2019	2	2	0.286
ZHANG L	2020	1	60	10.000

Figure 7 : Distribution du nombre de publications par auteur (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• La production scientifique selon Affiliations des auteurs

Le tableau 3 des affiliations institutionnelles met en évidence les pôles universitaires les plus actifs dans la recherche sur l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile. Ces données soulignent à la fois une forte concentration géographique en Asie et en Europe, ainsi qu'une spécialisation

disciplinaire orientée vers l'ingénierie, l'architecture industrielle, et les technologies numériques.

RWTH Aachen University (Allemagne) domine nettement avec 17 publications, affirmant son rôle de leader européen en matière de recherche technologique avancée. Cette institution est historiquement reconnue pour son expertise en génie industriel et en innovation numérique, ce qui la positionne naturellement au cœur des réflexions sur les chaînes de production intelligentes. Nanyang Technological University (Singapour), avec 14 articles, confirme l'ancrage asiatique dans ce domaine, tout comme Tongji University (Chine, 11 publications) et la City University of Hong Kong (9 articles). Ces universités illustrent le poids croissant de l'Asie dans la production scientifique liée à la transformation numérique du secteur manufacturier, notamment textile. La forte représentation de la National Tsing Hua University (Taïwan), avec 7 articles. Du côté européen, Politecnico di Milano (Italie) se distingue avec 7 publications. La présence de l'établissement français Troyes CEDEX avec un volume équivalent témoigne de l'intérêt stratégique de certains pôles régionaux français pour la convergence entre industrie textile, technologies intelligentes et durabilité. L'Institute of Technology in Architecture (probablement ETH Zurich ou similaire, avec 10 publications) et la School of Architecture and Planning (probablement MIT ou une université indienne de renom) montrent quant à eux que l'Industrie 4.0 dans le textile n'est pas étudiée uniquement sous l'angle industriel, mais également à travers les prismes de l'environnement bâti, de la planification urbaine et du développement durable.

Tableau 3 : Répartition des publications par institution affiliée (2013–2025)

Affiliation	Articles
RWTH AACHEN UNIVERSITY	17
NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	14
TONGJI UNIVERSITY	11
INSTITUTE OF TECHNOLOGY IN ARCHITECTURE	10
CITY UNIVERSITY OF HONG KONG	9
SCHOOL OF ARCHITECTURE AND PLANNING	9
BANGKOK	7
NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY	7
POLITECNICO DI MILANO	7
TROYES CEDEX	7

Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

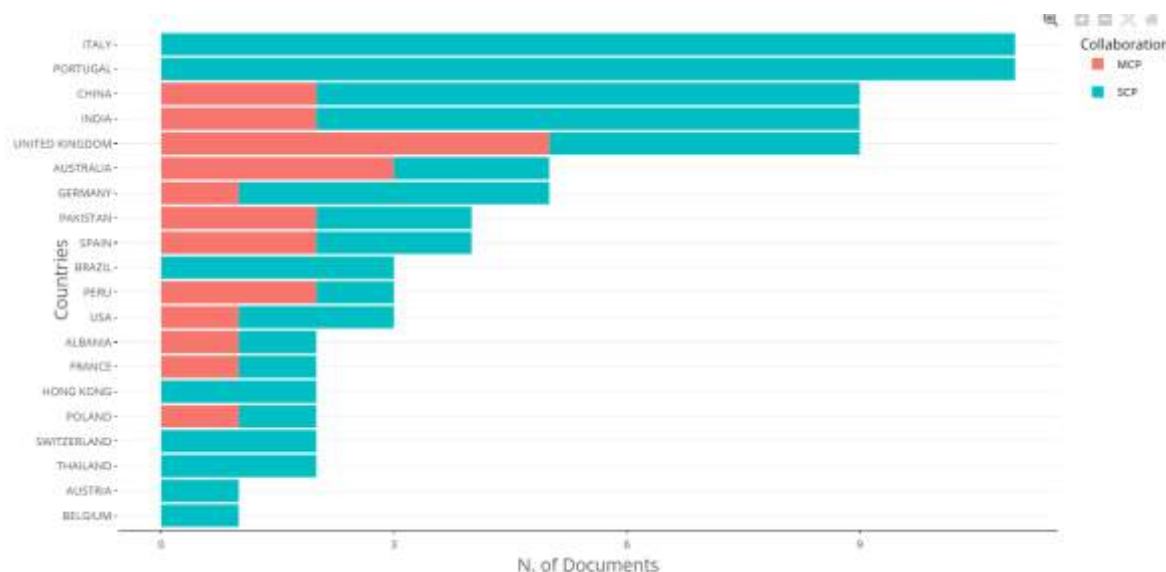
• **Pays des auteurs correspondants**

Le graphique met en lumière la structure géographique de la production scientifique sur l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile. Cette visualisation permet d'analyser non seulement l'intensité de la recherche par pays, mais surtout le niveau d'intégration dans les réseaux scientifiques transnationaux.

Deux pôles émergent clairement. Le premier est composé de pays à forte capacité de publication domestique. L'Italie se distingue avec le plus grand nombre de documents (11 articles), tous issus de collaborations exclusivement nationales. Ce profil montre une structuration interne de l'écosystème de recherche textile, probablement articulée autour de centres comme le Politecnico di Milano ou d'instituts spécialisés dans la fabrication avancée. Le Portugal suit un schéma similaire avec 10 publications SCP. Le second pôle réunit des pays ayant recours à une production hybride, combinant publications internes et coopérations internationales. La Chine, l'Inde, le Royaume-Uni et l'Australie illustrent ce modèle. Le Royaume-Uni en particulier se distingue par une forte proportion de MCP. La Chine et l'Inde, bien qu'émergents dans la sphère de la recherche, affichent déjà une internationalisation scientifique non négligeable, en cohérence avec leurs ambitions industrielles mondiales. Ce

profil mixte est souvent corrélé à une stratégie de montée en puissance, où l'ouverture aux collaborations internationales permet un renforcement progressif des capacités locales tout en assurant une visibilité globale. D'autres pays comme l'Allemagne, le Brésil, le Pakistan ou l'Espagne tendent à privilégier les publications nationales, traduisant soit une orientation plus endogène de la recherche, soit une faible participation aux grands consortiums scientifiques. À l'inverse, des pays comme les États-Unis, la France et Hong Kong affichent un équilibre entre SCP et MCP. La présence de pays comme la Suisse, la Thaïlande, l'Autriche ou la Belgique, bien que marginale en termes de volume, révèle une dispersion géographique croissante des travaux sur l'Industrie 4.0 textile

Figure 8 : Collaborations nationales et internationales par pays (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

- **La production scientifique des pays**

Tableau 4 : Répartition des publications par pays (2013–2025)

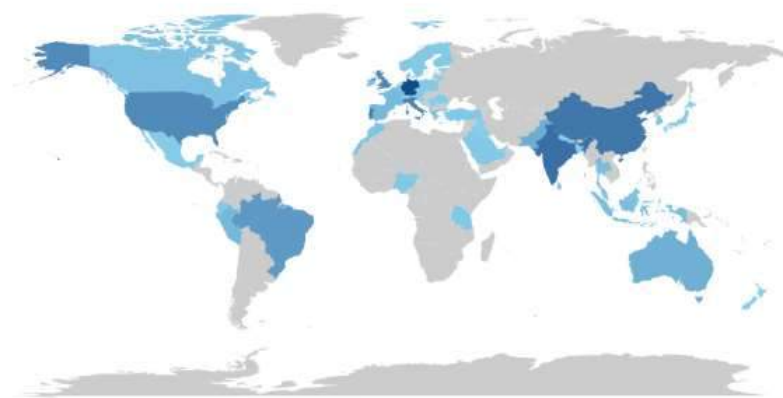
Country	Freq
GERMANY	78
INDIA	56
CHINA	52
PORTUGAL	48
ITALY	44
UK	42
USA	40
BRAZIL	31
PAKISTAN	19
AUSTRALIA	18

Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

La carte de la production scientifique met en évidence la distribution géographique des contributions académiques sur l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile. Le tableau associé classe les pays selon leur fréquence de publication (freq). En tête du classement figure l'Allemagne avec 78 publications. Ce positionnement s'explique par la présence d'institutions de référence telles que la RWTH Aachen University ou le Fraunhofer Institute, historiquement impliquées dans l'ingénierie industrielle et la transformation numérique. L'Inde (56 publications) et la Chine (52) occupent respectivement la deuxième et la troisième place. Le Portugal (48 publications) et l'Italie (44) se placent juste derrière, témoignant d'une production scientifique soutenue, souvent en lien avec une industrie textile historiquement enracinée et

des écosystèmes d'innovation bien structurés. Les données relatives au Royaume-Uni (42) et aux États-Unis (40) montrent une participation active, mais légèrement en retrait, sans doute en raison d'un positionnement plus transversal (ingénierie, data science, économie circulaire) et d'une intégration dans des réseaux de recherche plus larges. Plus bas dans le classement, le Brésil (31), le Pakistan (19) et l'Australie (18) confirment leur présence dans les échanges scientifiques internationaux.

Figure 9 : Carte géographique des publications par pays (2013–2025)

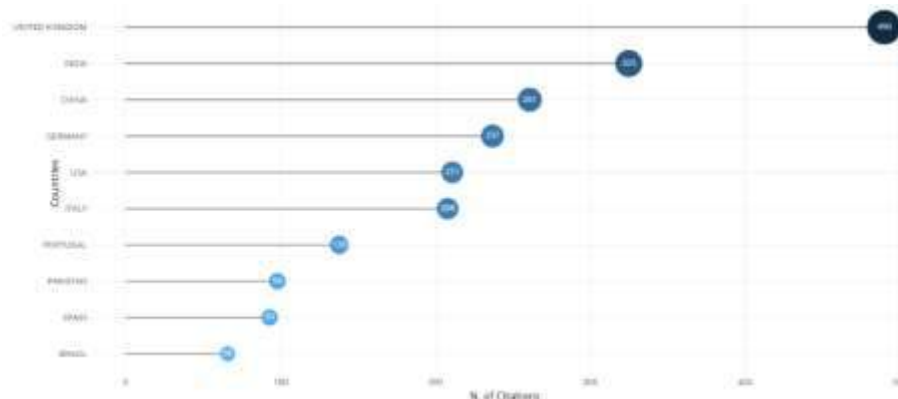


Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Les pays les plus cités

Le Royaume-Uni domine nettement ce classement avec 490 citations, malgré un volume de publications inférieur à celui de pays comme l'Allemagne ou le Portugal. Cette performance souligne la qualité élevée des contributions britanniques, souvent issues de collaborations internationales à fort potentiel d'impact, notamment dans les domaines de l'intelligence artificielle, de la chaîne d'approvisionnement intelligente et de la transformation numérique appliquée à l'industrie textile. L'Inde, en deuxième position avec 325 citations. Ce résultat témoigne de l'investissement stratégique des institutions indiennes dans la recherche textile appliquée aux technologies 4.0, couplée à des publications bien citées dans des revues visibles. La Chine suit avec 261 citations, un chiffre élevé qui reflète la montée en puissance continue de sa production scientifique, bien que son impact moyen par article soit légèrement inférieur à celui de ses homologues européens et américains.

Figure 10 : Nombre total de citations par pays (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

L'Allemagne (237 citations), les États-Unis (211), et l'Italie (208) occupent un bloc relativement homogène. En comparaison, des pays comme le Portugal (138 citations) ou le Pakistan (98 citations) affichent un volume significatif, mais encore modéré d'impact, ce qui

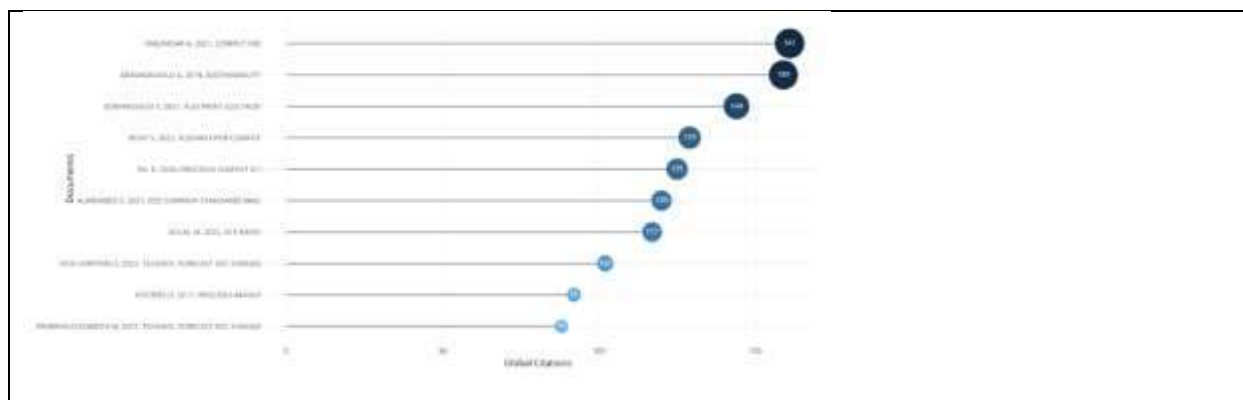
peut s'expliquer soit par la relative nouveauté de leurs travaux, soit par une diffusion encore restreinte dans les réseaux internationaux de citation. La Espagne (93) et le Brésil (66) ferment le classement, malgré une présence scientifique continue.

• Les papiers les plus cités

Le graphique et le tableau associés présentent les papiers les plus cités dans le domaine de l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile, sur la base de trois indicateurs complémentaires : le nombre total de citations (Total Citations), le nombre moyen de citations par an (TC per Year) et le score de citation normalisé (Normalized TC).

En tête du classement figure Majumdar A. (2021, Computers in Industry) avec 161 citations et un taux impressionnant de 32,20 citations par an, témoignant d'un impact scientifique soutenu et rapide. Bien qu'il ne soit pas celui ayant le TC normalisé le plus élevé, son influence temporelle montre une réception immédiate dans la communauté scientifique. Le document de Gravagnuolo A. (2019, Sustainability), avec 159 citations et un TC normalisé de 7,41, affiche quant à lui un score ajusté. Bonnassieux Y. (2021) et Rouf S. (2022) occupent respectivement la 3^e et 4^e positions avec plus de 28 citations/an chacun. L'article de Rouf, en particulier, se démarque par un TC par an de 32,25, le plus élevé. Des contributions telles que Pal K. (2020) ou Almaeibed S. (2021), bien qu'antérieures, conservent une citabilité annuelle élevée (entre 20 et 24 citations/an). L'article publié dans ACS Nano par Dual M. (2022), bien qu'assez récent, atteint déjà 117 citations, avec un taux de 29,25 citations/an. Les contributions de Kusi-Sarpong S. (2022), Küsters D. (2017) et Fromhold-Eisebith M. (2021), avec des scores compris entre 88 et 102 citations, participent à structurer des axes plus socio-économiques et prospectifs, notamment en lien avec les changements organisationnels, les scénarios industriels ou les chaînes logistiques intégrées.

Figure 11 : Principaux articles les plus cités (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Les mots les plus fréquents

L'analyse lexicale issue des nuages de mots présentés fournit une lecture nuancée de la structuration sémantique du champ de recherche sur l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile, en croisant quatre sources textuelles distinctes : les mots-clés indexés (keywords plus), les mots-clés auteurs, les résumés et les titres. Cette méthode, fréquente en bibliométrie exploratoire, permet d'identifier à la fois les noyaux conceptuels dominants, les tendances émergentes, et les logiques de positionnement discursif au sein de la littérature scientifique.

Dans le nuage des "keywords plus", généré automatiquement à partir des références citées, se détachent très nettement les expressions "industry 4.0", "textile industry", "smart manufacturing", et "sustainable development". Cette densité lexicale traduit une triple convergence thématique : d'une part, une structuration technologique autour des paradigmes de l'automatisation avancée (smart manufacturing, internet of things) ; d'autre part, un ancrage

sectoriel précis (textile, garment, clothing industries) ; enfin, une inflexion normative liée aux impératifs environnementaux (sustainability, life cycle).

Les mots-clés des auteurs, souvent plus intentionnels et déclaratifs, confirment cette polarisation, mais la simplifient. Le terme “industry 4.0” y apparaît comme central et quasiment hégémonique, traduisant un effet de cadrage lexical autour d’une étiquette dominante, probablement influencée par les logiques de référencement et de visibilité académique. D’autres notions, telles que “additive manufacturing”, “digital transformation”, ou “artificial intelligence”, apparaissent en périphérie, ce qui révèle une forme de spécialisation sous-jacente, mais moins affirmée dans les déclarations d’auteur.

L’analyse des résumés, quant à elle, présente une cartographie lexicale plus fine et plus hétérogène. On y observe l’émergence de thématiques liées aux chaînes de valeur énergétiques (“global power energy”), à la gouvernance industrielle (“supply chain management”, “medium-sized entreprises”), mais aussi à des dispositifs techniques avancés (“cyber-physical systems”, “artificial intelligence”) et des objectifs normatifs explicites (“sustainable development goals”). Cette richesse discursive atteste d’un élargissement du champ, où les technologies 4.0 ne sont plus étudiées en vase clos, mais à travers leurs implications systémiques : environnementales, organisationnelles et socio-économiques. Il s’agit donc d’un domaine qui tend vers une intégration interdisciplinaire, mobilisant à la fois les sciences de l’ingénieur, les sciences de gestion et les études sur la durabilité.

La prégnance de l’expression “systematic literature review” en tête de fréquence traduit une maturation du champ, marquée par une volonté de structurer rétrospectivement un corpus en expansion rapide. De nombreux travaux s’inscrivent désormais dans des logiques de synthèse, de cartographie ou d’évaluation critique de l’existant. Par ailleurs, l’apparition de termes techniques très spécifiques dans les titres – tels que “robotically d-printed formworks”, “bending-actuated”, ou “computerized embroidery” – montre que le champ n’est pas seulement exploratoire ou spéculatif : il donne lieu à des expérimentations concrètes, à l’interface entre conception assistée, ingénierie textile et fabrication additive. Cette analyse lexicale révèle que la littérature sur l’Industrie 4.0 textile se caractérise par une croissance rapide, une centralisation autour d’un vocabulaire unificateur, mais également une différenciation progressive selon trois axes : technologique, normatif (durabilité), et méthodologique (revues systématiques, modélisation expérimentale).

Figure 122 : Nuages de mots illustrant les éléments bibliométriques : mots-clés Plus, mots-clés auteurs, termes d’abstract et mots des titres (2013–2025)



Mots clés (Keywords plus)



Most clés auteurs



Résumé (Abstract)

Titres

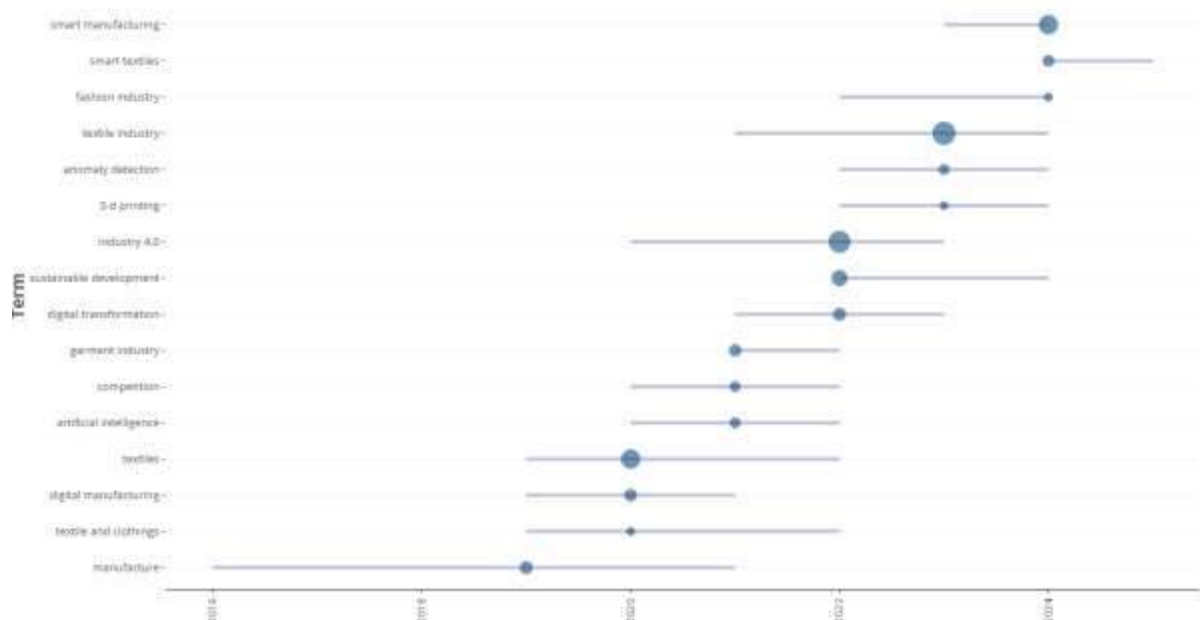
Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

- *Fréquence des mots clés dans le temps*

Le graphique présenté est une carte temporelle de la dynamique des mots-clés (thématiques) dans la littérature scientifique sur l'Industrie 4.0 et le secteur textile. Chaque ligne correspond à un terme, avec une période d'occurrence active (axe horizontal) et une taille de bulle proportionnelle à la fréquence d'utilisation ou à l'intensité citationnelle du terme sur la période centrale. Ce type de représentation bibliométrique est particulièrement pertinent pour identifier les phases d'émergence, de maturité ou de déclin des concepts.

Les termes “industry 4.0”, “textile industry”, “sustainable development” et “digital transformation” présentent une durée d’occurrence continue sur une période allant de 2019 à 2024, avec une forte densité centrale autour de 2021–2022. Cela confirme qu’ils constituent les axes structurants du champ, à la fois en termes de fréquence et de persistance dans le temps. Ces concepts forment la colonne vertébrale thématique de la recherche récente, en lien avec la numérisation des processus, la durabilité systémique, et la transformation des modèles organisationnels.

Figure 133 : Évolution temporelle des principaux termes de recherche (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

Les termes “smart manufacturing”, “smart textiles”, et “fashion industry” apparaissent plus récemment, avec des pics d’occurrence projetés vers 2023–2024, ce qui signale leur statut de thématiques émergentes. Ils traduisent une orientation vers des applications concrètes, personnalisées et intégrées, en phase avec les évolutions récentes de la consommation, de la

connectivité des produits et de l'automatisation intelligente. Leur position en fin de courbe suggère un potentiel de croissance scientifique important à moyen terme.

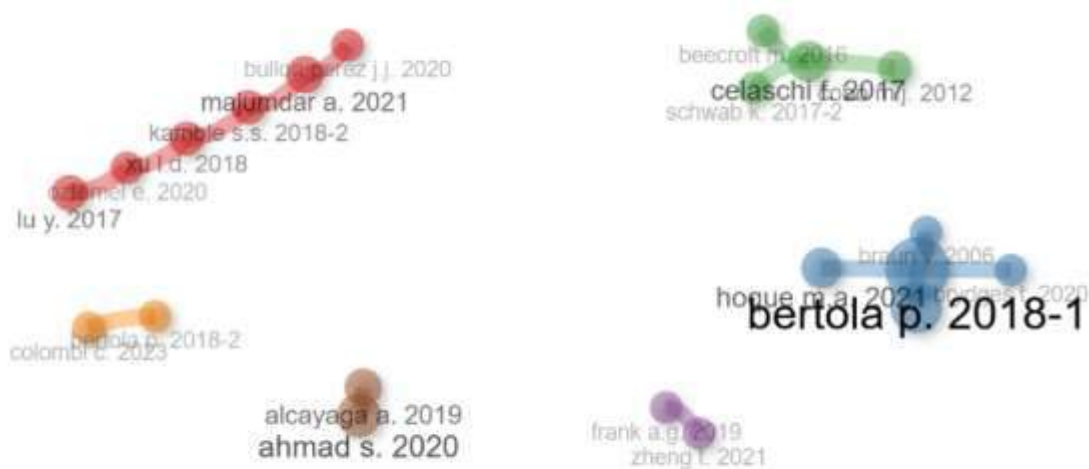
À l'inverse, des termes comme “textiles”, “digital manufacturing”, ou “manufacture” montrent une présence plus ancienne et moins dynamique sur les dernières années. Cela peut indiquer un recul relatif de leur centralité sémantique, ces concepts servant désormais de cadre général plutôt que d'objet d'analyse spécifique. Des termes techniques ou spécialisés tels que “3D printing”, “anomaly detection”, et “artificial intelligence” présentent des durées d'occurrence plus concentrées, souvent entre 2020 et 2023. Ces concepts sont probablement utilisés dans des sous-champs techniques (informatique industrielle, automatisation des procédés, qualité textile), ce qui en fait des thématiques transversales, mais moins centrales. L'apparition de termes comme “competition” et “garment industry”, bien que plus discrète, reflète l'ouverture du champ vers des préoccupations économiques et sectorielles, en lien avec la reconfiguration des chaînes de valeur et la pression concurrentielle internationale.

• *Les auteurs co-cités*

Ce graphique correspond à une carte de co-citation d'auteurs (ou co-citation document clustering), typique dans les analyses bibliométriques pour identifier les communautés intellectuelles ou courants théoriques structurant un champ de recherche. Chaque nœud représente un document fortement cité, et les regroupements de couleurs indiquent des clusters thématiques, c'est-à-dire des ensembles d'articles co-cités de manière significative dans la littérature sur l'Industrie 4.0 appliquée au textile.

Le groupe rouge, dominé par des auteurs comme Majumdar A. (2021), Kamble S.S. (2018), Xu L.D. (2018) et Bullón Pérez J.J. (2020), constitue un noyau technologique et systémique, structuré autour des paradigmes de l'industrie intelligente, de la transformation digitale et des modèles d'adoption technologique (notamment le TAM ou les frameworks intégrés d'évaluation de maturité digitale). Le groupe bleu, dont le centre est marqué par Hogue M.A. (2021) et Braun I. (2006), semble davantage orienté vers les questions managériales, organisationnelles et de gouvernance. Ce cluster reflète une lecture centrée sur les chaînes de valeur, la gestion de l'innovation, et les politiques de transformation numérique au sein des entreprises textiles.

Figure 14 : Carte de réseau de co-citation des auteurs dans la recherche sur l'Industrie 4.0 textile (2013–2025)



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

Le groupe vert, autour de Schwab K. (2017), Celaschi F. (2020) et Beeckroft M. (2016), se rattache probablement à des contributions plus conceptuelles ou critiques, liées à la prospective sur l'industrie du futur (Industrie 4.0 et 5.0), aux approches en design industriel, ou encore aux enjeux éthiques et sociétaux de la transition technologique. Il s'agit ici de réflexions structurantes sur la philosophie industrielle et les grandes mutations systémiques.

Le groupe orange, composé de Bertola P. (2018), Colombo C. (2023) et leurs co-cités, montre une orientation plus expérientielle ou sectorielle, très probablement liée à des études empiriques sur la mode, le design textile ou l'impression 3D, dans une perspective de personnalisation, de prototypage rapide ou d'adaptation esthétique.

Les groupes marron et violet, plus discrets, mais bien définis, autour de Alcayaga A. (2019) et Frank A.G. (2019), pourraient correspondre à des axes émergents tels que la durabilité circulaire, l'économie de la fonctionnalité, ou des modèles hybrides intégrant performance économique et transition écologique. La position centrale et préminente de "Bertola P. 2018-1" dans le graphe, avec une taille de nœud supérieure, indique qu'il s'agit probablement de l'un des documents les plus co-cités de tout le corpus, jouant un rôle de référence pivot dans la littérature.

• *Les thématiques abordées*

Dans le premier segment lié à l'intégration des technologies numériques dans la chaîne de valeur textile, les auteurs les plus visibles sont Pal, K., Bonnard, R., Nouinou, H., et Hidayatno, A.. Ces auteurs abordent des thématiques associées aux mots-clés tels que *Artificial Intelligence*, *Big Data*, *Digitalization*, *Technology Adoption*, *Supply Chain*, et *Smart Manufacturing*. Leurs travaux portent sur la modélisation des politiques d'adoption, la gestion des flux dans un environnement numérique et les stratégies d'implémentation des technologies disruptives.

Le deuxième segment, centré sur l'innovation matérielle et les enjeux de durabilité, comprend des contributions significatives de Rouf, S., Stulga, P., et Huayanca Quispe, S.. Les mots-clés dominants dans ce groupe incluent *3D Printing*, *Sustainability*, *Smart Textiles*, *Mechanical Properties*, et *Additive Manufacturing*. Ces auteurs explorent la convergence entre innovation textile, performance technique et objectifs environnementaux, en particulier dans des applications biomédicales ou vestimentaires à haute valeur ajoutée.

Le troisième segment, orienté vers la modélisation avancée et les systèmes intelligents, met en évidence Arnarson, H. et Yadla, V. comme figures centrales. Ils se concentrent sur des concepts comme *Digital Twin*, *Internet of Things*, *Reconfigurable Manufacturing Systems*, et *Smart Factory*, en mobilisant des outils de simulation numérique et de configuration dynamique des lignes de production.

Le quatrième segment, dédié aux obstacles, freins contextuels et contraintes sectorielles, est dominé par Dal Forno, A.J., Pant, K., et Jamouli, Y.. Ce cluster fait usage de mots-clés comme *Barriers*, *Challenges*, *Implementation Factors*, et *Clothing Manufacturing*. Il met en lumière les dynamiques institutionnelles, humaines et structurelles qui conditionnent l'adoption effective des technologies 4.0 dans les contextes locaux du secteur textile.

Analyse thématique des barrières

L'analyse des différentes études (couvrant l'Inde..., la Chine, l'Australie, le Vietnam et la Turquie, entre autres) révèle des défis récurrents, bien que leur priorité puisse varier selon les contextes spécifiques et les technologies étudiées.

Un frein majeur identifié est d'ordre financier et économique, se manifestant par les coûts élevés de mise en œuvre de l'I4.0, l'acquisition de technologies comme les robots collaboratifs (cobots) et les mises à niveau d'infrastructure nécessaires, ainsi que les contraintes financières ayant un impact significatif sur les barrières organisationnelles et de marché.

Tableau 5 : Les thématiques abordées

Cluster	Paper	Author Keywords	Year
1	HIDAYATNO A, 2019, ACM INT CONF PROC SER	APPAREL INDUSTRY; INDUSTRY 4.0; POLICY ANALYSIS; SYSTEM DYNAMICS MODELING; TECHNOLOGY ADOPTION; TEXTILE	2019
	PAL K, 2020, PROCEDIA COMPUT SCI	BLOCKCHAIN TECHNOLOGY; GLOBAL APPAREL MANUFACTURING; INTERNET OF THINGS; RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION; SENSOR NETWORK; SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	2020
	BONNARD R, 2021, INT J ADV MANUF TECHNOL	ARTIFICIAL INTELLIGENCE; BIG DATA; CLOUD COMPUTING; INDUSTRY 4.0; SMART MANUFACTURING	2021
	PAL R, 2022, THE DIGITAL SUPPLY CHAIN	3D DESIGN; ARTIFICIAL INTELLIGENCE; BIG DATA; CLOTHING; DIGITAL TOOL; DIGITALIZATION; INDUSTRY 4.0; SUPPLY CHAIN; WEARABLE	2022
	DAL FORNO AJ, 2023, RES J TEXT APPAR	4TH INDUSTRIAL REVOLUTION; APPAREL; E-BUSINESS; EMERGING TECHNOLOGIES; INDUSTRY 4.0; TEXTILE	2023
	NOUINOU H, 2023, J CLEAN PROD	DECISION-MAKING; DIGITAL TRANSFORMATION; INDUSTRY 4.0; LITERATURE REVIEW; TEXTILE AND CLOTHING INDUSTRY	2023
	KU C-C, 2024, IND MANAGE DATA SYS	DYNAMIC SCHEDULING; FUZZY DECISION TREE; INTELLIGENT MANUFACTURING; TEXTILE; WASTEWATER; WATER CONSUMPTION	2024
	PANT K, 2025, BENCHMARKING	BARRIERS; INDUSTRY 4.0; SENSITIVITY ANALYSIS; TEXTILE INDUSTRY	2025
2	ROUF S, 2022, SUSTAIN OPER COMPUT	3D PRINTING; ADDITIVE MANUFACTURING; APPLICATIONS; DENTAL; INDUSTRY; MECHANICAL PROPERTIES; MEDICAL; ORTHOPAEDIC	2022
	STULGA P, 2022, PROC DES SOC	CHARACTERISTICS AND PROPERTIES; INDUSTRY 4.0; SUSTAINABILITY; TEXTILES MANUFACTURING	2022
	DANIELA HUAYANCA QUISPE S, 2024, PROC LACCEI INT MULTI-CONF ENG EDUC TECHNOL	ARTIFICIAL INTELLIGENCE; FASHION 4.0; FASHION INDUSTRY; INDUSTRY 4.0; VIRTUAL REALITY	2024
3	ARNARSON H, 2023, J MANUF SYST	DIGITAL TWIN SIMULATION; INDUSTRY 4.0; LAYOUT PROBLEM FOR RMS; RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEM (RMS)	2023
	YADLA V, 2023, IEEE ENG INFORMATICS, EI	DIGITAL MANUFACTURING; DIGITAL TWIN; INTERNET OF THINGS; MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM; SMART MODELS	2023
4	DAL FORNO AJ, 2023, J FASH MARK MANAGE	CLOTHING INDUSTRY; DIAGNOSIS TOOL; EMERGING TECHNOLOGIES; INDUSTRY 4.0; MATURITY MODEL	2023
	JAMOULI Y, 2025, J THEOR APPL INF TECHNOL	CLOTHING INDUSTRY; CRITICAL SUCCESS FACTORS; IMPLEMENTATION PRIORITY; INDUSTRY 4.0; NEURAL NETWORK; TEXTILE	2025

Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

Les défis humains et organisationnels sont également proéminents, incluant la résistance des employés liée à l'insécurité de l'emploi..., le manque de leadership de l'industrie et l'engagement

de la direction..., un personnel qualifié insuffisant... avec des connaissances et compétences mal alignées (y compris au niveau de l'enseignement supérieur), et des problèmes d'accessibilité/évolutivité des compétences techniques....

Les barrières technologiques comprennent les difficultés générales d'intégration..., l'intégration spécifique avec les systèmes ERP ou de capteurs, ainsi que des défis opérationnels liés à des technologies précises, comme les limitations des cobots face aux tendances de mode rapides ou aux travailleurs non qualifiés, ou les défis techniques pour le passage des développements d'e-textiles du laboratoire à la production à grande échelle, sans oublier les problèmes de données comme les erreurs de saisie ou les défis d'applications spécifiques d'IA.

Les obstacles liés au gouvernement et aux politiques sont jugés critiques dans plusieurs contextes, notamment le manque de soutien gouvernemental et de subventions... et le manque de connaissance des politiques d'adoption. Enfin, les barrières liées au marché ont un impact profond sur d'autres défis, et des préoccupations concernant la sécurité et la confidentialité sont aussi mentionnées. Pour les textiles intelligents et l'électronique souple spécifiquement, la gestion de la fin de vie représente un défi technique, environnemental et économique significatif pour atteindre la circularité¹. Les sources soulignent l'interconnexion de ces barrières, notamment l'impact majeur des barrières de marché, financières et organisationnelles.

Tableau 6 : Analyse comparative des études empiriques sur les barrières à l'adoption de l'industrie 4.0 dans le secteur textile

Souce(s) / Auteur(s)	Pays / Contexte Géographique	Concept(s) / Technologie(s) Étudié(s)	Principaux obstacles identifiés	Focus de l'Étude
Skrzetuska, Rzeźniczak	Contexte général (produits intelligents et textiles)	Circularité des produits intelligents et textiles contenant de l'électronique souple	* Gestion de la fin de vie (défis techniques, environnementaux et économiques)	Exploration de la circularité et de la durabilité. Propose des stratégies (conception pour le démontage, recyclage avancé, politiques)
Pant, Palanisamy	Inde (chaîne d'approvisionnement textile indienne)	Adoption de l'Industrie 4.0	Coûts de mise en œuvre élevés	Identification et priorisation de 15 barrières. Analyse des interdépendances (méthode DEMATEL)
			Soutien gouvernemental inadéquat	Focus sur la chaîne d'approvisionnement.
			Manque d'engagement de la direction	
			Difficultés d'intégration technologique	
			Préoccupations de sécurité et de confidentialité	
Pereira, Oliveira, Guimarães, Ribeiro, Loureiro	Non spécifié pour le cas d'étude textile	IA explicable (xAI), spécifiquement LIME, appliquée à la détection de défauts textiles	Défis d'adaptation des techniques xAI (LIME) au contexte de fabrication	Étude de cas sur une application spécifique d'IA. Propose une méthodologie pour améliorer LIME dans ce contexte
			Génération de mauvaises explications due aux permutations d'images.	

Isik, Zilka	Turquie	Adoption et défis de l'Industrie 4.0 dans la gestion de la maintenance	Erreurs de saisie de données ⁴ Problèmes d'intégration ERP	Étude qualitative basée sur des entretiens avec des responsables de maintenance ⁴ . Recommandations pour la numérisation de la maintenance.
	(Istanbul, incluant le secteur textile)		Manque de techniciens qualifiés.	
Khurshid, Khan, Khan, Cifuentes-Faura ⁵	Chine (secteur textile chinois)	Adoption de l'Économie Circulaire (CE) et des chaînes d'approvisionnement vertes via principes	Barrières liées au marché (les plus impactantes)	Analyse quantitative de 75 spécialistes (approche q-ROFS). Souligne l'interdépendance des barrières, l'impact du marché et des finances
			Barrières financières ⁵ Barrières organisationnelles (Également mentionnées : barrières sociologiques, environnementales, technologiques, de la chaîne d'approvisionnement, gouvernementales)	
Nguyen, Ma	Vietnam	Implémentation de robots collaboratifs (cobots)	Défis technologiques (limites de flexibilité/précision des cobots face aux tendances de mode rapides, travailleurs non qualifiés)	Exploration des défis du point de vue des employés d'usine. Contexte de la fabrication de vêtements et de l'externalisation.
			Problèmes sociaux	
			Barrières de coûts (coût des cobots, mises à niveau d'infrastructure)	
			Problèmes de main-d'œuvre (travailleurs non qualifiés)	
			Risques d'échec potentiels au déploiement ⁶	
Marshall, Thompson-Whiteside, Jan	Australie (industrie de la mode australienne)	Adoption des technologies de l'Industrie 4.0	Manque de leadership de l'industrie	Enquête (TAM survey) et entretiens semi-structurés ⁷ . Focus sur l'acceptabilité et les barrières dans l'industrie de la mode.
			Connaissances et compétences mal alignées (dans l'enseignement supérieur)	
			Problèmes d'accessibilité et d'évolutivité des compétences techniques	
			Sous-utilisation de technologies (robotique autonome, capteurs, jumeaux numériques)	
Lynch, Torah, Komolafe, Beeby	Contexte non spécifique de production de wearables (e-textiles)	Mise à l'échelle de la production de textiles électroniques (e-textiles)	Barrières de communication entre les disciplines ⁸	Étude basée sur des entretiens avec des experts ⁸ . Cible les défis de commercialisation et propose des solutions pratiques.
			Connaissances insuffisantes concernant la propriété intellectuelle	
			Défis de mise à l'échelle (passage du niveau académique/bas TRL à l'industriel)	

Bernhard, Putz, Rohl, Nitsch, Leicht-Scholten	Contexte général (Internet of Production), textile cité en exemple	Internet of Sustainable Production (IoSP), intégrant I4.0 et durabilité	Défis interdisciplinaires dans l'atteinte de la durabilité au sein de l'IoSP (Les obstacles spécifiques au textile ne sont pas détaillés dans l'extrait, mais le secteur est inclus dans le cadre d'analyse)	Propose un cadre IoSP. Adopte une perspective inter- et transdisciplinaire. Vise à intégrer la durabilité dans les processus de production.
Dohale, Amblikar, Bilolkar, Kumar, Kumar10	Inde (industries du textile et de l'habillement indiennes)	Adoption de l'Économie Circulaire (CE) et des Technologies Intelligentes (ST)	Manque de connaissance des politiques d'adoption (critique) Manque de soutien et de subventions gouvernementales (critique) (Onze barrières significatives identifiées au total)	Utilisation de Neutrosophic ISM pour analyser les barrières CE-ST10. Première étude de ce type pour ce contexte et concepts en Inde

Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

Figure 15 : Carte thématique des défis d'adoption techno-durables dans le secteur textile



Source : Élaboration des auteurs à partir des données SCOPUS

• Discussion

L'étude bibliométrique menée sur la période 2013–2025 révèle une évolution significative de l'intérêt scientifique porté à l'Industrie 4.0 appliquée au secteur textile. Les résultats obtenus indiquent une croissance soutenue de la production scientifique, avec un taux moyen d'augmentation de 24,6 % par an, en particulier à partir de 2019. Cette accélération s'explique par la prise de conscience progressive des potentiels de transformation que représente l'intégration des technologies numériques dans les chaînes de valeur textiles. Elle correspond à une phase d'expansion observée également dans d'autres secteurs industriels, tel que l'ont souligné Kamble et al. (2018), en mettant en évidence l'importance stratégique des technologies de l'information pour l'automatisation et la reconfiguration des processus productifs.

Le modèle polynomial ajusté aux données de publication permet de comprendre la dynamique temporelle du champ. Le pic observé en 2024 avec 32 publications témoigne d'une phase de maturité, précédée par une montée régulière des productions scientifiques. Ce constat corrobore les observations de Gravagnuolo et al. (2019), dont l'étude dans *Sustainability* souligne que la digitalisation de l'industrie textile s'aligne désormais avec les grands objectifs de durabilité, en réponse aux mutations du marché mondial et aux exigences croissantes en matière de transparence, traçabilité et écoresponsabilité.

La structure des collaborations scientifiques, marquée par une moyenne de 4,22 auteurs par document et un taux de co-publication internationale de 22,67 %, révèle une interdépendance croissante entre disciplines, institutions et pays. Ce phénomène traduit la complexité des enjeux abordés, qui mobilisent simultanément les sciences de l'ingénieur, le management stratégique, les sciences des matériaux et les études sur la durabilité. La forte représentation de pays émergents tels que l'Inde, la Chine, le Pakistan ou l'Indonésie, à côté des pays historiquement industrialisés comme l'Allemagne, le Royaume-Uni ou les États-Unis, montre que les préoccupations relatives à l'Industrie 4.0 textile dépassent les frontières économiques, et soulignent une volonté mondiale de repositionner ce secteur sur des bases technologiques plus robustes (Majumdar, 2021 ; Pal, 2020).

L'analyse lexicale met en évidence un vocabulaire désormais structuré autour de concepts centraux comme *industry 4.0*, *digital transformation*, *smart manufacturing* et *sustainability*. Cette structuration sémantique est révélatrice d'une convergence conceptuelle. Des auteurs influents tels que Bertola & Teunissen (2018) ont montré que cette convergence n'est pas purement terminologique, mais qu'elle reflète une hybridation réelle des modèles technologiques, industriels et créatifs, particulièrement dans les segments liés à la mode, aux textiles techniques et à la personnalisation numérique.

Le positionnement thématique des publications, tel qu'il apparaît dans les cartes de co-citation et les tendances des mots-clés, permet de distinguer plusieurs axes forts. Le premier concerne les technologies de production intelligentes, incluant les jumeaux numériques, l'Internet des objets, la fabrication additive et, de manière croissante, l'intelligence artificielle intégrée aux processus de décision automatisés. Les contributions d'Arnarson (2023) sur les systèmes de production reconfigurables et de Rouf (2022) sur l'impression 3D sont ici particulièrement citées et montrent que le champ est en train de passer d'une phase d'exploration à une phase d'application concrète, où les algorithmes intelligents jouent un rôle structurant dans l'optimisation en temps réel.

Le second axe porte sur la durabilité, avec des travaux fondateurs comme ceux de Gravagnuolo (2019) ou de Stulga (2022), qui articulent les enjeux de cycle de vie, d'économie circulaire et de textile intelligent. Dans ces approches, l'IA intervient souvent de manière implicite, par exemple dans la modélisation prédictive des impacts environnementaux ou dans la gestion automatisée des ressources.

Enfin, un troisième axe, plus récent, mais en forte progression, concerne les modèles organisationnels et l'implémentation technologique. Les études de Dal Forno (2023) et Pant (2025) confirment que les obstacles à l'adoption de l'Industrie 4.0 ne relèvent pas uniquement des contraintes technologiques, mais sont surtout liés à la capacité des organisations à absorber ces transformations. Parmi les défis majeurs figurent le manque de formation, l'absence de leadership, les coûts d'investissement initiaux, et la résistance culturelle au changement. Dans ce cadre, l'intelligence artificielle, bien que souvent perçue comme un catalyseur d'innovation, soulève aussi des inquiétudes en matière d'acceptabilité, d'éthique, et de redéfinition des rôles humains dans les chaînes de production.

L'analyse des publications les plus citées corrobore cette répartition. Majumdar (2021), dans *Computers in Industry*, propose une lecture intégrée des défis techniques et managériaux liés au textile intelligent, en soulignant notamment le rôle croissant des systèmes cyber-physiques et de l'intelligence artificielle embarquée dans l'optimisation des performances textiles. De même, les travaux de Dual M. (2022) dans *ACS Nano* sur les textiles fonctionnels démontrent que les intersections entre innovation technologique, conception avancée et traitement automatisé des données constituent aujourd'hui des zones fertiles pour les recherches à fort impact. L'intégration implicite de l'IA dans la détection des signaux biométriques, la régulation

thermique ou les capacités de réponse adaptative des matériaux textiles témoigne de cette évolution.

Sur le plan géographique, l'analyse des publications les plus citées révèle une disproportion notable entre la visibilité académique des pays du Nord (Royaume-Uni, États-Unis, Allemagne) et celle des pays émergents. Les travaux issus des pays du Sud, bien que dynamiques et innovants, peinent à atteindre une reconnaissance équivalente, en raison de plusieurs facteurs tels que la langue de publication, la concentration des revues à fort facteur d'impact dans les pays occidentaux, ou encore l'accès inégal aux réseaux de collaboration et de diffusion internationaux (Beigel, 2014). Dès lors, il apparaît nécessaire de promouvoir une politique scientifique internationale plus équitable, fondée sur la décolonisation des critères de légitimité académique, la valorisation des revues régionales, l'encouragement des publications multilingues, et la mise en réseau des communautés scientifiques du Sud.

• *Limites de l'étude*

Cette étude présente plusieurs limites qui méritent d'être discutées. Tout d'abord, le recours à la base de données Scopus, bien que justifié par son étendue, constitue un biais potentiel de couverture. En effet, certaines productions scientifiques pertinentes, notamment issues de revues locales ou rédigées en langues non anglaises, peuvent ne pas avoir été incluses. Par ailleurs, l'approche adoptée repose principalement sur des indicateurs quantitatifs (co-occurrences, co-citations, fréquence des mots-clés), qui permettent de cartographier les structures thématiques et les réseaux de collaboration. Toutefois, ces indicateurs ne rendent pas compte de la qualité argumentative, de la profondeur méthodologique, ni de la portée théorique des publications analysées. Une publication très citée peut l'être pour sa valeur de synthèse, pour son apport empirique ou pour sa position controversée, sans que cela soit distingué par l'analyse bibliométrique. De plus, les articles récents, n'ont pas encore accumulé de citations suffisantes pour apparaître dans les réseaux de co-citation. Inversement, certaines publications plus anciennes peuvent continuer à être citées malgré une pertinence scientifique affaiblie.

• *Avenues de la recherche*

Les résultats de la présente étude démontrent plusieurs orientations de recherche à fort potentiel. Tout d'abord, une exploration approfondie de l'adoption au sein des PME textiles s'impose. Ces structures, souvent moins capitalisées que les grandes entreprises, doivent composer avec des contraintes spécifiques – ressources humaines limitées, infrastructures hétérogènes, ou cultures organisationnelles parfois éloignées de la digitalisation. L'enjeu consiste alors à mieux saisir comment ces acteurs s'approprient les technologies avancées dans des environnements instables, et selon quelles modalités d'apprentissage et de diffusion.

Aussi, les développements récents autour de l'Industrie 5.0 appellent à une mise en cause des cadres analytiques. L'accent mis sur la personnalisation, la résilience et la centralité humaine dans les processus productifs interroge la manière dont les technologies dites « intelligentes » peuvent être intégrées de façon éthique et durable. À cet égard, les mécanismes de traitement automatisé des données – désormais omniprésents dans les solutions de gestion, de maintenance ou de conception assistée – constituent un objet d'étude stratégique. Leur rôle, souvent implicite dans les processus de transformation, mérite d'être explicité et problématisé dans les recherches futures, tant sur le plan de la modélisation que de l'acceptabilité sociale.

Par ailleurs, les interactions entre les différents freins identifiés – technologiques, économiques, organisationnels et politiques, montrent la pertinence d'approches analytiques capables de saisir les logiques systémiques et les effets de seuil. Les méthodologies fondées sur les réseaux de dépendance, l'analyse multicritère ou la modélisation causale (type DEMATEL ou FCM) présentent en l'occurrence des perspectives prometteuses afin de hiérarchiser les priorités d'action selon les contextes.

Une autre avenue si importante réside dans l'étude des formes émergentes d'intelligence organisationnelle. La combinaison entre automatisation adaptative, systèmes de recommandation, et interfaces décisionnelles constitue une transformation implicite, mais déterminante dans le pilotage industriel. Documenter ces mutations permettrait de mieux comprendre comment les dispositifs numériques transforment en profondeur les structures cognitives et les mécanismes d'innovation au sein du secteur textile.

5. Conclusion

Les résultats de cette analyse bibliométrique mettent en lumière la nature multidimensionnelle et fortement interconnectée des barrières à l'adoption de l'Industrie 4.0 dans le secteur textile. Si certains obstacles structurels tels que les coûts d'implémentation, l'interopérabilité limitée ou le déficit de compétences s'avèrent récurrents à l'échelle internationale, d'autres freins plus contextuels, liés aux politiques publiques, à la résistance organisationnelle ou à l'alignement technologique, soulignent la complexité des dynamiques de transformation dans les industries traditionnelles.

L'intelligence artificielle, bien que rarement traitée comme objet d'analyse principal, émerge transversalement dans la littérature comme un levier de modernisation des processus : détection des défauts, maintenance prédictive, gestion adaptative de la chaîne d'approvisionnement. Toutefois, son intégration soulève également de nouveaux défis, notamment en matière d'explicabilité des systèmes, de gouvernance des données et d'accès équitable à l'expertise technique.

Ce travail contribue à structurer le champ de recherche en proposant un mapping des obstacles existants, tout en appelant à des approches plus systémiques, transdisciplinaires et contextualisées. Les recherches futures devraient s'attacher à explorer les conditions organisationnelles, sociales et technologiques permettant une intégration durable et inclusive de l'IA au sein des écosystèmes textiles intelligents.

Références

- (1). Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). *Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- (2). Bertola, P., & Teunissen, J. (2018). *Fashion 4.0: Innovating fashion industry through digital transformation*. *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(4), 352–369. <https://doi.org/10.1108/RJTA-03-2018-0023>
- (3). Dal Forno, A. J. (2023). *Emerging technologies in the fashion industry: Maturity model and diagnosis tools*. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 27(3), 412–433. <https://doi.org/10.1108/JFMM-12-2022-0307>
- (4). 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>
- (5). Dual, M. (2022). *Advances in flexible e-textiles: Manufacturing and biomedical applications*. *ACS Nano*, 16(7), 10245–10258. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c02815>
- (6). Gravagnuolo, A., Angiello, G., & Bosone, M. (2019). *Urban creative ecosystems for sustainability: The role of innovation in cultural heritage regeneration*. *Sustainability*, 11(1), 295. <https://doi.org/10.3390/su11010295>

- (7). He, X., Wong, T. J., & Young, D. (2012). *Challenges for implementation of fair value accounting in emerging markets: Evidence from China*. *Contemporary Accounting Research*, 29(2), 538–562.
- (8). Hong, P. K., & Hwang, S. (2018). *Fair value disclosure of pension plan assets and audit fees*. *Advances in Accounting*, 41, 88–96.
- (9). Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). *Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt Industry 4.0 in Indian manufacturing industry*. *Computers in Industry*, 101, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- (10). Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). *Past, present and future of Industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal*. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- (11). Lu, Y. (2017). *Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues*. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- (12). Majumdar, A. (2021). *Technological trends and sustainability in textile and apparel supply chain*. *Computers in Industry*, 129, 103447. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103447>
- (13). Majumdar, A., Garg, H., & Jain, R. (2021). *Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework*. *Computers in Industry*, 125, 103372. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103372>
- (14). Midgley, G. (2000). *Systemic Intervention: Philosophy, Methodology, and Practice*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- (15). Nouinou, H., Benabdelhafid, A., & Bouras, A. (2023). *Digital transformation in textile and clothing industry: A systematic literature review*. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136678>
- (16). Pal, K. (2020). *Blockchain technology in the apparel manufacturing industry: Supply chain innovation and transparency*. *Procedia Computer Science*, 170, 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.108>
- (17). Pal, K., & Yasar, A. U. H. (2020). *Internet of Things and Blockchain Technology in Apparel Manufacturing Supply Chain Data Management*. *Procedia Computer Science*, 170, 450–457. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.088>
- (18). Pant, K. (2025). *Barriers to implementing Industry 4.0 in the textile industry: A sensitivity analysis approach*. *Benchmarking: An International Journal*, (in press). <https://doi.org/10.1108/BIJ-2024-0113>
- (19). Phillips, D. C., & Burbules, N. C. (2000). *Postpositivism and Educational Research*. Rowman & Littlefield.
- (20). Popper, K. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.
- (21). Pritchard, A. (1969). *Statistical bibliography or bibliometrics?* *Journal of Documentation*, 25(4), 348–349. <https://doi.org/10.1108/eb026814>
- (22). Rouf, S. (2022). *3D printing and additive manufacturing in the medical textile sector: Emerging technologies and properties*. *Sustainable Operations and Computers*, 3(4), 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- (23). Rouf, S., & Sarker, M. R. (2022). *Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications*. *Sustainable Operations and Computers*, 3(4), 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- (24). Ryan, A. B. (2006). *Post-positivist approaches to research*. In R. O'Reilly (Ed.), *Researching and Writing your Thesis: A Guide for Postgraduate Students* (pp. 12–26). MACE.

- (25). Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson Education.
- (26). Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- (27). Stulga, P. (2022). *Sustainability and Industry 4.0 in textile manufacturing: Intersections and challenges*. *Procedia Engineering and Social Sciences*, 19(2), 223–230.
- (28). Szalavetz, A. (2019). *Convergence in global value chains and the resilience of East Central European economies: The case of textile and clothing*. *Post-Communist Economies*, 31(3), 315–337. <https://doi.org/10.1080/14631377.2018.1525470>
- (29). 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>
- (30). Wallin, J. A. (2005). *Bibliometrics and citation analysis*. *Acta Dermato-Venereologica*, 85(6), 409–417.
- (31). Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). *Industry 4.0: State of the art and future trends*. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- (32). Zupic, I., & Čater, T. (2015). *Bibliometric methods in management and organization*. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>