

Étude des applications des technologies de l'industrie alimentaire 4.0 pour la traçabilité et la durabilité des chaînes logistiques agroalimentaire : cas de la filière halio-industrielle

Study of the applications of food industry 4.0 technologies for traceability and sustainability of agri-food supply chains: case of the fisheries-industrial sector.

Auteur 1 : BENNOURI Jalila,
Auteur 2 : ZEROUALI Ouafae,
Auteur 3 : MENGUIT Khadija,
Auteur 4 : EL BICHRI Fadila,

BENNOURI Jalila (Docteur, chercheur)
Université Ibn Zohr, ENCG Agadir, Maroc

ZEROUALI, Ouafae, (Professeur des études supérieurs, PES)
Université Ibn Zohr, ENCG Agadir, Maroc,

MENGUIT Khadija (Enseignant-chercheur)
UCA, EST Essaouira, Maroc

EL BICHRI Fadila (Enseignant-chercheur),
Université Ibn Zohr, ENSIASD Taroudant, Maroc

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : BENNOURI .J, ZEROUALI .O, MENGUIT .Kh & EL BICHRI .F (2026) « Étude des applications des technologies de l'industrie alimentaire 4.0 pour la traçabilité et la durabilité des chaînes logistiques agroalimentaire : cas de la filière halio-industrielle », African Scientific Journal « Volume 03, Num 37 » pp: 001 – 026.



DOI : 10.5281/zenodo.22676210
Copyright © 2026 – ASJ



Résumé

Cet article propose une mutualisation des technologies émergentes de l'industrie 4.0 comme la technologie de blockchain, Internet des objets et d'intelligence artificielle afin d'aboutir à une chaîne logistique durable, performante et transparente. Toutefois la plupart des recherches restreint leur analyse sur l'apport spécifique de l'une de ces technologies au lieu d'avoir une vision intégrée de l'usage combiné de ces technologies ce qui entrave la transition digitale de la chaîne logistique.

Pour combler cette lacune, on a commencé par une analyse de la revue de la littérature systématique qui identifie les technologies émergentes les plus citées et examine leur contribution durable dans la chaîne logistique de l'industrie alimentaire. Par ailleurs, nous avons mené une étude exploratoire dans le domaine halio-industriel pour identifier l'usage de ces technologies au Maroc et au niveau international, en offrant un aperçu détaillé des fonctionnalités et avantages de leur adoption pour assurer une meilleure transparence et durabilité de la chaîne logistique.

Les résultats de ces deux études mettent en évidence le potentiel des technologies émergentes de l'industrie 4.0 pour répondre aux préoccupations durables de la chaîne logistique et soulèvent le défi de la mutualisation de ces technologies pour réussir la transition digitale et durable.

Mots clés : industrie alimentaire 4.0, blockchain, internet des objets, intelligence artificielle, chaîne logistique halio-industrielle, transition digitale durable

Abstract

This article proposes a pooling of emerging Industry 4.0 technologies, such as blockchain, the Internet of Things, and artificial intelligence, to achieve a sustainable, efficient, and transparent supply chain. However, most research focuses its analysis on the specific contribution of one of these technologies instead of taking an integrated view of their combined use, thus hindering the digital transformation of the supply chain.

To address this gap, we began with a systematic literature review that identifies the most frequently cited emerging technologies and examines their sustainable contribution to the food industry supply chain. Furthermore, we conducted an exploratory study in the seafood industry to identify the use of these technologies in Morocco and internationally, providing a detailed overview of the functionalities and advantages of their adoption to ensure greater transparency and sustainability of the supply chain.

The results of these two studies highlight the potential of emerging Industry 4.0 technologies to address the sustainability concerns of the supply chain and raise the challenge of pooling these technologies to successfully achieve the digital and sustainable transition.

Keywords : Food industry 4.0, blockchain, internet of things, artificial intelligence, halio-industrial supply chain, sustainable digital transition

Introduction

À l'ère actuelle, tous les secteurs sont en transition vers la vision de l'industrie alimentaire 4.0, reposant sur des systèmes intégrés intelligents, interconnectés et durables (Akram et al, 2025)

Les technologies révolutionnaires de l'industrie 4.0 offrent des solutions innovantes en termes de prévision, planification, gestion optimale et communication dans la chaîne logistique alimentaire. En effet, ces technologies offrent des capacités transformatrices des processus industrielles et améliore la prise de décision tout au long de la chaîne logistique accélérant ainsi la transition vers des pratiques plus responsables.

Dans le contexte marocain, le secteur halio-industriel dispose d'un potentiel promoteur en termes du déploiement de ces technologies émergentes, mais requiert un engagement des professionnels et des parties prenantes opérants dans la chaîne logistique pour réussir la transformation digitale durable.

Cet article vise à présenter un panorama des innovations technologiques récentes en matière de l'industrie alimentaire 4.0 notamment en matière des internet des objets (IoT), blockchain, et l'intelligence artificielle et leurs contributions significatives pour améliorer l'efficacité, la durabilité et l'agilité des chaînes logistiques de l'industrie alimentaire. Toutefois, malgré ces avancés, plusieurs défis persistent. D'une part la plupart des recherches scientifiques se sont focalisées sur l'étude de l'une de ces technologies émergentes, tandis que la réussite de la transition digitale est conditionnée par la mutualisation de plusieurs technologies émergentes interconnectées ensemble pour atteindre les résultats escomptés. D'autre part, les recherches halio-industrielles étudiées dans le contexte marocain sont très limitées malgré l'engagement ministériel pour promouvoir la digitalisation dans ce secteur.

Ces lacunes mettent en évidence la nécessité d'explorer l'état des lieux et les perspectives d'application de ces technologies en vue de dégager les pistes de la performance durable du secteur. Ainsi, le principal atout de cette recherche et de contribuer à la réalisation des ODD des Nations unies à travers la mutualisation des technologies émergentes de l'industrie 4.0 afin d'apporter des éclairages pertinents aux professionnels du secteur et aux chercheurs dans leur adoption de ces technologies.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, qui vise à analyser la contribution durable du déploiement des technologies émergentes de l'industrie 4.0 dans la chaîne logistique agro-

alimentaire. L'objectif est double : d'une part proposer aux chercheurs un état de l'art qui synthétise les recherches scientifiques réalisées entre 2015 et 2025. Et d'autre part offrir aux professionnels du secteur une feuille de route susceptible d'accélérer leur double transition digitale et durable.

Pour répondre à cet objectif, nous présentons, dans la première section le cadre théorique de notre travail. Nous exposons dans la deuxième section, la méthodologie de recherche mobilisée pour cette étude, en mettons en lumière les résultats de la revue systématique de la littérature (RSL) portant sur le déploiement des technologies émergentes de l'industrie 4.0 dans le secteur agro-alimentaire. La troisième section propose une analyse des études de cas concrets de l'application des technologies de l'industrie 4.0 pour la durabilité de la chaîne logistique agro-industriel au Maroc et à l'international. Dans la quatrième section, nous proposons des études de mutualisation de ces technologies émergentes pour accélérer la double transition de l'industrie agro-alimentaire.

1. Définition et champ Conceptuel de l'émergence vers les technologies de l'industrie alimentaire 4.0

1.1. L'industrie alimentaire 4.0

L'Industrie alimentaire 4.0 conduit à une transformation profonde des entreprises opérantes dans le secteur de l'industrie alimentaire. Elle correspond à la transformation des produits alimentaires en intégrant des technologies émergentes de l'industrie 4.0, dans l'ultime objectif est de valoriser ces produits en limitant les pertes et le gaspillage, d'optimiser les coûts et les délais y afférentes.

En effet, ces technologies émergentes favorisent d'une part une automatisation assistée des lignes de production ce qui permet d'accroître le rendement et la compétitivité de l'usine. D'autre part elle permet une interconnexion entre les acteurs et systèmes d'information au sein de la chaîne logistique alimentaire ce qui induit à un échange en temps réel des informations et une réactivité accrue.

À cet égard, l'adoption de l'industrie alimentaire 4.0 renforce la sécurité et la traçabilité des produits alimentaires tout au long de la chaîne logistique de la mer à l'assiette du consommateur ou de la ferme à sa fourchette. Cependant au Maroc, le déploiement de ces nouvelles technologies

est confronté à plusieurs défis notamment en matière des coûts, d'accompagnement, de résistance aux changements et de l'expertise.

L'Industrie halieutique 4.0 comprend plusieurs technologies digitales comme les capteurs intelligents, l'intelligence artificielle (IA), l'Internet des objets (IoT), la robotique et la technologie de blockchain susceptibles d'accélérer la digitalisation et l'automatisation du secteur de l'industrie alimentaire.

1.2. L'Internet des objets (IoT)

L'Internet des objets (IoT) revêt d'une importance cruciale dans la révolution industrielle 4.0 grâce à l'interopérabilité des capteurs, machines et systèmes permettant ainsi de collecter, transmettre et échanger des données en temps réel. IOT assure un contrôle des paramètres et indicateurs critiques qui nécessite un suivi particulier (température, humidité, localisation), renforçant ainsi la transparence, la sécurité et la durabilité de la chaîne logistique d'industrie alimentaire. L'IoT permet aussi de détecter les contaminations bactériennes et identifier les lots non conformes afin de prendre les décisions pour la destruction de ces lots contaminés limiter les risques et réduire les pertes et gaspillage des ressources.

1.3. Technologie de blockchain

À l'ère de l'industrie 4.0, la technologie blockchain s'est progressivement imposée en tant qu'innovation digitale qui a bouleversé plusieurs secteurs notamment celui de la logistique et l'industrie alimentaire.

Dans le domaine de la logistique, plusieurs entreprises ont profité d'avancées de cette technologie comme le groupe Alibaba qui a lancé une application AntChain en se basant sur l'avantage de stockage décentralisé et distribué de cette technologie. (Dong et al , 2023).

À cet égard, la technologie peut contribuer à la réduction des risques de contamination et de fraudes qui peuvent survenir dans une chaîne logistique alimentaire. Elle peut aussi améliorer la performance et l'efficacité de cette chaîne alimentaire en renforçant sa transparence et sa traçabilité tout en délimitant le nombre des intermédiaires qui opèrent dans ces filières ce qui va se répercuter positivement sur le prix de vente et d'accroître la compétitivité des entreprises au niveau international (Tripoli, Schmidhuber, 2020).

Blockchain peut contribuer au contrôle de conformité sanitaire et la détection des comportements frauduleux. En effet, à travers sa plateforme de traçabilité des produits agroalimentaire ou halio-

industrielle, cette technologie permet d'identifier la provenance des produits alimentaires et de garantissant ainsi leur authenticité

1.4. Intelligence artificielle dans l'industrie alimentaire

L'application de la technologie de l'IA dans le domaine aquacole a permis de résoudre plusieurs problèmes rencontrés dans l'élevage du poisson notamment en matière de la prévision et surveillance des facteurs nécessaires pour la survie et la prolifération du poisson (température, PH, la densité d'élevage, processus de nutrition) (yu et al ,2023)

l'IA a apporté des solutions évolutives grâce à sa capacité d'extraction et d'analyse des mégadonnées (Fini et al, 2025). Par ailleurs, elle a contribué de manière significative à accroître la productivité du poisson d'élevage et assurer leur bonne croissance et salubrité tout en optimisant la gestion de ressources énergétiques et réduisant les facteurs de risque des épidémies.

Dans le domaine agricole, L'IA offre des applications très pratiques telles que la gestion optimale de l'eau en termes d'irrigation, la prédiction précise de l'état de sol, des plantes et des arbres et la supervision automatisée de temps de récolte (Gupta et Kumar ,2025).

L'application de cette technologie de pointe peut contribuer à minimiser l'empreinte carbone et à respecter les objectifs de développement durable notamment ODD 2(Zéro Faim), ODD 6(Eau propre et assainissement), ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure) ODD12 Consommation et production responsable.

En termes de transformation des aliments, l'application de l'intelligence artificielle a contribué à l'automatisation intelligente des lignes de production permettant ainsi une optimisation efficace des ressources avec une bonne maîtrise des coûts de production et une réactivité accrue en terme livraison (Song et al, 2025).

1. Méthodologie de recherche

La présente étude adopte un positionnement positiviste en mobilisant un raisonnement hypothético-déductif, afin de confronter les résultats de l'analyse de la revue de littérature systématique au terrain empirique de la filière halio-industrielle.

2.1. Protocole de la revue de littérature systématique

Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons commencé par la réalisation de la revue systématique de littérature (RLS). À ce niveau nous avons opté pour l'approche PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Cette méthode

comprend 4 étapes : identification, sélection, éligibilité et inclusion. En nous référant à la méthode PRISMA, nous avons formulé les questions de recherche pour sélectionner les articles scientifiques les plus pertinents de la base de données choisie tout en veillant à extraire ceux qui ne répondent pas aux critères de sélection prédéfinis (Bijou, 2024 ; MIRKOU et al, 2026).

2.1.1 Élaboration des questions de recherche

Pour combler les lacunes déduites de l'analyse de la revue de littérature existante sur le déploiement des technologies de l'industrie 4.0 dans la chaîne logistique alimentaire, nous avons essayé de formuler les questions de recherche suivantes :

- Q1 : quelles sont les principales technologies de l'industrie 4.0 déployées dans les chaînes logistiques alimentaires ?
- Q2 : quel impact de l'usage des technologies de l'IoT et blockchain sur la durabilité de la chaîne logistique alimentaire ?
- Q3 : quels sont les cas d'utilisation de l'Iot, la blockchain et l'IA dans la filière halio-industrielle ?
- Q4 : comment la mutualisation de ces technologies émergentes de l'industrie 4.0 peuvent générer des résultats probants dans le domaine halio-industriel ?
- Q5 : quelles sont les perspectives de ces technologies émergentes pour l'amélioration de la performance de la chaîne logistique halio-industrielle.

2.1.2 Sélection des mots clés

La recherche s'est concentrée sur les articles issus de la base de données Science direct. La syntaxe de recherche utilisée comprenait les termes suivants : « (industrie 4.0 ou Internet des objets ou IoT ou IA ou intelligence artificielle) (chaîne logistique de l'industrie alimentaire) et développement durable ». Vu que notre problématique est assez récente, notre analyse s'est limitée à la période 2015–2025, et ce afin d'avoir une vision plus représentative de notre champ d'études.

L'application de cette requête dans la base de données Science direct a permis de sélectionner 1665 documents scientifiques (2015-2025) qui ont évoqué la problématique de l'usage des technologies de l'industrie 4.0 et ses relations avec la durabilité de la chaîne logistique. Bien évidemment, ces documents représentent le socle de référence de départ qui va subir un filtrage et un nettoyage avant d'entamer l'analyse bibliométrique.

2.1.3 Critères d'inclusion et d'exclusion

Après la collecte des publications, plusieurs tris ont été opérationnalisés dans une perspective d'assurer la pertinence et la qualité scientifique des articles sélectionnés pour la réalisation de l'analyse systématique. L'objectif de ces critères d'inclusion et d'exclusion est de valider l'éligibilité des publications et leur cohérence avec notre champ d'études.

Dans un premier temps, nous avons retenu les articles scientifiques de recherche publiés dans des revues à comité de lecture. En revanche nous avons écarté les autres types de travaux de recherches (chapitres d'ouvrage, articles d'analyse et communications de conférences).

Dans un second temps, on a sélectionné les articles qui remplissaient simultanément les conditions suivantes : l'usage d'au moins d'une des technologies de l'industrie 4.0 et la filière food industry. Toutefois nous avons exclu les travaux hors domaine ainsi que les répétitions.

En définitive, nous avons retenu 825 articles qui vont constituer la base de données de notre revue systématique.

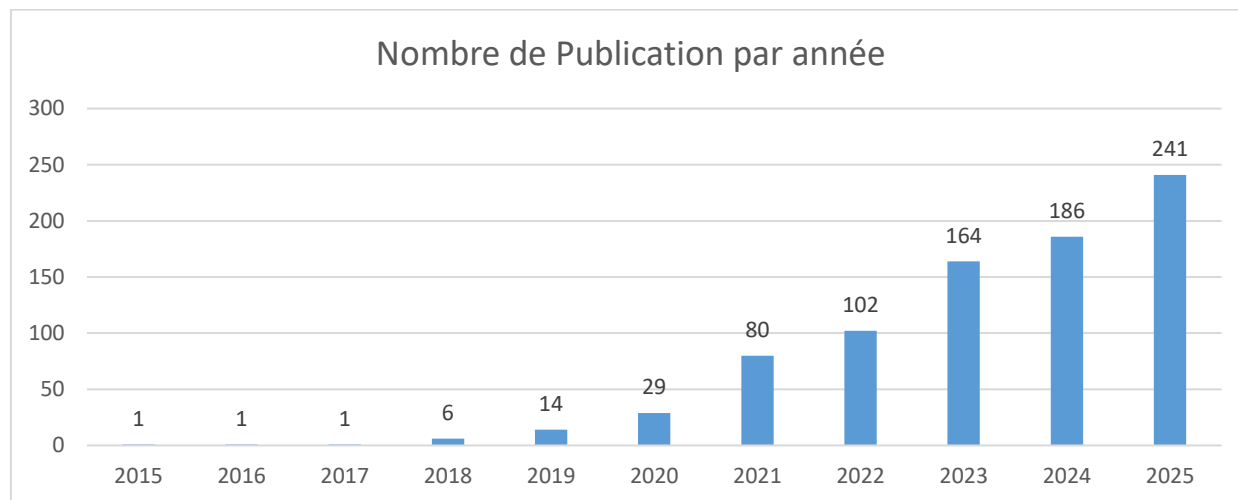
2.2. Outils d'analyse :

Pour analyser la base de données des articles sélectionnés, nous avons déployé le logiciel VOSviewer, capable de générer des représentations graphiques des relations entre mots-clés (Ajdahim,2026), afin de mieux dégager les axes de recherches, promoteurs dans le domaine de l'IoT, et sa contribution durable dans la chaîne logistique halio-industrielle.

2.3. Analyse et discussion des résultats

2.3.1 Distribution annuelle des publications scientifiques :

L'adoption des technologies de l'industrie 4.0 dans la chaîne logistique alimentaire est assez récente comme le démontre la figure 1 qui illustre que la communauté scientifique n'a évoqué et traité cette problématique dans les articles scientifiques qu'à partir de 2018 .

Figure 1. Publication scientifique annuelle (2015– 2025)

Source : Réalisé par les auteurs à partir de la base de données Science direct

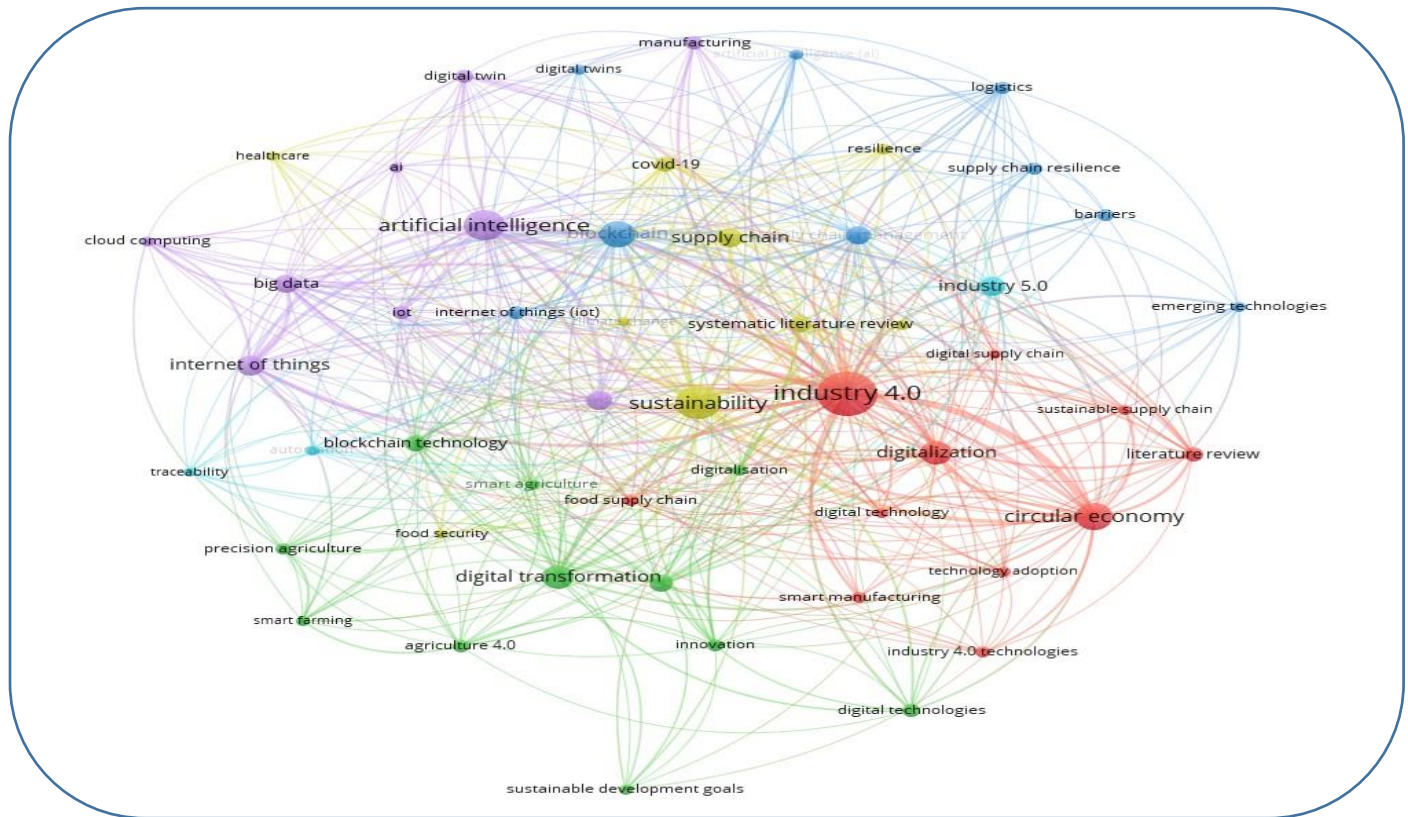
L'analyse de la distribution annuelle des publications scientifiques (Figure1) révèle une croissance modérée entre 2018 et 2020. À partir de 2021, cette année marquée par COVID, la production scientifique connaît une croissance accélérée et atteint un niveau sans précédent en 2025.

Cette trajectoire ascendante des publications scientifiques témoigne d'un côté l'intérêt des chercheurs pour aborder cette thématique des applications des technologies digitales de l'industrie 4.0 à la supply chain alimentaire. D'un autre côté, elle approuve la pertinence du sujet abordé et l'intérêt de continuer à poursuivre les travaux dans ce domaine, qui est en pleine expansion.

2.3.2 Analyse de la co-occurrence

Pour identifier les principaux facteurs déterminants générés de la littérature et d'analyser leurs relations, nous avons mobilisé le logiciel d'analyse bibliométrique VOSviewer (Bijou, 2024). L'avantage de ce logiciel qu'il permet à travers l'analyse des mots clés des auteurs de visualiser les réseaux, de mettre en exergue la co-occurrence et les relations entre les variables, notamment de regrouper les mots -clés qui sont fortement associés, en cluster ainsi de les représenter dans une carte afin de faciliter la visualisation et l'interprétation des réseaux scientifiques (Mechaala et Hemissi, 2025).

Figure 2. Réseau de co-occurrence des mots clés sur contribution des technologies émergentes de l'industrie 4.0 et la durabilité de la chaîne logistique alimentaire.



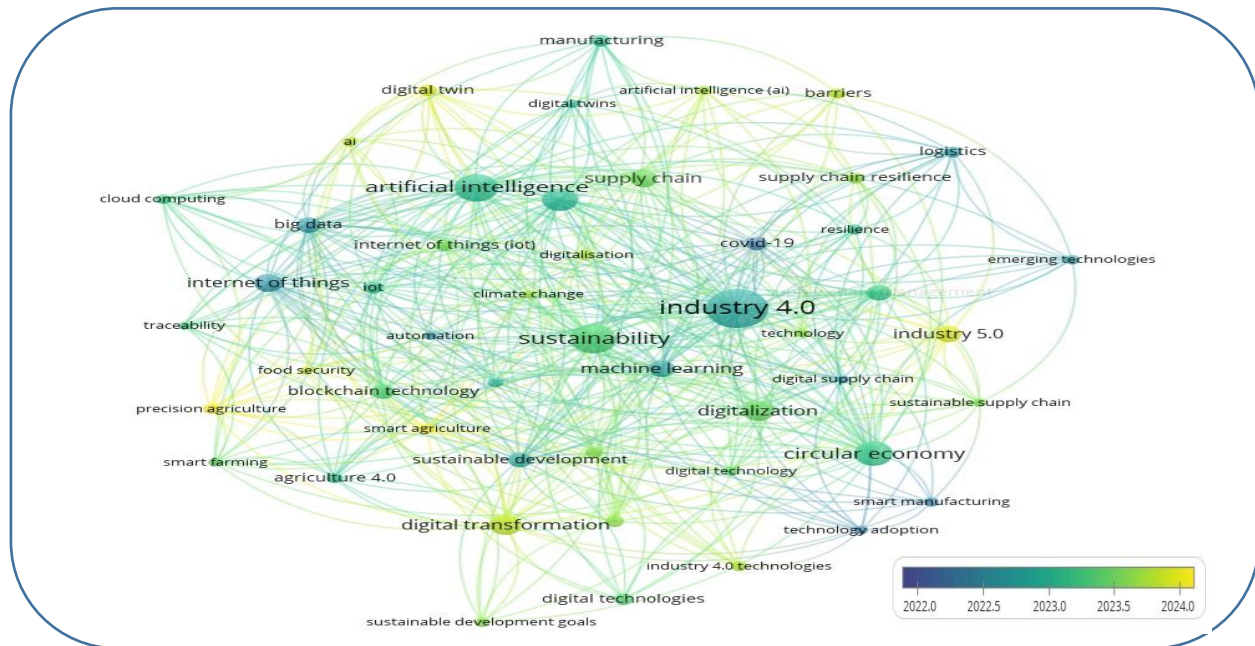
Source: analyse réalisée par VOSviewer à partir de la base de données Science Direct.

La carte de co-occurrence générée par VOSviewer fait ressortir cinq clusters qui abordent des thématiques en liaison avec notre champ d'étude industrie 4.0 dans la chaîne logistique alimentaire (voir Figure 2).

- Cluster digital supply chain :
- Cluster Transformation digitale de l'industrie alimentaire :
- Cluster intelligence artificielle
- Cluster supply chain et durabilité
- Cluster technologies intelligentes appliquées à l'industrie alimentaire
- Cluster perspectif de l'Industrie 5.0

Cartographie des mots-clés au fils du temps

Figure 3 : Cartographie des tendances temporelles des mots-clés (entre 2022-2024)



Source : analyse réalisée par VOSviewer à partir de la base de données Science direct.

Depuis 2022, les publications scientifiques dans le domaine de l'industrie 4.0 se sont concentrées sur les nouvelles technologies digitales : Internet of things, machine learning, big data afin de mettre en exergue leur utilité et leur fonctionnalité pour approfondir davantage les études qui vont contribuer à l'amélioration de ces technologies innovantes. À compter de 2023, une nouvelle technologie émergente s'est imposée avec force dans les publications, il s'agit de l'intelligence artificielle qui a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs dans ce domaine. Vers la fin de 2023, une tendance mondiale caractérisée par un intérêt croissant à la problématique d'application de ces technologies émergentes pour répondre aux enjeux de développement durable : digital twins. À partir de 2024 plusieurs chercheurs se sont intéressés sur les études sectorielles des applications de ces technologies émergentes de l'industrie 4.0, d'autres se sont focalisés sur leurs contributions durables pour émerger vers l'industrie 5.0 (figure 3).

À partir de l'analyse bibliométrique, on déduit l'utilisation croissante des mots-clés reliés à l'industrie 4.0 (190 occurrences et 276 TLS) et les technologies émergentes y afférentes ainsi que la durabilité (106 occurrences, et 175 TLS) dans la chaîne logistique, ce qui reflète la forte tendance mondiale et la prise de conscience croissante de la communauté scientifique vers la nécessité d'une transformation digitale durable (tableau 1)

Tableau 1: Fréquence et analyse des relations des mots clés

label	Occurrences	Links	TLS (Total Link Strength)
industry 4.0	203	57	289
sustainability	106	44	175
artificial intelligence	113	65	176
circular economy	75	35	131
blockchain	94	60	146
digital transformation	53	27	66
digitalization	53	33	79
internet of things	79	71	159
supply chain	38	29	61
industry 5.0	36	19	45

Source : VOSviewer

2.3.3 Discussion

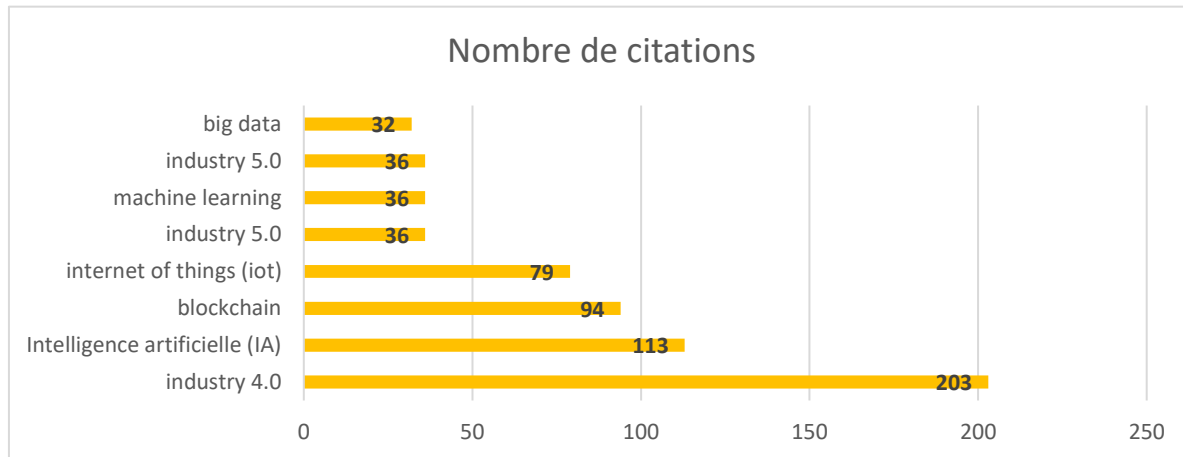
Cette recherche met en lumière les thèmes fréquemment abordés dans cette revue de littérature en pleine expansion. Des termes tels que « industrie 4.0 », « développement durable » « transformation digitale » et « chaîne logistique » apparaissent fréquemment et de manière récurrente au sein du corpus étudié, témoignant l'importance accordée par les chercheurs dans ce domaine.

À cet égard on constate que les technologies émergentes de l'industrie 4.0 sont abordées à des fréquences différentes. On trouve en première position l'Intelligence artificielle avec 113 citations, la technologie de blockchain avec 94 citations et en troisième position l'internet des objets. D'autres technologies émergentes sont aussi abordées, mais d'une fréquence très faible il s'agit de la technologie de Big data et machine learning.

Le grand usage de l'IA pour la durabilité de la chaîne logistique illustre l'importance de cette technologie et ses perspectives pour résoudre plusieurs défis en termes de résilience et d'efficacité de la chaîne logistique notamment face aux exigences de durabilité et de réduction

de l'empreinte carbone. Cette perspective ambitieuse de cette technologie permet d'accroître la transformation digitale et durable des entreprises.

Figure 4 : Statistique des citations des technologies émergentes



Source : VOSviewer

Les résultats obtenus à travers l'analyse bibliométrique met en exergue que les technologies émergentes de l'industrie 4.0 appliquées dans le domaine de la chaîne logistique alimentaire malgré qu'elles sont en pleine émergence, mais restent sous explorées et faiblement développées. La littérature actuelle se concentre sur l'étude de l'intégration durable de l'une des technologies émergentes de l'industrie 4.0 dans le secteur de l'industrie alimentaire. Certes plusieurs recherches ont abordé le potentiel de ces technologies et leurs contributions aux objectifs de développement durable (ODD), cependant ils restreignent leur analyse sur l'apport spécifique de l'une de ces technologies au lieu d'avoir une vision intégrée de l'usage combiné de ces technologies (Yadav et al, 2022 ; Hassoun et al, 2022).

Cette approche limitée des études antérieures ne contribue pas à la transformation digitale complète de la chaîne logistique. En effet, pour réussir la transition digitale durable, il faut mobiliser conjointement les technologies émergentes pour atteindre l'objectif de durabilité. La mutualisation de ces technologies émergentes de l'industrie 4.0 va permettre d'améliorer la performance durable et assurer une meilleure traçabilité des produits alimentaires tout au long de la chaîne logistique.

Notre approche holistique s'inscrit dans le prolongement des travaux de recherche antérieurs tout en essayons de les approfondir, en proposant une analyse de la mutualisation des technologies

de l'industrie 4.0 dans la chaîne logistique alimentaire pour réussir la transition digitale durable du secteur.

Malgré cette disparité, on constate que l'article élaboré par (Rana et al, 2021) sur la technologie de blockchain pour une chaîne logistique agroalimentaire durable était l'article le plus cité dans notre échantillon : il a atteint 213 citations, montrant que , même dans une approche fragmentée, certains travaux peuvent aboutir à une visibilité scientifique très significative.

Notre travail va plus loin que les travaux de Abyaneh et al (2025), Hwa et Te Chuan (2024), ainsi que Yadav et al (2024) et (Zheng et al 2025) qui se sont principalement concentré sur le rôle de l'IA dans l'amélioration des fonctions de la chaîne logistique, notamment l'analyse prédictive, la production durable et l'optimisation logistique. Nous avons montré que la mutualisation de l'IA avec plusieurs d'autres technologies émergentes comme Iot, Big Data, robotique et blockchain peuvent contribuer à la transformation digitale et durable de la chaîne logistique agroalimentaire et halio-industrielle.

2. Analyse des cas concrets d'application de la technologie de l'industrie 4.0 pour la durabilité de la chaîne logistique halio-industriel au Maroc et à l'international

3.1 Application de la technologie de l'Iot dans la chaîne logistique halio-industriel

3.1.1 Application de l'IoT au niveau de la logistique Amont :

La chaîne logistique halio- industrielle est confrontée à de nombreux défis, notamment la surexploitation des ressources halieutiques, l'interruption de la chaîne de froid, les risques liés à la sécurité alimentaire et les pratiques frauduleuses (pêche INN, falsification des étiquetages). L'ensemble de ces défis agit sur sa réactivité et son agilité à satisfaire les exigences des parties prenantes en termes de sécurité alimentaire, de transparence et de durabilité (Latino et al, 2025). Cependant afin d'accélérer la transition durable, il s'avère indispensable de recourir aux nouvelles technologies émergentes telles que l'IoT et les capteurs intelligents qui caractérisent cette nouvelle ère de la quatrième révolution industrielle.

Parmi les fonctionnalités de l'IOT dans le milieu marin on peut citer :

➤ La surveillance des conditions aquatiques :

La technologie de capteur et IoT permettent de collecter et de mesurer des variables relatives à l'environnement aquatique et qui influencent sur la prolifération du poisson et leur survie (température de l'eau, pH, courant des marées, oxygène dissous, salinité) (Lerfall et al, 2026;

Hassoun et Rajeb, 2026; Marin et al, 2025). En général, ces données sont collectées par des organismes publics comme l'institut national de recherche halieutique (INRH) au Maroc.

➤ **La détection et l'identification du produit halieutique en mer :**

Les capteurs et IoT peuvent aussi aider les patrons de pêche à localiser les bancs de poissons et connaître leur densité. Grâce aux technologies de sonar (échosondeur) et les capteurs optiques installés dans le navire de pêche au niveau sous-marin. On peut associer les capteurs aux engins de pêche comme les filets de pêche ce qui permet de connaître l'état du poisson et le type d'espèce capturé afin d'éviter les rejets en mer du poisson non désiré et de valoriser le produit halieutique (Purwanto et al, 2024).

➤ **Position et navigation**

Aujourd'hui grâce à la technologie de VMS le département du ministère de pêche a réussi à contrôler et suivre la traçabilité des tous les navires marocains, et d'intervenir en cas de naufrage ou de pénétration dans une zone interdite (Purwanto et al, 2024).

3.1.2 Application de l'IoT au niveau de la logistique interne :

L'Industrie halieutique 4.0 correspond à la transformation durable des produits halieutiques grâce aux technologies de l'industrie 4.0. Son ultime objectif est de valoriser ces produits en limitant les pertes et le gaspillage, d'optimiser les coûts et les délais y afférents tout en assurant la sécurité et la traçabilité tout au long de la chaîne logistique de la mer à l'assiette du consommateur (Hassoun et al, 2023a; Hassoun et al, 2023b).

L'Internet des objets (IoT) revêt d'une importance cruciale dans la révolution industrielle 4.0 grâce à l'interopérabilité des capteurs, machines et systèmes permettant ainsi de collecter, transmettre et échanger des données en temps réel. IOT assure un contrôle des paramètres et indicateurs critiques qui nécessite un suivi particulier (température, humidité, localisation), renforçant ainsi la transparence, la sécurité et la durabilité de la chaîne halio-industrielle. L'IoT permet aussi de détecter les contaminations bactériennes et identifier les lots non conformes afin de prendre les décisions pour la destruction de ces lots contaminés afin de limiter les risques et réduire les pertes et gaspillages des ressources (Hassoun et al, 2023b).

3.1.3 Application de l'IoT au niveau de la logistique Aval :

L'Internet des objets (IoT) est une technologie révolutionnaire qui a amélioré la visibilité sur les paramètres logistiques en termes de condition de stockage, localisation, l'origine, et les délais de livraison des produits halieutiques (Parra-López et al, 2026).

La filière halieutique, vue la spécificité périssable de ses produits demeure soumise d'une part à des exigences strictes en matière de qualité et de sécurité alimentaire ainsi qu'aux délais de commandes et de livraison, et d'autre part à l'efficacité de la distribution des produits halio-industriels à l'échelle internationale (Mangala et al, 2024).

La technologie d'identification par radiofréquence (RFID) figure parmi les applications les plus réputées de cette technologie. Elle est caractérisée par la spécificité d'interagir avec les objets physiques (produits halio-industriels), ce qui permet d'améliorer la performance logistique.

L'intégration des objets connectés au sein de la supply chain permet de digitaliser et automatiser les flux et processus logistiques, ce qui facilite la collecte et le partage des données en temps contribuant ainsi au renforcement de la transparence et l'amélioration de l'efficacité (Kumar et al 2025).

Par ailleurs la technologie IoT peut être associée à d'autres technologies émergentes (IoT-Blockchain) afin de répondre aux exigences accrues des parties prenantes en matière de transparence, de sécurité et de durabilité (Mangala et al, 2024).

3.1.4 Application de l'IoT au niveau de la logistique inversée :

Dans la chaîne logistique halio-industrielle les pertes, le gaspillage, la surexploitation et les sous-produits halieutiques représentent une part importante du stock du poisson ce qui entrave la valorisation du produit qui devient de plus en plus menacé et rare (Hassoun et al, 2023b).

Les technologies de l'industrie 4.0 peut contribuer à une gestion efficace et efficiente des déchets à travers la réduction des pertes alimentaires dans le processus industriel par l'utilisation de la technologie de pointe comme la robotisation qui est capable de réaliser les opérations de transformation notamment, l'étêtage, l'éviscération, l'écaillage, le filetage et le parage de façon très pointu (Hassoun et al, 2023b). Par ailleurs ces déchets peuvent être réutilisés dans la fabrication des coproduits destinée pas seulement à l'alimentation de bétail et l'aquaculture, mais aussi à l'alimentation humaine grâce à un système de traçabilité et de maintien de chaîne de froid surveiller par la technologie de capteurs et de l'IOT. En effet, les déchets alimentaires générés

de l'industrie de transformation du poisson varient entre 30% et peuvent atteindre jusqu'à 70% pour certaines espèces de poissons notamment les nageoires, l'os, les têtes, la peau, et les viscères (Peñarubia, 2021). Dans la plupart des cas, ces déchets sont destinés vers les industries d'huiles et farine de poisson ou pour l'alimentation animale.

Il faut noter aussi que parmi les causes principales de détérioration de la qualité du produit et son refoulement c'est la rupture de chaîne de froid soit au moment de l'opération de capture et de stockage dans le navire ou dans l'acheminement du poisson vers l'industrie de transformation. En effet, les gaspillages du poisson peuvent se produire à différents stades de la chaîne logistique : les rejets en mer (juvénile, taille non conforme, et les prises non ciblées), stockage inapproprié au bord du navire générant des produits halieutiques insalubres, la non-maîtrise de la chaîne de froid lors de l'acheminement et du transport du produit halieutique aux industries de transformation. À cet égard, la rupture de la chaîne de froid peut provoquer l'augmentation de la teneur d'histamine ce qui induit au refoulement de ces produits vers l'industrie de farine de poisson. Or les résidus, les déchets du poisson et le poisson insalubre représentent des sous-produits halieutiques ayant une très faible valeur commerciale puisqu'ils sont destinés vers l'industrie d'huile et farine de poisson.

Parmi les alternatives proposées pour valoriser ces déchets, il s'avère nécessaire de cibler certains procédés qui consistent à extraire des produits à forte valeur ajoutée comme (les enzymes, hydrolysats de protéines, des peptides de collagène et de gélatine) (Hassoun et al, 2023b). À cet effet, l'Internet des objets (IoT) est susceptible de faciliter l'extraction de ces substances et les valoriser par leur transformation en nouveau composant qui peut être introduite dans d'autres industries à forte valeur commerciale (pharmaceutique, chimique, nutraceutique) à travers le suivi et l'optimisation du processus, ainsi que la collecte et la transmission en temps réel des données partagées entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Par ailleurs, la valorisation intelligente et durable des déchets issus du produit halieutique est indispensable pour la pérennité de la filière halio-industrielle.

2.2 Application de la technologie de l'IA dans la chaîne logistique halio-industriel

l'IA revêt une importance cruciale dans la traçabilité et la qualité des produits issus de l'industrie alimentaire, bien que l'on constate des disparités d'usage de cette technologie entre les différentes filières alimentaires (agriculture, aquacole, laitière et halieutique), ainsi qu'entre les maillons de

la chaîne logistique de la même filière (Desbois, 2026). À cet égard, en explorant la revue de littérature dans le domaine de l'industrie halieutique, on constate l'impact significatif de l'application de l'intelligence artificielle sur la réalisation des ODD (Chandran et al, 2025).

3.2.1 Application de l'IA au niveau de la logistique Amont :

L'intelligence artificielle contribue à l'amélioration de l'efficacité de la pêche et la durabilité des ressources marines. En effet, l'IA peut prédire la localisation des zones favorable pour la pêche à travers l'étude du phénomène d'upwelling qui en se basant sur des données et photos satellitaires peut déterminer la température et les courants marins favorables pour la prolifération du poisson. Par ailleurs, l'IA permettra aux armateurs de navires de pêche d'optimiser leur consommation énergétique en détectant rapidement les pêcheries propices de pêche, mais aussi de prédire les itinéraires les plus rapides pour y accéder.

Il convient de souligner aussi que l'IA peut résoudre le problème persistant de la pêche illicite, non déclarée et non réglementée (INN) et de réduire les rejets en mer et les prises accessoires grâce à l'analyse des photos satellitaires. L'IA pourra être un outil efficace d'aide de prise de décision en matière des quotas affectés aux bateaux et des repos biologiques en se référant au stock de poisson actuel.

3.2.2 Application de l'IA au niveau de la logistique interne

Au niveau de la logistique interne, la transformation industrielle des produits de la mer, l'intelligence artificielle (IA) peut contribuer à une meilleure prise de décision en matière d'optimisation du gaspillage alimentaire.

Parmi les usages de l'IA dans le domaine d'industrie alimentaire qu'on peut s'en servir pour planifier la demande et les besoins de production afin d'accroître son agilité sur le marché.

L'IA est capable d'assurer le pilotage intelligent de la ligne de production. En effet, en se basant sur la collecte et l'analyse des données du stock et du processus de production, l'IA peut prévoir avec précision le temps et les ressources nécessaires pour la réalisation de cette opération, détecter les pannes possibles et de calculer le coût de revient des produits attachés à cette ligne de production. En outre l'IA permet de protéger les industriels de conserveries de poisson contre les fluctuations saisonnières des prix et les pénuries du stock de poisson industriel (Dhal et Kar, 2024 ; Desbois, 2026), grâce à sa veille stratégique et l'analyse des statistiques des débarquements des bateaux de la pêche partout au Maroc.

3.2.3 Application de l'IA au niveau de la logistique aval

L'intégration de l'IA dans la chaîne logistique halio-industrielle est capable d'améliorer la résilience du réseau de distribution des produits, en veillant au maintien et à la surveillance de la chaîne du froid pour les produits congelés tout au long de la chaîne logistique (Dhal et Kar, 2024).

Par ailleurs l'IA peut être utilisée dans le pronostic des perturbations susceptible de nuire au bon conditionnement et à la qualité des boîtes de conserve, ainsi que la distribution efficace pour les pays exportés.

2.3 Application de la technologie de blockchain dans la chaîne logistique halio-industriel

L'adoption de la technologie blockchain dans la filière halio-industrielle contribue à l'amélioration de la transparence, la traçabilité et la durabilité de la chaîne logistique.

En effet, la technologie de blockchain permet de garantir la conformité réglementaire améliorer l'empreinte écologique en réduisant les inefficacités (Olaleye et al, 2025).

La technologie de blockchain garantit le partage transparent des données entre les différents maillons de la chaîne logistique contribuant ainsi à renforcer la confiance des collaborateurs et des consommateurs (Ouariti et Bennouri, 2022)

3. La mutualisation de la technologie blockchain et des objets connectés

4.1 Connexion de l'IoT avec des systèmes d'analyse avancée (python)

La convergence des technologies d'internet des objets (IoT) avec d'autres systèmes d'analyse des données (python) permet d'analyser un volume massif de données généré par ces capteurs.

4.2 Connexion de l'IoT avec TMS ou WMS :

Les données collectées par les IoT (température, salinité, position des poissons) peuvent être synchronisées dans TMS ou WMS distribué ce qui permet la traçabilité accrue des produits halieutiques capturés en temps réel et de planifier les opérations d'approvisionnement de pêcheries.

4.3 Connexion de l'IoT avec l'IA

L'intelligence artificielle (IA) peut être exploitée pour l'analyse prédictive des données collectées par IoT. En effet, en croisant l'ensemble des informations collectées, l'IA peut prédire les pêcheries à fort potentiel de densité du poisson, et recommander ainsi aux navires les

itinéraires les plus optimaux pour accéder au stock du poisson tout en optimisant la consommation énergétique et les opérations logistiques de pêche. Aussi l'IA peut aider les organismes de contrôle marocain (INRH ou département de pêche maritime) dans leur prise de décision par rapport aux repos biologiques et leur intervention en cas de dégradation des conditions marine.

4.4 Connexion de l'IoT avec l'IA et technologie de blockchain.

Les technologies émergentes de l'industrie 4.0 telles que la blockchain, l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA) sont perçues comme des vecteurs majeurs de la double transition durable et digitale de la chaîne logistique halio-industrielle à l'instar des travaux de (Ali et al 2024 ; Chandran et al, 2025) .

Si les applications de ces technologies émergentes ont été étudiées de façon séparée, leur combinaison dans un cadre cohérent, intégré et mutualisé pour une industrie halieutique durable reste encore à explorer comme soulignent Chandran et al (2025) et Kumar et al (2024). Dans cette perspective, il est nécessaire pour émerger vers une industrie alimentaire et halieutique 4.0 de mobiliser une approche intelligente et durable qui se fonde sur la mutualisation et l'intégration des technologies émergentes comme Iot, blockchain et l'IA (Premkkumar et al, 2023)

Des auteurs comme (Ali et al,2024 ; Premkkuma, 2023 ; Chandran et al, 2025) ont mis en évidence le rôle de l'intégration de l'IA et l'IoT pour l'analyse prédictive des données collectées en temps réel par l'IoT et l'amélioration de la prise de décision dans le l'optimisation de la durabilité de la chaîne logistique halio-industrielle. En effet, la technologie IoT déploie des capteurs intelligents et interconnectés pour la traçabilité et la surveillance des paramètres comme la température, l'origine du produit, la position du navire de pêche ou du camion de transport, taux d'histamine afin de valoriser les produits halieutiques. Ces capacités vont être renforcées par l'intégration de l'IA qui va aider à l'amélioration de la productivité et l'optimisation des ressources et faciliter l'intervention proactive pour éviter toutes contamination probable.

L'intégration de la technologie blockchain à l'IoT et l'IA contribuera à la transparence et à la sécurité alimentaire tout en réduisant la fraude et en améliorant la traçabilité et le suivi en temps réel de la qualité des produits halieutiques tout au long de la chaîne logistique (Banno et al., 2022 ; Alsharabi et al, 2024).

En dépit de ces avancées, l'application mutualisée et intégrée de l'IoT, de l'IA et de la blockchain en industrie halieutique n'existe pas encore au Maroc et demeure encore au stade de vision prospective du ministère de pêche.

Conclusion et Perspectives

Les technologies émergentes de l'Industrie 4.0 présentent un potentiel promoteur pour le développement de la filière halieutique, pourtant leur déploiement demeure encore limité dans le stade de l'innovation et rencontre plusieurs défis qui entravent leur bon déploiement. En effet, ces difficultés sont représentées par le manque de connectivité et d'interopérabilité des technologies, la carence en compétence, et le problème de sécurité des données, ainsi que d'autres contraintes d'ordre réglementaire ou politique.

Certes au Maroc, il existe une volonté du gouvernement pour réussir la double transition digitale et durable, à travers la mise en place de plusieurs technologies dans la chaîne logistique halio-industrielle comme la technologie de l'IoT : VMS on maîtrise l'origine du produit halieutique grâce aux technologies IoT (VMS) et les capteurs RFID qui permettent de maîtriser la salubrité et la traçabilité du produit halieutique en amont, cependant la qualité du produit halieutique restent jusqu'à présent difficilement mesurable en raison d'absence de suivi de température et du transport tout au long de la chaîne logistique et l'accessibilité très limitée aux enregistreurs de températures (IoT) aux acteurs qui opèrent dans cette chaîne logistique. En combinant certaines technologies émergentes comme technologie de blockchain, IOT et l'IA on peut obtenir une solution intégrée qui résout tous les problèmes de la chaîne logistique et améliore sa compétitivité et sa performance.

À travers notre étude, nous avons essayé de démontrer comment ces technologies émergentes peuvent contribuer à l'amélioration de la traçabilité et le contrôle de la qualité des produits halieutiques. Il ressort de notre analyse bibliométrique et notre étude exploratoire que l'utilisation fragmentée de l'une de ces technologies ne pourra pas aboutir aux résultats escomptés. Il faut mutualiser ces technologies émergentes et les interconnectées tout au long de la chaîne logistique afin d'atteindre la performance globale souhaitée et renforcer la confiance et la sécurité alimentaire dans la filière (Wang et al, 2021).

BIBLIOGRAPHIE

- Abyaneh, A. G., Ghanbari, H., Mohammadi, E., Amirsahami, A., & Khakbazan, M. (2025). An analytical review of artificial intelligence applications in sustainable supply chains. *Supply Chain Analytics*, 100173.
- Ajdahim, S., Rajouani, B., & Hmioui, A. (2026). Quand la digitalisation réinvente le voyage: cartographie bibliométrique exploratoire du supply chain touristique. *International Journal of Innovation, Digital Economy and Management Sciences*, 1(1).
- Akram, W., Din, M. U., Saoud, L. S., & Hussain, I. (2025). A review of generative AI in aquaculture: Applications, case studies and challenges for smart and sustainable farming. *Aquacultural Engineering*, 102637.
- Ali, S., Zubair, M., Khan, M. Z., Khan, A., & Rehman, A. U. (2024). Artificial intelligence of things (AIoT) advances in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 104, 202-215.
- Alsharabi, N., Ktari, J., Frikha, T., Alayba, A., Alzahrani, AJ, Jadi, A., & Hamam, H. (2024). Utilisation des technologies blockchain et d'IA pour des pêcheries durables, diversifiées et transparentes à l'avenir. *Journal of cloud computing* , 13 (1), 135.
- Banno, K., Kaland, H., Crescitelli, A. M., Tuene, S. A., Aas, G. H., & Gansel, L. C. (2022). A novel approach for wild fish monitoring at aquaculture sites: Wild fish presence analysis using computer vision. *Aquaculture Environment Interactions*, 14, 97-112.
- Bijou, M. (2024). L'influence de la transformation digitale et de l'innovation sur la stratégie organisationnelle: Revue systématique de la littérature et analyse bibliométrique. *IJDAM• International Journal of Digitalization and Applied Management*, 1(2), 211-225.
- Chandran, P. J. I., Khalil, H. A., & Hashir, P. K. (2025). Smart technologies in aquaculture: An integrated IoT, AI, and blockchain framework for sustainable growth. *Aquacultural Engineering*, 111, 102584.
- Desbois, D. (2026). Impact de l'intelligence artificielle sur la production, la transformation, la distribution et les échanges agroalimentaires: l'expérience française dans un contexte européen. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, (142).
- Dhal, SB, & Kar, D. (2024). Transformer la productivité agricole grâce à la prévision basée sur l'IA : innovations en matière de sécurité alimentaire et d'optimisation de la chaîne d'approvisionnement. *Prévision* , 6 (4), 925-951.

- Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Technologie et application de la blockchain : un aperçu. *PeerJ Computer Science* , 9 , e1705.
- Fini, C., Amato, SG, Scutaru, D., Biancardi, S., Antonucci, F., Violino,S., Ortenzi, L., EN Nemmi , Mei, A., Pallottino,F., S. Figorilli,S., et Costa, C. (2025). Application de l'intelligence artificielle générative dans le secteur aquacole. *Génie aquacole* , 111 , 102568.
- Gupta, G., & Kumar Pal, S. (2025). Applications of AI in precision agriculture. *Discover Agriculture*, 3(1), 61.
- Hassoun, A., & Rejeb, A. (2026). L'industrie alimentaire 4.0 : principes, technologies et émergence des produits de la mer 4.0. Dans *Produits de la mer 4.0* (pp. 3-30). Elsevier.
- Hassoun, A., Cropotova, J., Trif, M., Rusu, AV, Bobiş, O., Nayik, GA, Regenstein, JM (2022). Acceptation par les consommateurs des nouvelles tendances alimentaires résultant des technologies de la quatrième révolution industrielle : une revue narrative de la littérature et des perspectives d'avenir. *Frontiers in nutrition* , 9 , 972154.
- Hwa, L. S., & Te Chuan, L. (2024). A brief review of artificial intelligence robotic in food industry. *Procedia Computer Science*, 232, 1694-1700.
- Kumar, PR, Mohammad, GB, Narsimhulu, P., Narasappa, D., Maguluri, LP, Singh, S., & Selvarajan, S. (2025). Approches de modélisation informatique pour l'intelligence de la chaîne d'approvisionnement pilotée par la blockchain : un examen sur l'amélioration de la transparence, de la sécurité et de l'efficacité. *Computer Modeling in Engineering & Sciences (CMES)* , 144 (3).
- Latino, ME, Menegoli, M., Corallo, A., et Gnoni, MG (2025). Surfer sur la double transition dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaires : le rôle de l'IoT et de l'analyse des données dans la prise de décision durable. *Journal of Industrial Information Integration*, 100983.
- Mangala, N., Naveen, DR, Venugopal, KR, SS, I., & LM, P. (2024). Sécuriser la chaîne d'approvisionnement pharmaceutique grâce à la blockchain dans les systèmes cloud IoT. *Internet des objets* , 26 , 101215.
- Marín, X., Grau-Noguer, E., Gervilla-Cantero, G., Ripolles-Avila, C., & Castillo, M. (2025). Technologies émergentes pour la détection de la fraude alimentaire : un examen du paysage actuel dans les années 2020. *Trends in Food Science & Technology* , 105313.
- Mechaala, D., & Hemissi, O. (2025). Le Management Durable des Chaînes d'Approvisionnement comme Paradigme Émergent: Analyse Bibliométrique et Contribution à une Théorie

Intégrative. مجلة أبحاث ودراسات التنمية-Revue Recherches et Etudes en Développement-, 12(1), 400-415.

MIRKOU, L., Amina, K. A. D. A., ELMENSSOUR, A., & EL GAREH, F. (2026). L'Adoption de l'Internet des Objets (IoT) dans la gestion de la chaîne logistique : analyse bibliométrique et cartographie scientifique des tendances et perspectives de la recherche mondiale. *Alternatives Managériales Economiques*, 8(1), 48-71.

Olaleye, I. O., Olowojuni, O., Blessing, A. O., & Rodríguez-Molina, J. (2025). Blockchain-based certification in fisheries: A survey of technologies and methodologies. *IoT*, 7(1), 1.

Ouariti, O. P. Z., & Bennouri, J. (2022, May). Blockchain technology in sustainable supply chain management: from theoretical expectations to application perspective. Case of the fisheries sector. In *2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)* (pp. 1-6). IEEE.

Parra-López, C., Abdallah, SB, Trollman, H., Gupta, S., Apolo-Apolo, OE, Hassoun, A., ... & Carmona-Torres, C. (2026). Transformation numérique de la distribution alimentaire : tirer parti des technologies émergentes pour plus d'efficacité, de durabilité et de résilience. *Digital Technologies for Sustainable Agriculture and Food Systems*, 335-372.

Peñarubia, O. (2021). Fish By-Products Utilization, Getting More Benefits from Fish Processing. FAO (2021)

Premkkumar, V. P., Gayathri, C., Priyadharshini, P., & Praveenkumar, G. (2023, March). AI & IoT based control and traceable aquaculture with secured data using blockchain technology. In *2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)* (pp. 1-6). IEEE.

Purwanto, H., Hermawan, M., Nainggolan, C., & Wibowo, B. (2024). Conception d'un enregistreur de température automatique pour les navires de pêche utilisant la technologie de l'Internet des objets. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 5 (2), 1020-1050.

Rana, R. L., Tricase, C., & De Cesare, L. (2021). Blockchain technology for a sustainable agri-food supply chain. *British food journal*, 123(11), 3471-3485.

Song, X., Zhang, X., Dong, G., Ding, H., Cui, X., Han, Y., Huang, H., Wang, L. (2025). AI in food industry automation: applications and challenges. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1575430.

Tripoli, M., & Schmidhuber, J. (2020). Nouvelles possibilités d'application des chaînes de blocs dans l'industrie agroalimentaire. FAO.

Wang, X., Yu, G., Liu, R. P., Zhang, J., Wu, Q., Su, S. W., ... & Paton, N. (2021). Blockchain-enabled fish provenance and quality tracking system. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(11), 8130-8142.

Yadav, A., Garg, R. K., & Sachdeva, A. (2024). Artificial intelligence applications for information management in sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100292.

Yu, Y.-B.; Lee, J.-H.; Choi, J.-H.; Choi, Y.J.; Jo, A.-H.; Choi, C.Y.; Kang, J.-C.; Kim, J.-H. (2023) The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: A review. *J. Environ. Manag.* 342, 118237

Zheng, L., Zhou, R., Singh, N., Yaqub, MZ, et Badghish, S. (2025). Transformer les opérations de la chaîne d'approvisionnement : dévoiler la voie à suivre en tirant parti de l'intelligence artificielle (IA) pour favoriser la transition vers la neutralité carbone (NC). *Technological Forecasting and Social Change* , 219 , 124280.