

Revue de littérature sur la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle au Maroc

Literature Review on Port Performance in the Era of Artificial Intelligence in Morocco.

Auteur 1 : ANNE Abderrahmane.

Auteur 2 : AZIZ DOUARI.

ANNE Abderrahmane

Doctorant en sciences de gestion

Université Hassan Premier de Settat

Laboratoire de Recherche en Économie, Gestion et Management des Affaires (LREGMA), Maroc

DOUARI AZIZ

Professeur à l'Université Hassan Premier de Settat

Laboratoire de Recherche en Économie, Gestion et Management des Affaires (LREGMA), 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 : ANNE .A & DOUARI .A (2026). « Revue de littérature sur la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle au Maroc », African Scientific Journal « Volume 03, Num 34 » pp: 0269 – 0295.



DOI : 10.5281/zenodo.18466111
Copyright © 2026 – ASJ



Résumé

Dans un environnement économique mondialisé marqué par la digitalisation croissante des échanges, les ports maritimes constituent des maillons stratégiques de la chaîne logistique internationale. Face à l'intensification des flux, aux exigences de compétitivité et aux impératifs de durabilité, de nombreux ports s'engagent dans une transformation numérique orientée vers le développement de « Smart Ports ».

Le Maroc, en raison de sa position géographique et de ses ambitions logistiques, s'inscrit dans une dynamique de modernisation de ses infrastructures portuaires par l'intégration progressive de technologies intelligentes telles que l'intelligence artificielle, l'automatisation, la robotique et les entrepôts connectés. Des démarches engagées dans des ports comme Tanger Med ou Agadir traduisent cette évolution vers des plateformes portuaires plus intelligentes, plus efficaces et moins énergivores. Cette transformation soulève toutefois plusieurs interrogations relatives aux apports réels de ces technologies en matière de performance portuaire, aux indicateurs mobilisables pour en apprécier les effets dans le contexte marocain, ainsi qu'aux contraintes humaines, organisationnelles et technologiques associées à cette transition.

Sur le plan méthodologique, cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une revue de littérature de nature narrative et thématique, complétée par une lecture descriptive d'études académiques et de rapports institutionnels portant sur les ports marocains. Cette démarche permet de structurer les principaux concepts mobilisés dans la littérature relatifs à la performance portuaire et à l'intégration de l'intelligence artificielle.

Les résultats de cette revue montrent la diversité des dimensions associées à la performance portuaire, ainsi que le rôle croissant attribué aux technologies intelligentes dans l'amélioration de l'efficacité opérationnelle, de la qualité de service et de la durabilité des systèmes portuaires. L'ensemble contribue à l'élaboration d'un cadre théorique adapté au contexte marocain et, plus largement, aux ports des pays africains en transition numérique.

Les résultats de cette revue montrent que l'intégration progressive de l'intelligence artificielle constitue un levier déterminant pour l'amélioration de la performance portuaire, à condition d'un accompagnement organisationnel, humain et institutionnel adapté au contexte marocain.

Mots-clés : Smart Ports ; Performance portuaire ; Intelligence artificielle ; Transformation numérique ; Ports marocains ; Logistique portuaire durable.

Abstract

In a globalized economic environment marked by increasing digitalization of exchanges, seaports constitute strategic links within the international logistics chain. Faced with growing traffic volumes, competitiveness requirements, and sustainability imperatives, many ports are engaged in a digital transformation oriented toward the development of “Smart Ports”.

Morocco, due to its geographic position and logistics ambitions, is involved in the modernization of its port infrastructure through the gradual integration of intelligent technologies such as artificial intelligence, automation, robotics, and smart warehousing systems. Developments observed in ports such as Tanger Med and Agadir reflect this evolution toward more intelligent, more efficient, and less energy-intensive port platforms. This transformation nonetheless raises several issues related to the actual contribution of these technologies to port performance, the indicators used to assess their effects in the Moroccan context, and the human, organizational, and technological constraints associated with this transition.

From a methodological perspective, this research is framed within a narrative and thematic literature review, complemented by a descriptive reading of academic studies and institutional reports focusing on Moroccan ports.

This approach supports the organization of the main concepts addressed in the literature concerning port performance and the integration of artificial intelligence. The findings of this review highlight the diversity of dimensions associated with port performance, as well as the growing role attributed to intelligent technologies in improving operational efficiency, service quality, and the sustainability of port systems. Overall, this work contributes to the development of a theoretical framework suited to the Moroccan context and, more broadly, to African ports undergoing digital transition.

The results of this literature review show that the gradual integration of artificial intelligence represents a key lever for improving port performance, provided that it is supported by appropriate organizational, human, and institutional arrangements tailored to the Moroccan context.

Keywords : Smart Ports ; Port Performance ; Artificial Intelligence ; Digital Transformation ; Moroccan Ports ; Sustainable Port Logistics.

Introduction

Dans un environnement économique mondialisé et fortement marqué par la digitalisation des échanges, les ports maritimes occupent une place centrale dans la fluidité du commerce international. En tant que plateformes logistiques majeures, leur compétitivité s'appuie de plus en plus sur la rapidité, la fiabilité et la durabilité des opérations, devenues des critères déterminants dans un contexte de concurrence accrue (Talkhokhet & Moutmihi, 2021).

Cette évolution s'accompagne d'une complexification croissante des chaînes logistiques, caractérisée par la diversité des acteurs impliqués et par des exigences élevées en matière de coordination et de synchronisation des flux (Benkhedda, El Hakmi & Bennaceur, 2023). Dans ce cadre, la performance portuaire s'affirme comme un levier stratégique, dépassant la seule productivité des terminaux pour intégrer la qualité de service, la maîtrise des coûts, la résilience opérationnelle et les impacts environnementaux (Talkhokhet & Moutmihi, 2021).

Parallèlement, la transformation numérique s'impose progressivement comme un moteur d'évolution des systèmes portuaires à travers le développement du concept de Smart Ports. L'intégration de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'automatisation, l'Internet des objets, le big data ou encore la blockchain modifie en profondeur les modes de gestion portuaire, en lien avec l'optimisation des flux, la maintenance des infrastructures et l'amélioration de la durabilité des activités (Serghini, 2022).

Les travaux récents montrent le rôle croissant des technologies intelligentes dans la modernisation et la performance des systèmes portuaires, notamment dans les économies émergentes (UNCTAD, 2023 ; World Bank, 2022).

Dans le contexte africain, et plus particulièrement marocain, ces dynamiques demeurent encore peu structurées dans la littérature scientifique. Alors que les ports des pays émergents occupent une place stratégique croissante dans les échanges internationaux, les travaux existants restent majoritairement centrés sur les économies développées, laissant subsister un déficit d'analyses consacrées aux spécificités institutionnelles, organisationnelles et humaines des ports africains.

Le Maroc, compte tenu de sa position géographique et de ses ambitions logistiques, engage une modernisation progressive de ses infrastructures portuaires. Les démarches observées dans des ports tels que Tanger Med ou Agadir traduisent une orientation vers des plateformes plus

intelligentes et plus compétitives. Cette évolution soulève toutefois des interrogations relatives aux contributions effectives de l'intelligence artificielle à la performance portuaire, aux indicateurs adaptés au contexte marocain, ainsi qu'aux contraintes humaines, organisationnelles et technologiques associées à cette transformation.

Dans ce cadre, la problématique de cette recherche peut être formulée comme suit : dans quelle mesure l'intégration de l'intelligence artificielle et des technologies numériques contribue-t-elle au renforcement de la performance portuaire au Maroc, au regard de ses spécificités structurelles, humaines et organisationnelles ?

L'objectif de cet article proposer une revue de littérature sur les relations entre performance portuaire et intégration de l'intelligence artificielle, avec une attention particulière portée aux ports marocains. Il s'inscrit dans une démarche de structuration théorique destinée à éclairer les enjeux liés à la transition vers les Smart Ports dans le contexte marocain. L'article est organisé comme suit : une première partie est consacrée au cadre conceptuel de la performance portuaire ; une deuxième partie porte sur l'apport de l'intelligence artificielle et de la transformation numérique dans l'évolution vers les Smart Ports ; enfin, une dernière partie discute les limites et les perspectives associées au contexte portuaire marocain.

1. Revue de la littérature : cadre conceptuel de la performance portuaire

1.1. Définitions de la performance portuaire

La performance portuaire est aujourd'hui considérée dans la littérature comme un concept multidimensionnel, dépassant la seule productivité des terminaux. Elle intègre la fluidité des flux logistiques, la qualité des services, la compétitivité des coûts ainsi que la capacité des ports à répondre aux exigences de durabilité et aux perturbations opérationnelles. Dans cette perspective, Talkhokhet et Moutmihi (2021) associent la performance portuaire à la capacité d'un port à satisfaire les attentes des acteurs de la chaîne logistique et du commerce international, en lien avec sa compétitivité globale.

De manière complémentaire, Benkhedda, El Hakmi et Bennaceur (2023) montrent que la performance portuaire résulte de l'articulation entre efficacité opérationnelle et efficience organisationnelle. Cette approche met l'accent sur le caractère systémique de la performance, dépendant à la fois des infrastructures, des modes de gouvernance, des processus internes et des outils technologiques mobilisés.

1.2. Notion générale de la performance appliquée au contexte portuaire

La notion de performance occupe une place centrale dans l'analyse des organisations et des systèmes logistiques, bien que sa définition demeure plurielle. La littérature retient généralement trois dimensions complémentaires : l'efficacité, qui renvoie à l'atteinte des objectifs ; l'efficience, liée à l'utilisation optimale des ressources ; et la pertinence, qui traduit l'adéquation des résultats aux attentes des parties prenantes (Benghalia, 2015).

Appliquée au domaine portuaire, cette approche permet de dépasser une vision strictement opérationnelle pour intégrer des considérations liées à la qualité de service, à la résilience des opérations et à la durabilité. La performance portuaire s'inscrit ainsi dans une logique stratégique orientée vers la compétitivité globale et la création de valeur au sein de la chaîne logistique.

1.3. Synthèse des définitions de la performance portuaire

La littérature académique propose des définitions variées de la performance portuaire, mettant en avant des dimensions convergentes ou complémentaires selon les contextes étudiés et les objectifs poursuivis. Afin de dépasser une lecture fragmentée des travaux existants, le tableau 1 présente une synthèse comparative des principales définitions issues de contributions académiques et institutionnelles.

Le tableau 1 présente une synthèse comparative des principales définitions de la performance portuaire proposées dans la littérature académique.

Tableau 1 : Synthèse des définitions de la performance portuaire dans la littérature

Auteur(s) / Source	Définition de la performance portuaire	Dimensions mises en avant
Benghalia (2015)	Combinaison de l'efficacité (atteinte des objectifs), de l'efficience (optimisation des ressources) et de la pertinence (adéquation aux attentes des parties prenantes).	Efficacité, efficience, pertinence
Talkhokhet & Moutmihi (2021)	La performance portuaire constitue un levier stratégique dépassant la productivité des	Qualité de service,

	terminaux pour intégrer la qualité de service, la fluidité logistique et la compétitivité.	productivité, compétitivité
Benkhedda, El Hakmi & Bennaceur (2023)	Résultat de la synergie entre infrastructures, organisation et gouvernance, renforçant l'attractivité et la compétitivité du port.	Organisation, gouvernance, attractivité
Serghini (2022)	Intégration de la capacité du système portuaire à s'adapter aux perturbations et à maintenir un haut niveau de service en contexte incertain.	Résilience, agilité, continuité des opérations
Bouzida (2022)	Performance conditionnée par l'intégration des systèmes d'information améliorant la traçabilité, la visibilité et la prise de décision.	Digitalisation, traçabilité, visibilité
UNCTAD (2022)	Capacité d'un port à réduire les coûts, améliorer la fiabilité et contribuer à la durabilité des échanges mondiaux.	Coût, fiabilité, durabilité

La lecture transversale de ce tableau montre que la performance portuaire est progressivement appréhendée comme un concept évolutif et multidimensionnel. Alors que les premières approches mettaient principalement l'accent sur l'efficacité et la productivité, les travaux plus récents intègrent davantage des dimensions organisationnelles, technologiques, environnementales et résilientes, en cohérence avec les transformations numériques et les exigences de durabilité.

1.4. Le port et les dimensions de la performance portuaire

Le port est généralement défini comme une interface stratégique entre le transport maritime et le transport terrestre, assurant des fonctions d'échange, de transit et de transformation des marchandises (Vigarié, 1979 ; Raji & Lemtaoui, 2022). Cette position centrale au sein de la chaîne logistique confère au port un rôle déterminant dans la performance globale des échanges.

La littérature identifie plusieurs dimensions clés de la performance portuaire, notamment l'efficacité, l'efficience, la résilience et la durabilité. Ces dimensions permettent d'appréhender simultanément la productivité des opérations, la qualité des services et la gouvernance du système portuaire (Benghalia, 2015 ; Talkhokhet & Moutmihi, 2021 ; Benkhedda et al., 2023).

Cette approche confirme la nécessité d'une vision globale intégrant des dimensions opérationnelles, organisationnelles, stratégiques et environnementales.

1.5. Indicateurs de mesure de la performance portuaire

L'évaluation de la performance portuaire s'appuie sur un ensemble d'indicateurs permettant d'apprécier à la fois l'efficacité opérationnelle et la rentabilité économique. Dans un contexte de concurrence accrue entre ports et d'intensification des flux maritimes, ces indicateurs constituent des outils essentiels pour orienter les décisions de gestion.

La littérature distingue principalement deux catégories d'indicateurs : les indicateurs financiers, liés aux coûts et aux revenus portuaires, et les indicateurs opérationnels, associés à la fluidité des opérations et à la gestion du temps. Le tableau 2 présente une synthèse des principaux indicateurs traditionnellement mobilisés dans l'analyse de la performance portuaire.

Le tableau 2 récapitule les principaux indicateurs financiers et opérationnels traditionnellement mobilisés pour évaluer la performance portuaire.

Tableau 2 : Indicateurs traditionnels de mesure de la performance portuaire

Catégorie	Indicateur	Description synthétique
Indicateurs financiers	Tonnage manutentionné	Volume total de marchandises manipulées.
	Recettes d'occupation du poste d'accostage (par tonne)	Revenus générés par l'utilisation du quai.
	Recettes de manutention (par tonne)	Revenus issus des opérations de chargement/déchargement.
	Dépenses de main-d'œuvre	Coût du personnel affecté aux opérations.
	Coût des grues (par heure / navire)	Coût d'utilisation des équipements de levage.
	Coût total par tonne	Coût global rapporté au tonnage traité.

	Coût total	Ensemble des coûts directs et indirects du port.
Indicateurs opérationnels	Temps d'attente / retard	Intervalle entre l'arrivée du navire et son accès au quai.
	Temps d'opération à quai	Durée du chargement/déchargement.
	Rotation des navires	Nombre de navires traités sur une période.
	Tonnage par navire	Quantité moyenne manipulée par navire.
	Temps de séjour au port	Durée totale passée par un navire dans l'enceinte portuaire.

Source : adapté de la CNUCED (1976), reformulé par l'auteur.

Cette présentation prend en compte le caractère essentiellement opérationnel et financier des indicateurs classiques. Elle souligne également leurs limites, notamment l'insuffisante prise en compte des dimensions liées à la digitalisation, à la résilience et à la durabilité, ce qui justifie l'intérêt croissant porté à l'intégration de technologies intelligentes dans l'analyse de la performance portuaire.

2. Le Smart Port et la transformation intelligente des infrastructures portuaires

2.1 Le modèle conceptuel du Smart Port : caractéristiques et piliers

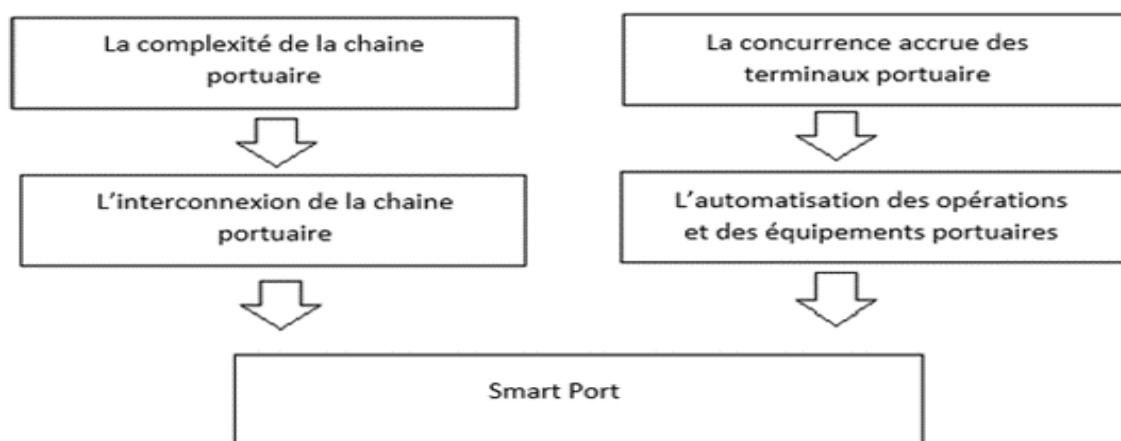
La notion de Smart Port s'inscrit dans une dynamique mondiale de digitalisation et de transformation intelligente des infrastructures portuaires, en réponse à l'intensification des échanges internationaux, à la pression concurrentielle entre ports et aux exigences croissantes en matière de durabilité. Un Smart Port peut être défini comme un port exploitant des technologies numériques avancées, notamment l'Internet des objets (IoT), le Big Data et l'intelligence artificielle (IA), afin d'optimiser la gestion des flux logistiques, renforcer la durabilité environnementale et accroître la compétitivité économique (Acciaro & Ghiara, 2020).

Par rapport aux ports traditionnels, les Smart Ports se distinguent par leur capacité à transformer les données générées par les opérations portuaires en informations exploitables pour la prise de décision. Ils s'appuient sur des systèmes numériques intégrés permettant la surveillance en temps réel, la prévision des flux et l'automatisation des processus décisionnels, contribuant ainsi à une meilleure productivité, à une traçabilité accrue et à une réduction des délais opérationnels (Rodrigue, 2020).

Le modèle du Smart Port intègre également une dimension environnementale centrale. Le recours à des solutions telles que l'électrification des quais, l'optimisation énergétique des équipements et la réduction des émissions de CO₂ s'inscrit dans les objectifs de transition écologique et dans l'alignement des ports avec les Objectifs de Développement Durable (ODD) des Nations Unies (World Bank, 2021). Le Smart Port apparaît ainsi comme un projet stratégique combinant modernisation technologique, durabilité et compétitivité à long terme.

Selon Benabid (2021), le modèle conceptuel du Smart Port est basé sur cinq piliers fondamentaux structurant la transformation intelligente des infrastructures portuaires : (1) l'automatisation des opérations portuaires, (2) la numérisation et l'interopérabilité des systèmes d'information, (3) l'exploitation du Big Data et de l'intelligence artificielle, (4) la durabilité environnementale et (5) la résilience organisationnelle et opérationnelle. Ces piliers, présentés dans la Figure 1, traduisent une approche systémique dans laquelle les technologies numériques soutiennent simultanément la performance opérationnelle, la durabilité environnementale et la capacité d'adaptation du système portuaire face aux perturbations.

Figure 1 : les piliers du smart port



Source: Benabid, A. (2021). Smart Port: Design and Perspectives

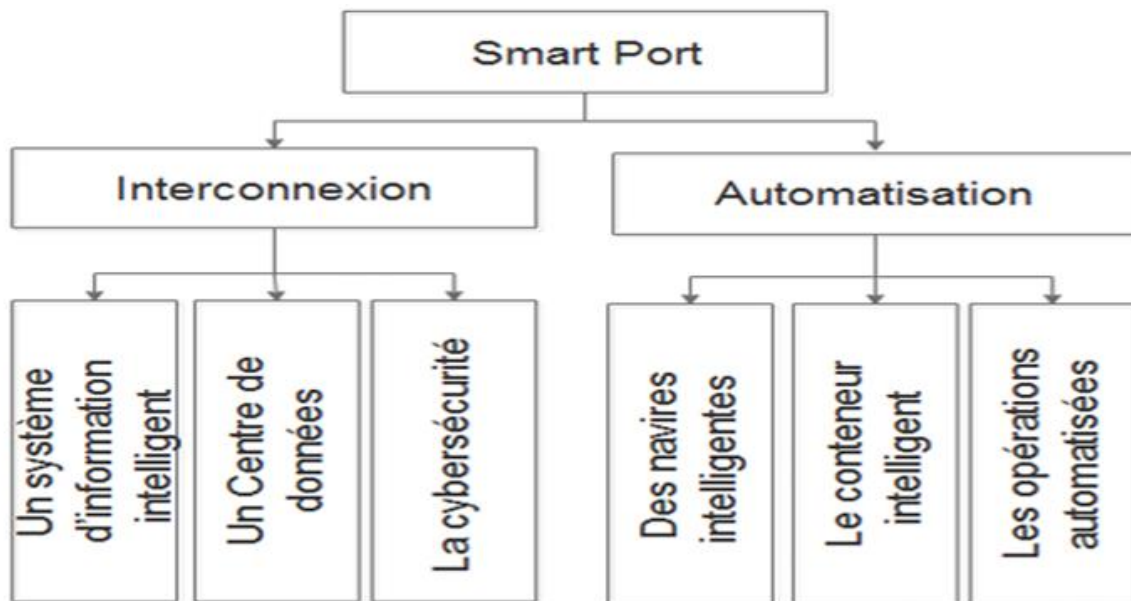
Afin de mieux comprendre les implications de ces piliers sur la performance portuaire, le tableau 3 présente une synthèse des principales caractéristiques des Smart Ports identifiées dans la littérature et de leurs effets attendus sur la performance.

Tableau 3 : Caractéristiques des Smart Ports et effets sur la performance portuaire

Source	Caractéristiques identifiées	Effets sur la performance portuaire
Benabid (2021) – Smart Port: Design and Perspectives	Interconnectivité et collaboration via des plateformes numériques (PCS)	Coordination accrue des acteurs, fluidité des échanges, compétitivité renforcée
Intégration de l'intelligence artificielle (2022)	Exploitation du Big Data et prise de décision automatisée	Optimisation des flux, réduction des délais, meilleure prévision des cargaisons
La logistique smart au Maroc : quel avenir ? (2022)	Durabilité et solutions vertes (énergies renouvelables, électrification des quais, réduction du CO₂)	Transition écologique, conformité aux ODD, compétitivité durable
Adoption de l'IA et de la smart logistique (2022)	Résilience et adaptation grâce à l'IA et à la robotisation	Continuité des opérations, sécurité des flux, agilité face aux perturbations

La lecture synthétique de ce tableau montre clairement deux axes structurants et complémentaires du Smart Port : l'interconnexion numérique des acteurs et l'automatisation intelligente des opérations. Ces axes permettent non seulement d'améliorer la productivité portuaire, mais également de renforcer la résilience du système logistique et d'intégrer les exigences de durabilité. Dans cette perspective, le Smart Port apparaît comme un levier stratégique de performance globale. Il contribue à la création de valeur ajoutée, à la réduction des coûts logistiques et à une meilleure satisfaction des clients, tout en répondant aux défis de la mondialisation et de la digitalisation croissante des chaînes logistiques (Benabid, 2021). La Figure 2 illustre de manière synthétique l'architecture du système Smart Port et les interactions entre ses différents composants.

Figure 2 : Smart Port System



Source : Benabid (2021, p. 4)

2.2. Technologies clés de la digitalisation portuaire

La digitalisation constitue un facteur structurant de l'évolution des systèmes portuaires et de l'amélioration de leur performance. Les technologies numériques, telles que l'intelligence artificielle (IA), le Big Data, l'Internet des objets (IoT), la blockchain et les Port Community Systems (PCS), forment un ensemble cohérent de solutions transformant la gestion des flux logistiques, la coordination entre acteurs et les mécanismes de gouvernance portuaire.

Ces technologies contribuent à l'efficacité opérationnelle, à la durabilité environnementale et à la compétitivité des ports dans un contexte marqué par la mondialisation et la complexité croissante des chaînes logistiques (Benabid, 2021 ; UNCTAD, 2021). Leur complémentarité favorise la mise en place d'un environnement numérique intégré dans lequel la donnée devient un levier central de pilotage et de prise de décision, soutenant ainsi l'évolution vers le modèle des Smart Ports.

Le tableau 4 synthétise les principales technologies mobilisées dans la digitalisation portuaire, leurs fonctions dominantes et leurs effets attendus sur la performance.

Tableau 4 : Technologies clés de la digitalisation portuaire

Technologie	Fonction principale	Bénéfices attendus	Sources
Intelligence artificielle (IA)	Automatisation des processus et soutien à la décision	Anticipation des perturbations, optimisation des ressources, fiabilité accrue	Benabid (2021)
Internet des objets (IoT)	Connectivité via capteurs et objets intelligents	Traçabilité des flux, maintenance prédictive, sécurité logistique	Mouhsine (2023)
Big Data	Analyse avancée et prédictive des flux	Planification optimisée, réduction des délais opérationnels	Douaioui et al. (2021)
Block Chain	Sécurisation et transparence des échanges d'information	Réduction des fraudes, diminution des coûts documentaires	UNCTAD (2021)
Port Community System (PCS)	Port Community System (PCS)	Port Community System (PCS)	Port Community System (PCS)

Ces technologies ne doivent pas être considérées comme des outils isolés, mais comme les composantes d'un écosystème numérique intégré. Leur impact sur la performance portuaire dépend du niveau de maturité digitale des ports, des compétences des ressources humaines et des choix institutionnels en matière de gouvernance collaborative. La contribution de la digitalisation varie ainsi selon le degré d'intégration technologique et organisationnelle adopté par chaque port.

2.3 Applications et bénéfices de l'intelligence artificielle dans les ports

L'intégration de l'intelligence artificielle dans les ports maritimes répond à la croissance des flux commerciaux et à la complexification des chaînes logistiques internationales. L'IA s'impose comme un levier central de la transformation digitale portuaire, en interaction avec le Big Data, l'IoT, la blockchain et les Port Community Systems, contribuant à l'automatisation

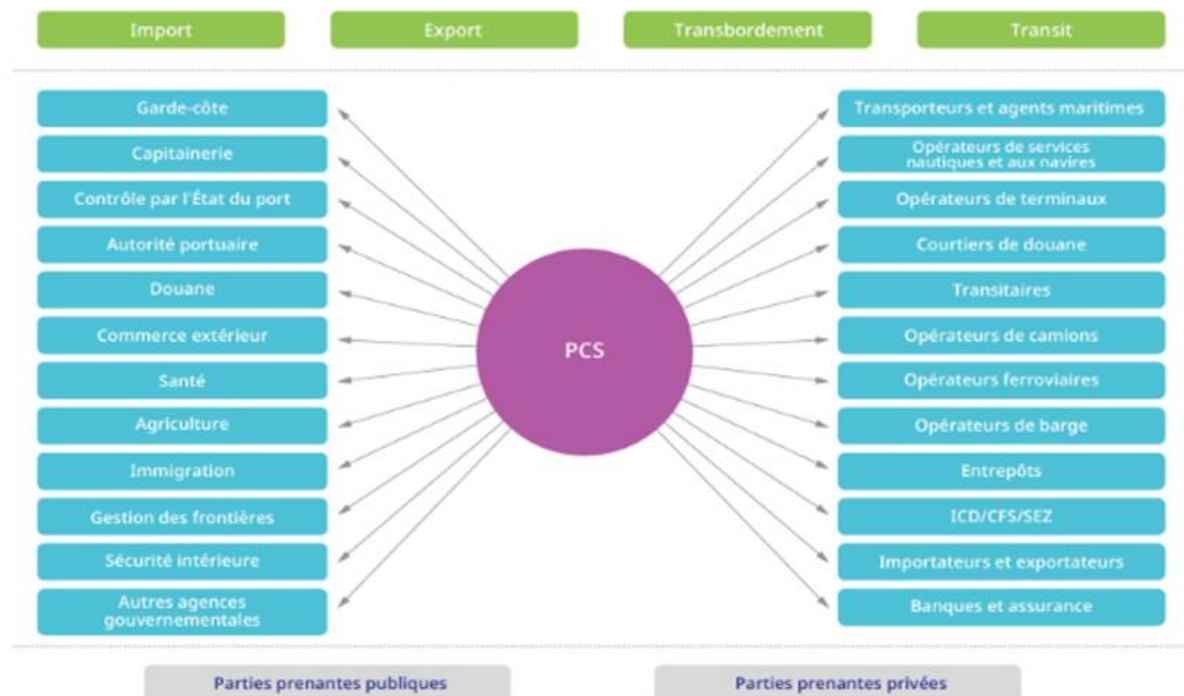
des opérations, à la fluidification des flux et au renforcement de la sécurité des échanges (Benabid, 2021).

2.3.1 Applications principales de l'intelligence artificielle

Dans la gestion portuaire contemporaine, l'IA est principalement mobilisée pour la **prévision et l'optimisation des flux logistiques**. L'analyse de données en temps réel permet d'anticiper les perturbations liées à la congestion, aux conditions météorologiques ou aux retards des navires, améliorant ainsi la planification et la coordination des opérations portuaires (Intégration de l'intelligence artificielle, 2022).

L'IA joue également un rôle déterminant dans la **maintenance prédictive des équipements portuaires**. L'exploitation continue des données issues des capteurs permet de détecter précocement les anomalies techniques, réduisant les risques de pannes, les interruptions d'activité et les coûts de maintenance, tout en renforçant la fiabilité et la sécurité des infrastructures (Benabid, 2021 ; UNCTAD, 2021).

Figure 3 : Système portuaire intégré (PCS)



Source : élaboration à partir des informations de l'IPCSA

Par ailleurs, l'intelligence artificielle contribue à la **gestion intelligente des marchandises et des procédures administratives**. Le traitement automatisé des données issues des douanes, des terminaux et des transporteurs améliore la manutention, la traçabilité des flux et la rapidité des opérations de dédouanement, favorisant ainsi la fluidité logistique et la réduction des délais portuaires (La logistique smart au Maroc, 2022).

Dans ce cadre, les **Port Community Systems**, renforcés par l'IA, occupent une place centrale en facilitant la coordination entre les acteurs, la circulation sécurisée de l'information et l'intégration des processus décisionnels, contribuant directement à la performance globale des ports intelligents (UNCTAD, 2021). **Voir figure 3**

2.3.2 Bénéfices attendus de la digitalisation portuaire

La digitalisation portuaire, soutenue par l'intelligence artificielle, génère des bénéfices à plusieurs niveaux. Sur le plan opérationnel, l'automatisation et les systèmes intelligents améliorent la rapidité de traitement, la fiabilité des opérations et la continuité des flux, tout en optimisant l'utilisation des ressources disponibles (Benabid, 2021).

Sur le plan économique, l'IA favorise la réduction des coûts d'exploitation grâce à la maintenance prédictive, à la rationalisation des flux logistiques et à une allocation plus efficace des ressources humaines et matérielles, renforçant ainsi la compétitivité et la viabilité financière des ports (L'adoption de l'IA et de la smart logistique, 2022).

Sur le plan environnemental, la digitalisation accompagne les objectifs de transition écologique par l'optimisation de la consommation énergétique, l'électrification des quais et la réduction des émissions de CO₂, en cohérence avec les Objectifs de Développement Durable (Mouhsine, 2023).

Enfin, en matière de gouvernance, l'adoption de plateformes numériques collaboratives améliore la transparence, la coordination entre les acteurs et la confiance au sein de la chaîne logistique portuaire, renforçant l'attractivité internationale des ports marocains tels que Tanger Med, Casablanca et Agadir (UNCTAD, 2021).

2.3.3 Défis et limites de la digitalisation portuaire

Malgré ses apports, la transition vers des ports intelligents demeure confrontée à plusieurs contraintes. La cyber sécurité constitue un enjeu majeur, l'interconnexion accrue des systèmes augmentant l'exposition aux risques d'attaques informatiques susceptibles d'affecter la continuité des opérations et la protection des données sensibles (Benabid, 2021).

Les contraintes financières et infrastructurelles représentent également un frein important. Les investissements nécessaires à l'automatisation, aux équipements connectés et aux infrastructures numériques restent élevés, notamment pour les ports des pays émergents (UNCTAD, 2021). Par ailleurs, la réussite de la transformation digitale dépend fortement des compétences humaines et de la capacité d'adaptation organisationnelle. L'insuffisance de profils qualifiés et de dispositifs de formation continue limite parfois l'exploitation effective des technologies numériques (La contribution de la transformation digitale, 2023). Enfin, la gouvernance et la coordination entre les acteurs demeurent complexes. L'absence de standardisation et d'harmonisation freine encore l'interopérabilité des systèmes et l'efficacité des plateformes collaboratives, constituant un défi majeur pour la performance des Smart Ports (Mouhsine, 2023).

3. Transformations portuaires au Maroc à l'ère du digital : revue des expériences existantes

3.1. Réformes et initiatives portuaires au Maroc

Grâce à sa façade maritime stratégique et à sa position au croisement des grandes routes commerciales internationales, le Maroc a placé la modernisation portuaire au cœur de sa politique économique. La réforme portuaire de 2006 (loi 15-02) a marqué une étape structurante, en instaurant une libéralisation progressive des services, un renforcement de la compétitivité et une refonte des mécanismes de gouvernance portuaire.

Dans ce cadre, les principaux ports marocains, notamment Tanger Med, Casablanca et Agadir, ont engagé des démarches de digitalisation visant à améliorer la gestion des flux, la transparence des procédures et la coordination entre les acteurs de la chaîne logistique. Ces initiatives, portées par l'Agence Nationale des Ports et les opérateurs privés, reposent principalement sur

le déploiement d'outils numériques collaboratifs tels que le Port Community System (PCS), conçu pour fluidifier les échanges d'information (Fouguig, 2025).

Toutefois, malgré ces avancées, la transition numérique demeure hétérogène. Les performances portuaires restent limitées par des difficultés d'interopérabilité des systèmes, une insuffisance de compétences numériques et une coordination institutionnelle encore partielle (Étude exploratoire sur le modèle de la performance portuaire, 2021 ; Sara, 2022). Ces constats confirment que la digitalisation portuaire ne repose pas uniquement sur les investissements technologiques, mais également sur des facteurs organisationnels et humains.

3.2. Approche comparative des expériences portuaires marocaines

Cette recherche s'appuie sur une analyse descriptive et comparative de trois ports marocains Tanger Med, Casablanca et Agadir à partir de travaux scientifiques et de rapports institutionnels. Le choix de ces ports s'appuie sur leur rôle stratégique dans le commerce maritime national et sur des niveaux différenciés d'avancement dans le processus de digitalisation. L'objectif est d'identifier les principaux apports des technologies numériques, notamment le Port Community System, le Big Data et l'intelligence artificielle, sur la performance logistique et organisationnelle des ports marocains. Cette approche comparative permet de dégager des facteurs communs et spécifiques influençant la réussite de la transformation numérique portuaire (ANP, 2021 ; Revue RERLED, 2020 ; Sara, 2022 ; Benabid, 2021).

3.3. Le port d'Agadir : une transition numérique progressive

Le port d'Agadir a intégré la plateforme PortNet dans le cadre de la stratégie nationale de dématérialisation des procédures portuaires. Cette intégration a contribué à la réduction des délais de transit, à l'amélioration de la traçabilité des marchandises et à une meilleure coordination entre les acteurs portuaires, avec des effets positifs sur les filières agricole et halieutique (Revue RERLED, 2020). Cependant, la transition numérique reste partielle. Les principales limites concernent la formation du personnel et l'intégration encore limitée des outils d'intelligence artificielle dans les opérations quotidiennes. Ces contraintes soulignent la nécessité de renforcer les compétences numériques et les mécanismes de gouvernance afin d'assurer la durabilité des initiatives engagées (Sara, 2022).

3.4. Le port de Casablanca : digitalisation et contraintes organisationnelles

Le port de Casablanca constitue le site pilote du Port Community System au niveau national. La mise en œuvre de cette plateforme a facilité la coordination entre les compagnies maritimes, les transitaires et les administrations douanières, contribuant à la réduction des délais de passage et à une plus grande transparence des opérations (Agence Nationale des Ports, 2021).

Néanmoins, plusieurs contraintes persistent, notamment en matière d'interopérabilité des systèmes numériques, de coordination institutionnelle et de disponibilité de compétences spécialisées. Ces facteurs limitent l'impact global de la digitalisation sur la performance portuaire et soulignent l'importance d'un accompagnement organisationnel et humain renforcé (Étude exploratoire sur la performance portuaire, 2021).

3.5. Le port de Tanger Med : un hub portuaire intelligent

Le complexe portuaire de Tanger Med représente le niveau d'intégration technologique le plus avancé au Maroc et en Afrique. Il mobilise un ensemble de technologies incluant le Big Data, l'Internet des objets, l'intelligence artificielle et un système d'information intégré (TMIS), permettant le suivi en temps réel des opérations, la planification des escales et l'optimisation prédictive des flux logistiques (Benabid, 2021).

En 2023, le port a traité plus de 8,6 millions d'EVP et dépassé 113 millions de tonnes de trafic global, confirmant son positionnement parmi les principaux hubs portuaires mondiaux (Agence Nationale des Ports, 2023).

Cette modernisation technologique implique toutefois des investissements financiers importants et des enjeux croissants en matière de cyber sécurité, nécessaires pour garantir la fiabilité et la continuité des systèmes numériques portuaires (World Bank, 2021).

Le tableau 5 propose une comparaison des principaux ports marocains selon leur niveau de digitalisation, les effets observés sur la performance et les limites identifiées.

Tableau 5 : Comparaison des ports marocains selon leur niveau de digitalisation et leurs effets sur la performance

Port	Outil numérique principal	Effets sur la performance	Limites identifiées	Sources
Agadir	PortNet (PCS)	Réduction des délais, amélioration de la traçabilité	Insuffisance de formation, intégration limitée de l'IA	Revue RERLED (2020) ; Sara (2022)
Casablanca	PortNet (site pilote)	Fluidité documentaire, transparence, productivité	Interopérabilité et coordination institutionnelle	ANP (2021) ; Étude exploratoire (2021)
Tanger Med	TMIS, IA, Big Data, IoT	Automatisation, connectivité internationale, croissance du trafic	Coûts d'investissement, enjeux de cybersécurité	Benabid (2021) ; ANP (2023) ; World Bank (2021)

Source : Auteur

L'analyse comparative montre des rythmes de digitalisation différenciés entre les ports marocains. Tanger Med se distingue par un niveau d'intégration technologique avancé, tandis que Casablanca et Agadir présentent des trajectoires intermédiaires, marquées par des contraintes humaines, organisationnelles et institutionnelles. Ces résultats confirment que la performance portuaire ne dépend pas uniquement des technologies déployées, mais s'appuie également sur la gouvernance, la coordination des acteurs et le développement des compétences, éléments déterminants de la transition vers des ports intelligents (Benkhedda, El Hakmi & Bennaceur, 2023).

Ces constats s'inscrivent dans une dynamique observée dans plusieurs ports des pays en développement, où la digitalisation portuaire progresse de manière différenciée selon les capacités institutionnelles, le niveau de gouvernance et la disponibilité des compétences numériques (UNCTAD, 2024).

4. Méthodologie de recherche

Cette recherche adopte une démarche qualitative et descriptive fondée sur une revue de la littérature scientifique complétée par une analyse documentaire relative aux expériences portuaires marocaines. Le travail s'appuie sur une revue de littérature de nature narrative et thématique, couvrant la période 2015–2025.

Les sources mobilisées comprennent des articles scientifiques, des rapports institutionnels et des publications internationales traitant de la performance portuaire, de la transformation numérique et de l'intelligence artificielle. L'ensemble de ces documents permet de structurer les principaux concepts et indicateurs utilisés dans l'évaluation de la performance des systèmes portuaires. Par ailleurs, une attention particulière est portée aux expériences observées dans les ports marocains de Tanger Med, Casablanca et Agadir. Les données utilisées proviennent principalement de documents officiels, de rapports récents et d'études publiées par l'Agence Nationale des Ports ainsi que par le Ministère de l'Équipement et du Transport. Cette analyse documentaire permet de rapprocher les cadres conceptuels issus de la littérature des pratiques mises en œuvre dans le contexte portuaire marocain. L'approche retenue contribue à une meilleure compréhension des dynamiques de digitalisation engagées, des contraintes rencontrées au cours de cette transition et des facteurs associés au développement progressif des Smart Ports au Maroc.

5. Proposition du modèle conceptuel de la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle

À partir des apports issus de la revue de la littérature (Talkhokhet & Moutmihi, 2021 ; Marlow & Paixão, 2002 ; Woo et al., 2011) et des travaux portant sur les ports marocains, un modèle conceptuel de la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle est proposé. Ce modèle met en relation la digitalisation portuaire, les outils technologiques mobilisés et les principales dimensions de la performance durable.

Le modèle conceptuel est structuré autour de trois blocs complémentaires, présentés dans le tableau 6. Ces blocs correspondent aux facteurs d'entrée, aux processus de transformation et aux résultats associés à la performance portuaire.

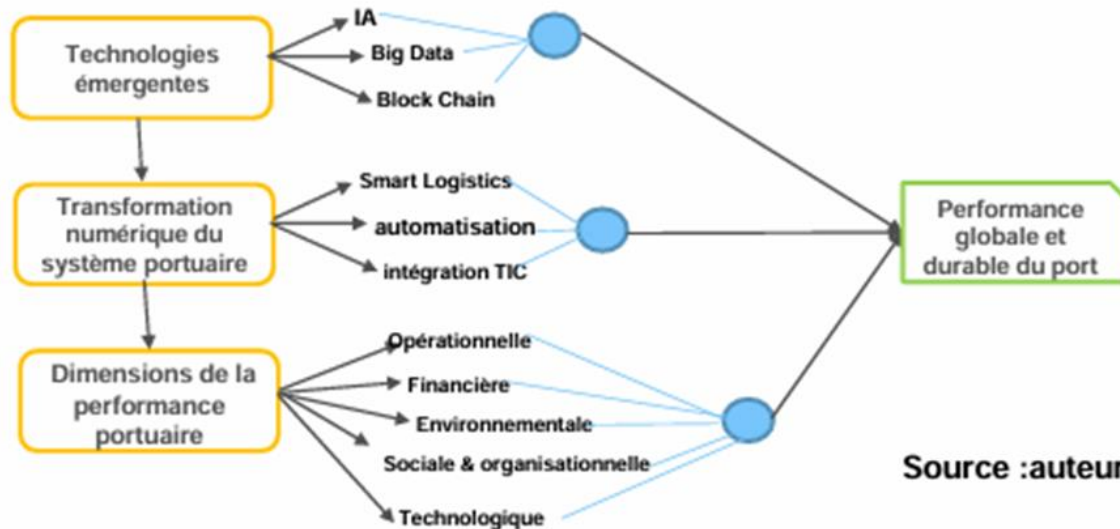
Tableau 6 : Trois blocs du modèle conceptuel de la performance portuaire

Blocs du modèle	Éléments principaux	Brève description
A. Facteurs d'entrée (Input)	Intelligence artificielle, Big Data, Internet des objets, gouvernance numérique, collaboration logistique	Technologies et dispositifs organisationnels participant à la modernisation des systèmes portuaires
B. Processus de transformation	Intégration des systèmes, automatisation, optimisation logistique	Mécanismes internes favorisant l'amélioration de l'efficacité et de la fluidité des opérations
C. Résultats (Output)	Performance opérationnelle, financière, environnementale, sociale et technologique	Effets globaux de la digitalisation sur la performance durable des ports

Source : Auteur

Les trois blocs présentés dans le tableau 6 constituent l'ossature du modèle conceptuel. Les facteurs d'entrée regroupent les principales technologies numériques et les dispositifs de gouvernance mobilisés dans les ports. Le processus de transformation correspond aux mécanismes internes permettant l'intégration de ces technologies, notamment à travers l'automatisation et l'optimisation des opérations logistiques. Les résultats renvoient aux différentes dimensions de la performance durable susceptibles d'évoluer dans un contexte de digitalisation accrue

Figure 4 : Modèle conceptuel de la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle



La représentation graphique du modèle conceptuel (figure 4) articule ces trois blocs de manière séquentielle, en montrant le passage des technologies numériques vers des transformations organisationnelles, puis vers des niveaux de performance portuaire plus durables et plus compétitifs.

8. Discussion : perspectives d'amélioration de la performance portuaire au Maroc

L'analyse des expériences de digitalisation portuaire au Maroc met en évidence un écart persistant entre le déploiement des technologies numériques et leur traduction effective en gains de performance. Cet écart s'explique par l'existence de contraintes structurelles, organisationnelles et humaines qui limitent l'impact de l'intelligence artificielle et des systèmes numériques sur la performance portuaire globale.

8.1. Problèmes identifiés dans les ports marocains

L'étude des ports de Tanger Med, Casablanca et Agadir révèle plusieurs freins communs à la transformation digitale. Premièrement, malgré la généralisation de plateformes telles que PortNet et les Port Community Systems, l'interopérabilité entre les systèmes d'information demeure incomplète, ce qui freine la fluidité des échanges d'information et la coordination opérationnelle, notamment à Casablanca et Agadir. Deuxièmement, le déficit de compétences numériques spécialisées constitue une contrainte majeure. L'intelligence artificielle et les outils d'analyse avancée restent encore faiblement intégrés dans les opérations quotidiennes, en

particulier dans les ports à niveau intermédiaire de digitalisation, ce qui limite leur potentiel d'optimisation. Troisièmement, les risques liés au cyber sécurité augmentent avec l'intensification de la digitalisation. La dépendance croissante aux systèmes numériques expose les ports marocains à des vulnérabilités susceptibles d'affecter la continuité des opérations et la confiance des acteurs logistiques. Enfin, les enjeux environnementaux, bien que de plus en plus intégrés dans les stratégies portuaires, restent encore partiellement traduits en solutions opérationnelles intelligentes, notamment en dehors du port de Tanger Med.

8.2. Leviers d'amélioration mobilisables

Face à ces contraintes, plusieurs leviers structurants peuvent être identifiés. Le premier levier concerne le renforcement de l'intégration numérique, à travers une meilleure interconnexion des systèmes d'information portuaires et une exploitation plus avancée des données générées par les plateformes collaboratives. Cette intégration constitue un prérequis à l'automatisation intelligente des processus logistiques. Le second levier porte sur le développement des compétences humaines, à travers des programmes ciblés de formation et de montée en compétence dans les domaines de l'intelligence artificielle, de l'analyse de données et du cyber sécurité. Sans cet accompagnement humain, les technologies déployées ne peuvent produire que des effets limités sur la performance. Un troisième levier réside dans le renforcement de la gouvernance numérique, fondée sur une coordination accrue entre autorités portuaires, opérateurs privés et administrations publiques. Cette gouvernance conditionne l'efficacité des Port Community Systems et la confiance entre les acteurs. Enfin, la transition écologique intelligente constitue un levier stratégique, notamment par l'intégration de solutions numériques dédiées à l'optimisation énergétique, à la réduction des émissions et à la gestion durable des infrastructures portuaires.

8.3. Effets attendus sur la performance portuaire

La mobilisation coordonnée de ces leviers permettrait de générer des effets positifs mesurables sur la performance portuaire. Sur le plan opérationnel, l'automatisation et l'optimisation fondée sur l'IA contribueraient à la réduction des délais, à l'amélioration de la fluidité des flux et à une meilleure fiabilité des opérations. Sur le plan économique, ces transformations favoriseraient une réduction des coûts logistiques et un renforcement de la compétitivité des ports marocains. Sur le plan environnemental et organisationnel, l'intégration de solutions intelligentes

soutiendrait une performance plus durable, une meilleure résilience face aux perturbations et une attractivité accrue des ports auprès des partenaires internationaux.

8.4. Perspectives à l'horizon 2030

À l'horizon 2030, les ports marocains disposent d'un potentiel réel d'évolution vers des modèles de Smart Ports, à condition que la digitalisation technologique soit accompagnée d'une transformation organisationnelle et humaine cohérente. Tanger Med apparaît comme un modèle avancé, tandis que Casablanca et Agadir représentent des terrains prioritaires de montée en maturité digitale. Dans cette perspective, la performance portuaire ne dépendra plus uniquement du niveau d'équipement technologique, mais de la capacité du système portuaire à transformer l'intelligence artificielle et les données en décisions opérationnelles, durables et créatrices de valeur. Ces perspectives rejoignent les analyses récentes consacrées aux Smart Ports dans les pays en développement, lesquelles montrent que la digitalisation portuaire constitue un levier structurant d'amélioration de la performance, à condition d'être accompagnée par des investissements en capital humain et des cadres de gouvernance adaptés (Munim & Haralambides, 2023 ; World Bank, 2024).

Conclusion

Cette recherche avait pour objectif d'analyser les apports de la digitalisation et de l'intelligence artificielle à la performance portuaire, en mettant l'accent sur le contexte marocain. À travers une revue approfondie de la littérature et l'analyse des expériences de Tanger Med, Casablanca et Agadir, l'étude a permis de mieux comprendre les transformations en cours dans les ports et leur impact sur la gestion logistique, organisationnelle et environnementale. Les résultats montrent que la performance portuaire ne se limite plus aux indicateurs opérationnels traditionnels, tels que la productivité ou les délais de passage. Elle s'appuie désormais sur une approche globale intégrant l'interconnexion des systèmes d'information, l'exploitation du Big Data, l'automatisation des opérations et la coordination entre les acteurs de la communauté portuaire. L'exemple de Tanger Med montre une intégration avancée du modèle Smart Port, tandis que Casablanca et Agadir se situent à des stades intermédiaires, marqués par des contraintes liées à l'interopérabilité des systèmes, aux compétences humaines et à la gouvernance. Sur le plan théorique, cette étude contribue à la littérature en proposant une lecture intégrée de la performance portuaire à l'ère de l'intelligence artificielle, adaptée au contexte des pays émergents. Sur le plan managérial, elle prend en compte l'importance d'une stratégie globale combinant investissements technologiques, formation continue des ressources humaines, renforcement de la cybersécurité et prise en compte des enjeux environnementaux. Toutefois, cette recherche présente certaines limites, liées principalement à son caractère qualitatif et à l'utilisation de données secondaires. Des travaux futurs pourraient s'appuyer sur des analyses quantitatives, des enquêtes de terrain ou des comparaisons internationales afin de mesurer plus précisément l'impact de l'intelligence artificielle sur la performance portuaire. Ces perspectives permettraient d'accompagner plus efficacement la transition des ports marocains vers des Smart Ports durables, résilients et compétitifs dans un environnement logistique mondial en constante évolution.

BIBLIOGRAPHIE

1. Acciaro, M., & Ghiara, H. (2020). Smart ports and digital transformation in maritime logistics. *Maritime Economics & Logistics*.
2. Acciaro, M., Ferrari, C., & Tei, A. (2020). Big data and smart ports: New perspectives in port management. *Journal of Maritime Affairs*.
3. Acciaro, M., Ghiara, H., & Cusano, M. I. (2021). Digitalization and sustainability in seaports: Emerging trends and challenges. *Transportation Research Procedia*, 54, 285–292.
4. Agence Nationale des Ports (ANP). (2021). *Rapport d'activités portuaires*. Rabat : ANP.
5. Baudelaire, M. (1979). *Définition du port*. Paris : Éditions Techniques.
6. Bauchet, P. (1991). *Définition du port*. Paris : Presses Universitaires de France.
7. Benabid, A. (2021). *Smart port: Design and perspectives*. Casablanca : Éditions Universitaires Marocaines.
8. Benghalia, L. (2015). *Modélisation et évaluation de la performance des terminaux portuaires* (Thèse de doctorat). Université de Béjaïa.
9. Benkhedda, K. (2022). *La performance logistique portuaire : Étude exploratoire sur le cas du port de Casablanca* (Mémoire de master). Université Mohammed Premier d'Oujda.
10. Benkhedda, K., El Hakmi, S., & Bennaceur, A. (2023). Les déterminants de la performance logistique portuaire : Cas du port de Casablanca. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, 4(1–2), 81–100.
11. Bouzida, M. (2022). *Systèmes d'information logistiques et performance* (Thèse de doctorat). Université d'Oran.
12. Dubreuil, J. (2007). *La logistique portuaire : Enjeux et perspectives*. Paris : Éditions Techniques de l'Ingénieur.
13. Fouguig, H. (2025). La contribution de la transformation digitale à la performance des ports marocains. *Revue RERLED*.
14. Hamri, M. H., & Jouad, S. (2020). *Études sur la modernisation du port d'Agadir*. Agadir: Université Ibn Zohr.

15. Heilig, L., Schwarze, S., & Voß, S. (2021). Digital transformation in maritime ports: Analysis and a game theoretic framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, 102–134.
16. International Maritime Organization (IMO). (2023). *Digitalization in ports and shipping*. Londres : IMO. <https://www.imo.org>
17. Jouad, S., & Hamri, M. H. (2020). Intégration de la chaîne du transit portuaire : Acteurs de la communauté portuaire. *Revue RERLED*, 111–115.
18. Kim, M., & Sachish, A. (1986). Productivity analysis in seaports. *Transportation Research Part A*, 20(6), 373–385.
19. Lam, J. S. L., & Notteboom, T. (2022). A strategic perspective on smart ports. *Maritime Policy & Management*, 49(4), 563–580.
20. Munim, Z. H., & Haralambides, H. (2023). Port performance and digitalization: A review and future research directions. *Maritime Economics & Logistics*, 25(2), 185–208.
21. Ministère de l'Équipement et du Transport. (2011). *La stratégie portuaire nationale à l'horizon 2030*. Rabat : Royaume du Maroc.
22. Ministère de l'Équipement et de l'Eau. (2023). *Rapport sur le secteur portuaire marocain*. Rabat : Direction des Ports et du Domaine Public Maritime.
23. Mouhsine, Y. (2023). *La contribution des TIC et du Big Data dans la logistique smart au Maroc*. Casablanca : Université Hassan II.
24. Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2012). *Port economics, management and policy*. London: Routledge.
25. Port de Tanger Med. (2023). *Présentation et projets stratégiques*. <https://www.tmpa.ma>
26. Raji, A., & Lemtaoui, M. (2022). Étude exploratoire sur le modèle de la performance portuaire. *Revue RERLED*, 153–170.
27. Serghini, M. (2022). Résilience et agilité de la supply chain logistique portuaire : Cas du port d'Agadir. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, 3(2), 303–321.
28. Serroukh, K., & El Khazzar, A. (2023). Transformation digitale et performance portuaire au Maroc. *Revue Marocaine de Gestion et Logistique*, 4(1), 85–102.

29. Serroukh, K., & El Khazzar, A. (2024). Intelligence artificielle et perspectives de modernisation du port d'Agadir. *Revue Marocaine de Management et Technologies*, 5(2), 122–137.
30. Slack, B., & Frémont, A. (2005). *Transformation des ports et logistique mondiale*. Paris : L'Harmattan.
31. Talkhokhet, D., & Moutmihi, M. (2021). Revue de littérature sur la performance de la chaîne logistique portuaire. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, 2(1), 396–414.
32. UNCTAD. (2021). *Digitalization and port community systems*. Genève : Nations Unies.
33. UNCTAD. (2022). *Review of maritime transport 2022*. Genève : Nations Unies. <https://unctad.org>.
34. UNCTAD (2023). United Nations Conference on Trade and Development. *Port Performance Scorecard 2023*. Geneva: United Nations.
35. UNCTAD (2024). United Nations Conference on Trade and Development. *Review of Maritime Transport 2024*. Geneva: United Nations.
36. Vigarié, A. (1979). *Définition du port*. Paris : Presses Universitaires de France.
37. World Bank. (2020). *Port community systems: Enhancing collaboration*. Washington, DC : World Bank.
38. World Bank. (2021). *Smart ports and sustainable development*. Washington, DC : World Bank.
39. World Bank (2022). World Bank. *Port Reform Toolkit: Module on Digital Ports*. Washington, DC : World Bank Group.
40. World Bank (2024). World Bank. *Smart Ports and Logistics in Developing Countries*. Washington, DC : World Bank Group.