

Digitalisation portuaire et création de valeur logistique : Identification des dimensions par analyse factorielle exploratoire

Port Digitalization and Logistics Value Creation: An Exploratory Factor Analysis of Logistics Performance Determinants

Soukaina JOUAD

ENCG Dakhla, Université Ibn Zohr, Agadir Maroc.

Mohamed Charif EL HARRANE

EMAA Business School, Agadir, Maroc.

Nada RHERIB

EMAA Business School, Agadir, Maroc.

Résumé. À l'heure actuelle, la digitalisation des systèmes portuaires apparaît comme un levier stratégique visant à optimiser l'efficacité logistique et à rehausser le degré de compétitivité des chaînes logistiques maritimes. La présente recherche souhaite dégager les dimensions clés permettant de relier digitalisation portuaire et création de valeur logistique. Pour ce faire, une enquête quantitative a été réalisée auprès des acteurs mobilisés dans les activités logistiques portuaires. Au total, 187 réponses exploitables ont été recueillies auprès de professionnels de sociétés logistiques, des structures des autorités portuaires, des entreprises de transit, et des fonctions de gestion de la supply chain. Les données ont été traitées à partir d'une analyse factorielle exploratoire selon la méthode de factorisation en axes principaux avec rotation Varimax. Les résultats obtenus montrent que quatre dimensions principales structurent la digitalisation portuaire et la création de valeur logistique : l'intégration informationnelle et la coordination logistique, la digitalisation des opérations portuaires, la performance logistique portuaire, la création de valeur logistique.

Mots-clés : *Digitalisation portuaire ; Performance logistique ; Intégration informationnelle ; Création de valeur logistique ; Logistique maritime ; Analyse factorielle exploratoire.*

Abstract. Digital technology is altering how ports work today leading to more efficient logistics and an increased competitive advantage for maritime supply chains. This paper is devoted to exploring the various ways that the digital transformation of the port sector creates value in logistics. A quantitative survey of participants in port-related logistics activities was conducted. In total, 187 valid responses were obtained from individuals employed in logistics companies, port authorities, freight forwarders, and supply chain management. The data were analyzed using an exploratory factor analysis involving principal axis factoring and Varimax rotation. The factor analysis yielded evidence for four broad dimensions that make up the relationship between digitalization of ports and logistics value creation: (1) information integration & logistics coordination, (2) digitalization of port operations, (3) port logistics performance, and (4) value creation in logistics. The results indicate the critical role that digitalization has played in facilitating greater information sharing, improving operational efficiency, and enhancing the overall performance of port-based logistics systems. This research will add to the body of research on the digital transformation of logistics in the maritime industry by providing an empirical classification of the dimensions that relate to the digitalization of ports and providing some insights into the practicality of using digital technologies to enhance the logistics performance of port operations and the businesses that utilize them.

Keywords: *Port digitalization; Logistics performance; Information integration; Logistics value creation; Maritime logistics; Exploratory factor analysis.*

1. Introduction

La transformation digitale se positionne alors comme un levier stratégique incontournable pour aller vers de meilleures performances des chaînes logistiques mondiales. Dans le secteur maritime, la numérisation des ports transforme les processus opérationnels affectant les modes de coordination entre acteurs de la logistique et la création de valeur dans les chaînes d'approvisionnement. Les technologies comme les Port Community Systems, l'Internet des objets, l'automatisation des terminaux ou les plateformes de données logistiques permettent d'améliorer la fluidité des opérations portuaires et la visibilité sur les flux logistiques (Heilig & Voß, 2017).

Les ports, dans ce contexte, deviennent des plateformes logistiques intégrées et non plus seulement des infrastructures de transit, créatrices de valeur pour les entreprises, les territoires, les chaînes d'approvisionnement à l'échelle internationale. La littérature montre que la numérisation permet d'atteindre un meilleur degré de performance opérationnelle, de diminuer le traitement des flux de marchandises et de renforcer les interactions entre les acteurs logistiques en présence (Notteboom & Rodrigue, 2005).

Pourtant, malgré le développement continu de la transformation numérique des systèmes portuaires, les dimensions qui structurent la digitalisation portuaire et son rôle en termes de création de valeur logistique est une voie encore peu diffusée empiriquement. De nombreux travaux soulignent la nécessité de cerner les facteurs organisationnels et technologiques structurant la digitalisation des ports et leurs impacts sur la performance logistique (Lam & Zhang, 2019).

L'originalité de la recherche consiste à vouloir aller au-delà d'une lecture uniquement descriptive de la transformation digitale des ports pour proposer une structuration empirique des dimensions articulant la digitalisation portuaire et la création de valeur logistique. Or, si la littérature insiste bien sur les bénéfices attendus de la digitalisation, en termes d'efficacité opérationnelle, peu de travaux tentent d'identifier dans une démarche empirique les dimensions latentes faisant le lien entre digitalisation des opérations, intégration informationnelle, performance logistique et création de valeur.

Dans cette perspective, cette recherche vise à inscrire le concept de digitalisation portuaire et celui de création de valeur logistique à partir d'une analyse empirique tout en identifiant leurs dimensions latentes. Plus précisément, elle se propose d'explorer la structure factorielle des variables en lien avec la digitalisation portuaire et la performance logistique au travers d'une analyse factorielle exploratoire (AFE). La méthode d'AFE est particulièrement adaptée lorsque la structure des dimensions du phénomène est peu ou pas définie car elle permet d'identifier les facteurs latents expliquant les relations entre les variables observées tout en réduisant un grand nombre d'indicateurs en un ensemble mobilisation d'une série cohérente de dimensions théoriques (Hair et al. 2019).

L'analyse factorielle exploratoire prend toute sa pertinence en tant que méthode statistique lorsque la structure sous-jacente des dimensions du phénomène n'apparaît pas encore clairement identifiée. D'une part, elle permet d'identifier les facteurs sous-jacents qui expliquent les corrélations observées entre les variables et d'autre part, elle permet de réduire le nombre d'indicateurs à un ensemble de dimensions conceptuelles moins nombreuses tout en cohérentes (Hair et al., 2019).

Partant de là, la question centrale de cette recherche est exprimée comme suit : *Quelles sont les principales dimensions qui structurent la digitalisation et la création de valeur logistique au sein des systèmes portuaires ?*

Pour répondre à cette question, une enquête quantitative a été réalisée à l'égard des acteurs du secteur logistique et portuaire sollicités et les données collectées ont été analysées par une analyse factorielle exploratoire servant à dégager les dimensions principales de la digitalisation portuaire et de la performance logistique.

D'un point de vue scientifique, ce travail participe à la littérature relative à la digitalisation des systèmes portuaires en contribuant à trois niveaux. Premièrement, il traite de l'opérationnalisation empirique de la digitalisation portuaire par le biais de dimensions organisationnelle et logistique. Deuxièmement, il précise le rôle fondamental de l'intégration informationnelle et de la coordination logistique dans la construction de la performance portuaire. Troisièmement, pallier les lacunes dans les travaux portant sur la question de la création de valeur logistique consiste à affirmer que celle-ci n'est pas seulement un résultat final, mais qu'elle est aussi une dimension structurée par les mécanismes de digitalisation et de performance que l'on observe au sein des systèmes portuaires.

La structure du reste de l'article est la suivante. Au sein de la première partie, seront abordés le cadre théorique et conceptuel de la recherche, centrés sur la digitalisation portuaire, l'intégration informationnelle, la performance logistique portuaire et la création de valeur logistique. Dans la seconde partie sera présentée la méthodologie retenue ainsi que les particularités de l'échantillon. La troisième partie présentera, quant à elle, les résultats de l'analyse factorielle exploratoire. Enfin, la dernière partie discutera les résultats, mettra en avant les implications théoriques et managériales de la recherche, ainsi que ses limites et les perspectives de recherche.

2. Cadre théorique et conceptuel

a. Digitalisation portuaire

Le port maritime, nouvel enjeu géoéconomique stratégique, constitue aujourd'hui l'un des espaces privilégiés de croissance, notamment grâce à la digitalisation. L'intégration des technologies numériques dans les infrastructures et opérations portuaires a pour but d'accroître l'efficacité, la transparence et la coordination des flux logistiques. Cette transformation doit être envisagée au regard d'un mouvement plus large, structurant la digitalisation des chaînes logistiques et maritimes mondiales, comme de l'émergence des ports intelligents (Heilig et Schwarze, 2017).

Ce tournant ne recouvre pas seulement la fluidité interne de l'information et l'automatisation des activités, mais il s'inscrit dans une reconfiguration plus globale des fonctions portuaires qui appelle les autorités portuaires à redéfinir leur rôle stratégique face aux enjeux d'innovation, d'efficacité et de durabilité (Acciaro et al., 2014).

Les dispositifs de digitalisation portuaire recouvrent des systèmes d'information portuaires, des plateformes d'échange multimédia d'information, des outils de traçabilité ou encore des systèmes d'automatisation. Ces outils technologiques rendent possible l'écoulement de l'information entre les acteurs de la chaîne logistique facilitant ainsi la coordination des opérations portuaires. Comme le rapportent Heilig et al. (2017), le recours aux technologies numériques dans les systèmes portuaires contribue à la visibilité des flux logistiques, et donc à l'optimisation du fonctionnement portuaire.

Dans ce cadre, les études sur les smart ports insistent sur le fait que la digitalisation portuaire ne se réduit pas à la mise en place de dispositifs numériques en silo, mais renvoie à un système

global articulant interconnexion, automatisation, gestion des données et pilotage intelligent des infrastructures (Molavi et al., 2020).

Dans ce contexte, on parle ici des « Port Community Systems » (PCS) qui constituent des outils essentiels dans le processus de digitalisation du port en favorisant la mise en relation des différents acteurs de la chaîne logistique portuaire (les autorités portuaires, les opérateurs de terminaux, les transitaires, les transporteurs et, au besoin, les administrations) par la diffusion instantanée de l'information pour la coordination des opérations logistiques (Notteboom & Rodrigue, 2005).

La digitalisation du port au travers des PCS est par ailleurs souvent considérée comme un des leviers d'amélioration de la performance logistique du port (Heilig & Voß, 2017 ; Tijan et al., 2021). Les outils numériques offrant la possibilité d'automatiser les tâches administratives et opérationnelles allègent les délais de traitements, augmentent la fiabilité des opérations et optimisent la gestion des flux de marchandises (Tijan et al., 2021).

b. Intégration informationnelle dans les chaînes logistiques portuaires

Pour ce qui est de l'intégration informationnelle, elle joue un rôle majeur dans le fonctionnement des chaînes logistiques modernes. On entend par intégration informationnelle la capacité des organisations à échanger les informations nécessaires à la gestion des flux logistiques entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Dans le cas des systèmes portuaires, cette intégration repose sur les systèmes d'information logistiques et les plateformes numériques réalisées pour l'échange de données en temps réel (Lambert & Cooper, 2000 ; Christopher, 2016). Ils soulignent aussi que l'intégration des processus logistiques entre les organisations est un facteur d'efficacité et de performance des chaînes d'approvisionnement.

La digitalisation facilite ainsi l'émergence de chaînes logistiques intégrées et collaboratives où les acteurs ont accès aux informations relatives aux flux de marchandises, aux délais de livraison comme à l'état d'avancement des opérations logistiques. Cette circulation continue de l'information est de nature à mieux coordonner les opérations logistiques et à réduire les incertitudes quant à la gestion des flux (Christopher, 2016).

Parallèlement, plusieurs travaux soulignent le caractère déterminant de l'intégration informationnelle dans l'amélioration de la performance des systèmes logistiques portuaires. Les technologies numériques participent à une meilleure coordination entre les divers acteurs, ce qui, en optimisant la planification des opérations, contribue à réduire le coût logistique (Notteboom & Rodrigue, 2005).

c. Performance logistique portuaire

La performance logistique est un critère d'évaluation clé de la compétitivité des ports dans les chaînes logistiques internationales lui-même considéré comme un indicateur de la capacité de l'ensemble du système portuaire à gérer efficacement des flux de marchandises tout en garantissant un niveau de fiabilité, une qualité de service et une rapidité d'acheminement des commandes élevée.

La performance logistique selon Christopher (2016) repose sur plusieurs dimensions qui sont autant de critères de performance : la rapidité des opérations, la fiabilité de la qualité du service logistique, la flexibilité des systèmes logistiques et la capacité à répondre aux besoins des clients.

Concernant le port, la performance logistique dépend de la capacité des infrastructures à accueillir les marchandises et à coordonner les acteurs de la chaîne logistique. En particulier, les ports qui réussissent à intégrer les opérations logistiques de transport, de stockage et de

manutention des marchandises, pour ainsi optimiser la circulation de tous les flux logistiques sont les plus performants (Notteboom & Rodrigue 2005).

De plus, la digitalisation des systèmes portuaires joue un rôle important dans cette performance, notamment en facilitant l'accès à l'information ou en automatisant certains processus logistiques, permettant ainsi une efficacité opérationnelle et une gestion des flux de marchandises plus efficaces (Notteboom & Rodrigue, 2005 ; Parola et al., 2017).

La numérisation des ports semble avoir un impact positif sur la performance logistique et maritime, en agissant sur la qualité du service, le temps pris pour les opérations ou la coordination inter-organisationnelle (Yang et al. 2019), comme le confirmant plusieurs études empiriques.

d. Création de valeur logistique

La création de valeur logistique désigne la capacité des systèmes logistiques à dégager de la valeur pour les entreprises et les partenaires d'une chaîne d'approvisionnement, tant sur le plan économique qu'opérationnel. On en trouvera des manifestations sur différents tableaux, comme la réduction des coûts logistiques, l'augmentation de la valeur des produits/service, le développement de la qualité des services, l'optimisation des délais de livraison.

Christopher (2016) positionne la logistique comme l'une des fonctions stratégiques de l'entreprise, notamment parce qu'elle permet d'accroître l'efficacité opérationnelle et l'analyse de la satisfaction client. La gestion optimale des flux logistiques contribue ainsi à positionner les entreprises sur le champ concurrentiel des marchés mondiaux.

La construction de valeur logistique dans le contexte portuaire repose avant tout sur la capacité des ports à offrir des services logistiques et à intégrer les différents acteurs de la chaîne logistique. Les ports qui contribuent à améliorer la fluidité des flux logistiques et la qualité des services sont ceux qui attirent le plus de entreprises et d'opérateurs logistiques (Christopher, 2016 ; Tijan et al., 2021).

La digitalisation des ports constitue ainsi un axe essentiel de la construction de valeur logistique, en générant une amélioration de la coordination opérationnelle, une optimisation de la gestion des flux et une compétitivité accrue des systèmes portuaires (Tijan et al., 2021).

e. Lecture critique de la littérature et positionnement de la recherche

Bien que la littérature ait considérablement augmenté ces dernières années autour de la transformation digitale des ports, il apparaît que celle-ci demeure encore moins développée en trois aspects au moins. D'une part, plusieurs travaux mobilisent la dimension technologique de la digitalisation portuaire autour d'outils tels que les Port Community Systems, la robotisation ou encore les plateformes numériques, tout en demeurant souvent flous vis-à-vis de l'organisationnel, des mécanismes logiques nombreuses involontaires qui relèguent souvent cette question à un accompagnement en management des projets de digitalisation portuaire. D'autre part, une grande partie des travaux abordent la digitalisation informationnelle, la performance logistique ou la création de valeur indépendamment, sans envisager une lecture articulée de ces différentes dimensions au sein d'un même cadre. Enfin, les démarches empiriques restent encore relativement conjoncturellement louables au vu des niveaux de réflexivité qui pourraient être mis en œuvre à propos même des processus d'appropriation de l'objet par les acteurs de leurs perceptions sensorielles.

Dans cette optique, la présente recherche se situe à cet endroit encore peu stabilisé en offrant une première lecture intégrative de la digitalisation portuaire qui vise à distinguer non seulement les effets attendus des transformations numériques sur les ports, mais aussi à

identifier empiriquement les dimensions à partir desquelles se construit ce phénomène. La recherche vise également à comprendre comment ces dimensions interagissent autour des thèmes de la performance portuaire et de la création de valeur logistique.

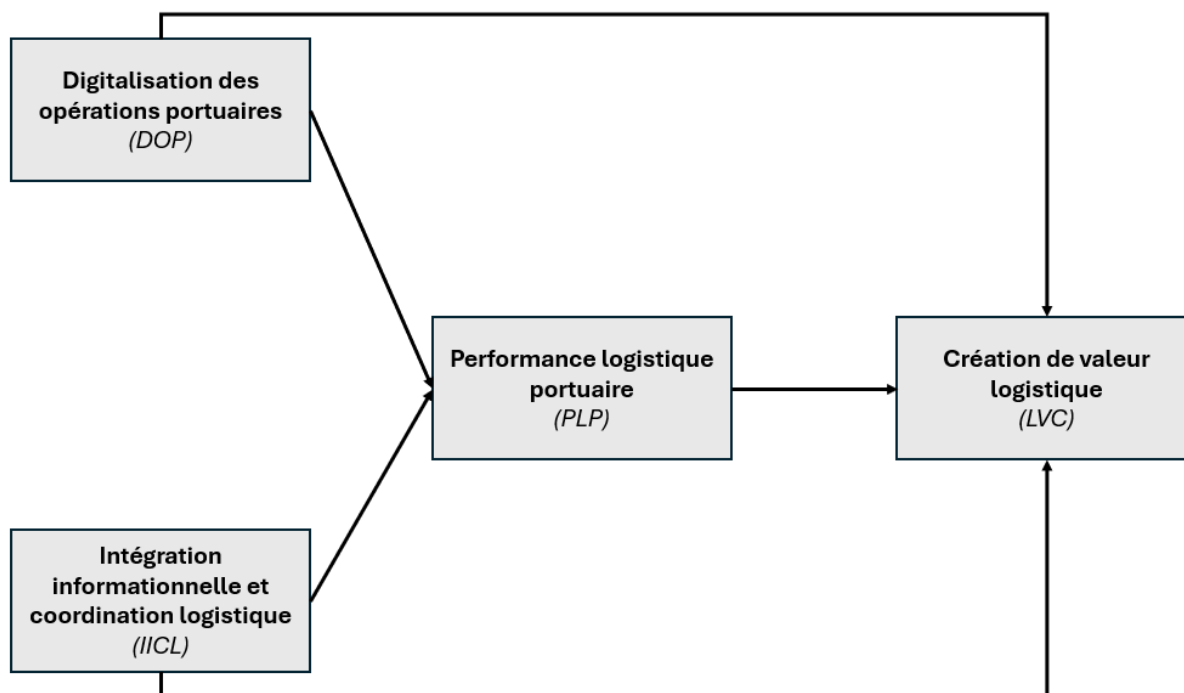
f. Modèle conceptuel de la recherche

En se fondant sur la littérature existante, ce travail de recherche a proposé un modèle conceptuel destinés à analyser la contribution de la digitalisation portuaire à la création de valeur logistique.

Ce modèle repose sur quatre dimensions :

- Digitalisation des opérations portuaires
- Intégration informationnelle et coordination logistique
- Performance logistique portuaire
- Création de valeur logistique

Figure 1 : Modèle conceptuel



Source : Par les auteurs, adapté de Heilig, Schwarze et Voß (2017) ; Christopher (2016) ; Notteboom et Rodrigue (2005).

La digitalisation des opérations portuaires et l'intégration informationnelle sont considérées comme des facteurs explicatifs de l'amélioration de la performance logistique des systèmes portuaires qui contribue à la création de valeur logistique pour les acteurs de la chaîne logistique.

En effet, la digitalisation portuaire représente un levier stratégique pour améliorer la compétitivité des ports et le rôle qu'ils jouent dans les chaînes logistiques internationales.

g. Formulation des hypothèses de recherche

En s'appuyant sur la littérature mobilisée, plusieurs relations conceptuelles peuvent être instrumentées entre les dimensions du modèle. On fera d'une part l'hypothèse que la digitalisation des opérations portuaires pourra valablement contribuer à accroître la performance logistique par les effets d'automatisation, de fluidité des opérations et d'accès à

l'information qu'elle pourrait générer. D'autre part, on peut considérer comme des leviers fondamentaux la dimension informationnelle intégrative et la traçabilité logistique créatrice d'un facteur de synchronisation au sein du circuit de flux. Enfin, la performance logistique obtenue pourra ou non renforcer la valeur logistique pour les acteurs du port et leurs partenaires.

H1 : La digitalisation des opérations portuaires influence positivement la performance logistique portuaire.

H2 : L'intégration informationnelle et la coordination logistique influencent positivement la performance logistique portuaire.

H3 : La performance logistique portuaire influence positivement la création de valeur logistique.

H4 : La digitalisation des opérations portuaires influence positivement la création de valeur logistique.

H5 : L'intégration informationnelle et la coordination logistique influencent positivement la création de valeur logistique.

3. Méthodologie de la recherche

a. Collecte des données et description de l'échantillon

Dans le but d'appréhender l'impact de la digitalisation portuaire sur la valeur logistique, une étude de nature quantitative a été conduite auprès de tous les acteurs aux différents niveaux de la chaîne logistique portuaire. Les données ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire structuré administré auprès des professionnels des entreprises logistiques, des autorités portuaires, des transitaires, des manutentionnaires et des exportateurs. Ce type d'étude quantitative est largement usité dans le cadre des recherches en management logistique pour mesurer les perceptions des acteurs et mettre au jour les dimensions structurantes de phénomènes organisationnels complexes (Christopher, 2016).

Le nombre final de répondants est de 187, ce qui constitue une taille d'échantillon appropriée pour l'analyse d'un facteur exploratoire. En effet, en matière d'analyse multivariée, Hair et al. (2019) soulignent qu'un échantillon de plus de 150 observations permet d'obtenir généralement des résultats statistiquement robustes.

Les répondants se répartissent sur des fonctions variées de la chaîne logistique portuaire (responsables logistiques, responsables d'opérations portuaires, transitaires, responsables supply chain, cadres administratifs concernés par la gestion des flux portuaires), la diversité des profils interrogés contribue à la récolte d'une vision globale du fonctionnement des opérations portuaires et à une compréhension des effets de la digitalisation dans la performance logistique. Au point de vue de l'expérience professionnelle, la plupart des répondants ont une expérience significative dans le domaine logistique, ce qui contribue à la crédibilité des réponses collectées. De plus, les participants sont issus de différents types d'organisations (entreprises privées, autorités portuaires, prestataires logistiques), ce qui permet de croiser plusieurs combinaisons de points de vue dans l'analyse.

b. Instrument de mesure

Le questionnaire qui a servi à la présente recherche est composé de 28 items, organisés en quatre dimensions théoriques mises en évidence par la littérature :

- Digitalisation des opérations portuaires (DOP)
- Intégration informationnelle et coordination logistique (IICL)

- Performance logistique portuaire (PLP)
- Création de valeur logistique (CVL)

Les items du questionnaire ont été adaptés à partir des travaux antérieurs portant sur la digitalisation des ports, la performance logistique et la création de valeur logistique au sein des chaînes logistiques. La digitalisation portuaire a trait, entre autres, au recours à des technologies numériques, à des systèmes d'information intégrés et à des plateformes d'échange d'information contribuant à améliorer les pratiques de gestion des flux logistiques (Heilig et al., 2017).

Les répondants devaient indiquer leur accord à chaque proposition au moyen d'une échelle de Likert à 5 points, allant de 1 (« pas du tout d'accord ») à 5 (« tout à fait d'accord »), les échelles de ce type étant couramment mises en œuvre dans les recherches en management pour évaluer les perceptions et attitudes des acteurs vis-à-vis des phénomènes organisationnels (Hair et al., 2019).

c. Méthode d'analyse des données

Les informations obtenues ont été soumises à une analyse de la régression effectuée avec le logiciel IBM SPSS Statistics, très largement utilisé dans les recherches quantitatives en sciences de gestion pour le traitement statistique des données d'enquête. Dans un premier temps, une analyse factorielle exploratoire (AFE) a été mise en place pour permettre l'identification de la structure sous-jacente des variables observées et surtout des dimensions latentes relatives à la digitalisation portuaire et à la création de valeur logistique, qui sont les variables qui nous intéressent.

L'analyse factorielle exploratoire est une approche statique multivariée de réduction d'un grand nombre de variables observées en quelques facteurs d'un petit nombre de facteurs en théorie, l'analyse factorielle exploratoire est usuellement mise en œuvre tout particulièrement pour explorer ou valider empiriquement la structure factorielle d'un instrument de mesure (Fabrigar & Wegener, 2012). Pour s'intéresser au management ou à la logistique, elle va au-delà de l'exploration de la structure d'un instrument de mesure donné, mais elle va chercher à identifier les dimensions latentes d'un phénomène organisationnel à partir des perceptions des répondants (Hair et al., 2019).

Avant de procéder à la mise en œuvre de l'analyse factorielle, la qualité de la matrice de corrélation a tout d'abord été contrôlée au moyen de deux tests statistiques : l'indice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) et le test de sphéricité de Bartlett. L'indice KMO est un indicateur qui permet de s'assurer de l'adéquation de l'échantillon à l'analyse factorielle en mesurant le degré de corrélation des variables d'un ensemble. Une valeur supérieure à 0,6 est généralement considérée comme acceptable, alors qu'une valeur supérieure à 0,8 marque une très bonne qualité d'échantillonnage (Kaiser, 1974). Quant au test de Bartlett, il va simplement vérifier si la matrice de corrélation est significativement différente d'une matrice identité, ce qui indique que les variables sont suffisamment corrélées pour justifier la mise en œuvre d'une analyse factorielle.

Pour l'extraction des facteurs, la méthode de l'axe principal (Principal Axis Factoring) était un choix pertinent, car elle est particulièrement adaptée lorsque la recherche vise à identifier les facteurs latents expliquant les corrélations entre les variables observées et non simplement à réduire les données. Contrairement à l'factorisation en axes principaux, qui se concentre sur les variances, la factorisation en axes principaux se concentre sur la variance partagée des variables, ce qui la rend plus appropriée pour analyser les construits théoriques en sciences sociales (Fabrigar & Wegener, 2012).

Pour faciliter l'interprétation des facteurs extraits, une rotation orthogonale Varimax avec normalisation de Kaiser a été appliquée. La rotation Varimax est l'une des plus employées dans les analyses factorielles car elle permet de maximiser la variance des saturations factorielles au sein de chaque facteur, aboutissant à une structure factorielle plus claire et mieux interprétable (Hair et al. 2019). Plus concrètement, elle permet de faire émerger des facteurs pour lesquels les variables sont fortement chargées sur un unique facteur et faiblement chargées sur les autres, favorisant ainsi l'identification des dimensions conceptuelles qui les sous-tendent.

4. Résultats

a. Vérification de l'adéquation de l'échantillon

Avant d'accomplir l'analyse factorielle exploratoire, il convient de vérifier la pertinence de la matrice de corrélation pour ne pas compromettre l'opportunité d'effectuer telle analyse. Deux indicateurs statistiques sont généralement mis à profit : l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) et le test de sphéricité de Bartlett.

L'indice KMO évalue les degrés d'intercorrélations entre variables, en se fondant sur l'idée que la pertinence de l'analyse factorielle peut être établie à partir du critère que Kaiser (1974) résume ainsi : $KMO > 0,60$ est conforme au moins à la référence, $KMO > 0,80$ a « une très bonne qualité de l'échantillonnage » ; tandis que le test de Bartlett vise à s'assurer que la matrice de corrélations ne diffère pas d'une matrice identité. Une valeur significative ($p < 0,05$) indique des corrélations suffisamment élevées entre les variables pour mener à bien une analyse factorielle (Hair et al., 2019).

Tableau 1 : Indice KMO et test de Bartlett

Test	Résultat
Indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	0,854
Test de Bartlett-Khi carré approximatif	2335,495
Degrés de liberté	378
Signification	0,000

Source : par les auteurs, adapté des sorties SPSS

Les résultats qui sont obtenus révèlent un indice KMO de 0,854, ce qui signifie une très bonne qualité d'échantillonnage. Ensuite, on constate que le test de Bartlett est significatif ($p < 0,001$), ce qui indique que les corrélations sont suffisantes entre variables. Ces éléments indiquent que les données sont tout à fait appropriées pour une analyse factorielle exploratoire.

b. Qualité de représentation des variables (communalités)

Les communalités permettent d'évaluer la part de variance de chaque variable qui est expliquée par les facteurs extraits. Les valeurs d'extraction permettent d'apprécier la part de variance commune partagée par les variables après extraction factorielle. Selon Hair et al. (2019), les valeurs de communalité supérieures à 0,40 sont considérées comme acceptables dans les analyses factorielles en sciences sociales.

Tableau 2 : Qualités de représentation des variables

Variable	Communalité extraite
DOP1	0,516
DOP2	0,520
DOP3	0,419
DOP4	0,472
DOP5	0,533
DOP6	0,462
DOP7	0,538
IICL1	0,628
IICL2	0,485
IICL3	0,557
IICL4	0,514
IICL5	0,512
IICL6	0,607
IICL7	0,538
PLP1	0,501
PLP2	0,415
PLP3	0,544
PLP4	0,467
PLP5	0,411
PLP6	0,478
PLP7	0,540
CVL1	0,572
CVL2	0,542
CVL3	0,579
CVL4	0,595
CVL5	0,473
CVL6	0,560
CVL7	0,408

Source : par les auteurs, adapté des sorties SPSS

Ici, les résultats montrent que l'ensemble des variables est représenté par des communalités plus grandes que 0,40, ce qui indique une correcte représentation des variables par la solution factorielle. Certaines des variables sont particulièrement bien représentées dans la solution factorielle, comme IICL1 (0,628) ou CVL4 (0,595) qui affichent des niveaux particulièrement élevés de représentation, contribuant de façon forte à la structure factorielle.

c. Détermination du nombre de facteurs

La décision quant à la sélection du nombre de facteurs à conserver repose la plupart du temps sur le critère de Kaiser, qui retient les facteurs dont la valeur propre est supérieure à 1. Ce critère est couramment utilisé dans les contextes d'analyses factorielles exploratoires pour rendre compte des dimensions expliquant un pourcentage significatif de la variance totale (Hair et al., 2019).

Tableau 3 : Variance totale expliquée

Facteur	Valeur propre	% de variance	% cumulée
1	5,124	18,301 %	18,301 %
2	4,168	14,884 %	33,186 %
3	3,733	13,331 %	46,517 %
4	3,287	11,741 %	58,258 %

Source : par les auteurs, adapté des sorties SPSS

On identifie quatre facteurs principaux sur les échelles étudiées, avec des valeurs propres supérieures à 1, qui expliquent 58,26 % de la variance totale. Ce niveau, supérieur à 50%, constitue un seuil acceptable en recherche en sciences de gestion permettant l'interprétation des variables avec un niveau de variance expliquée satisfaisant pour le modèle de recherche.

Ces résultats confirment que les variables explorées s'organisent selon quatre dimensions principales en adéquation avec la structure conceptuelle prévue par le modèle de recherche.

d. Interprétation de la matrice factorielle après rotation

Pour améliorer l'interprétabilité des facteurs extraits, a été apportée la rotation Varimax avec normalisation de Kaiser, solution permettant de maximiser les charges factorielles des variables sur un facteur (et par là même faciliter l'identification des dimensions concevant cognitivement liées l'une à l'autre) (Hair et al., 2019).

Pour les analyses factorielles exploratoires, les variables sont ainsi considérées comme significatives dans la cadre des valeurs des solutions factorielles lorsque leurs charges factorielles sont supérieures à 0,50 (Hair et al., 2019).

Tableau 4 : Matrice des facteurs après rotation

Facteur	Variabes	Charges factorielles
Facteur 1	IICL1	0,788
	IICL6	0,771
	IICL3	0,738
	IICL7	0,728
	IICL5	0,713
	IICL4	0,711
	IICL2	0,685
Facteur 2	CVL4	0,770
	CVL1	0,755
	CVL3	0,751
	CVL6	0,741
	CVL2	0,701
	CVL5	0,670
	CVL7	0,624
Facteur 3	DOP7	0,731
	DOP5	0,725
	DOP2	0,716
	DOP1	0,715
	DOP4	0,671
	DOP6	0,667
	DOP3	0,637
Facteur 4	PLP3	0,734
	PLP7	0,733

	PLP1	0,701
	PLP4	0,681
	PLP6	0,673
	PLP2	0,641
	PLP5	0,640

Source : par les auteurs, adapté des sorties SPSS

La matrice factorielles mise à jour montre une structure claire dans la mesure où les variables se rassemblent autour de quatre facteurs. Le premier facteur est celui de l'intégration informationnelle et de la coordination logistique, le deuxième facteur est celui de la création de la valeur logistique, le troisième facteur est celui de la digitalisation des opérations portuaires, et le quatrième facteur est celui de la performance logistique portuaire.

e. Identification et interprétation des dimensions factorielles

La factorielle exploratoire effectuée à partir des données recueillies révèle quatre dimensions principales qui, ensemble, structurent la digitalisation portuaire et la création de valeur logistique. L'interprétation des facteurs peut alors s'appuyer sur les charges factorielles après rotation Varimax ainsi que sur les représentations théoriques dérivées de la littérature en logistique et en transformation digitale en milieu portuaire.

Les quatre dimensions mises en évidence sont respectivement l'intégration informationnelle et la coordination logistique, la création de valeur logistique, la digitalisation des opérations portuaires et la performance logistique portuaire. Cette structuration empirique est en adéquation avec les travaux existants relatifs à la digitalisation des chaînes logistiques maritimes et ceux sur la transformation des systèmes portuaires vers des modèles de ports intelligents ou « smart ports ».

i. Intégration informationnelle et coordination logistique

Le tout premier facteur regroupe donc l'ensemble des variables qui traduisent la mise en réseau des systèmes d'information en vue de la coordination entre les acteurs de la chaîne logistique portuaire (IICL1 à IICL7). Les charges factorielles, très significatives, assignées à ces variables montrent que le partage d'information et l'interconnectivité des systèmes d'information forment le cœur du processus de digitalisation de l'activité portuaire.

Dans les ports modernes, on peut dire que les plateformes numériques et les systèmes d'information inter organisationnels permettent de mieux distribuer les données entre les divers acteurs de la chaîne logistique portuaire (les autorités portuaires, mais aussi les opérateurs de terminaux, les transitaires et, bien sûr, les transporteurs) et de les « communiquer » avec les autres acteurs de la chaîne logistique. En clair, il s'agit de transformer l'information en une ressource à distribuer à tous les acteurs en multipliant les points d'accès et en réduisant les coûts de circulation (qui sont souvent des coûts d'opportunité, voire des coûts de compétences) des données en temps réel.

De plus, cette intégration informationnelle expressément énoncée contribue à une meilleure coordination des opérations ainsi qu'à des délais de traitement meilleur ainsi qu'à une gestion des flux logistiques améliorée.

Un certain nombre d'études mettent en avant le rôle fondamental des Port Community Systems (PCS) dans l'intégration des informations logistiques et l'amélioration de la coopération entre les différents acteurs portuaires (Heilig, Schwarze, & Voß, 2017). Il s'agit en réalité d'un système informationnel qui centralise les échanges informationnels afin de coordonner au mieux les activités logistiques à l'échelle de l'écosystème portuaire. Dans cette perspective,

l'intégration informationnelle semble être un levier stratégique pour l'amélioration des performances des chaînes logistiques maritimes, permettant ainsi aux ports d'accroître leur compétitivité dans un contexte de mondialisation des échanges.

ii. Création de valeur logistique

Le second facteur fait référence à la dimension de création de valeur logistique, intégrant les variables qui relèvent de l'amélioration de la qualité logistique et de la réduction des coûts, mais aussi de la satisfaction des partenaires logistiques (CVL1 à CVL7). La digitalisation des systèmes logistiques portuaires permet donc aux entreprises, ainsi qu'à l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique d'apporter une importante valeur ajoutée, en ce sens qu'elle contribue à fluidifier le flux d'information, ainsi qu'à coordonner les actions des différents acteurs en réseaux, de manière à améliorer la qualité logistique, et les services proposés à l'ensemble de la clientèle, tout en optimisant l'ancrage logistique dans le territoire et donc son efficacité. D'après Christopher (2016), et encore plus significativement dans les chaînes logistiques conduisant à la création de valeur, le degré d'efficacité opérationnelle et la qualité du service logistique, constituent les vecteurs principaux de l'accroissement de la valeur créée et apporté par la digitalisation du processus logistique influent sur cette notion. La digitalisation des systèmes logistiques portuaires constitue sans conteste un levier majeur permettant d'optimiser le management des flux logistiques es dans l'objectif de renforcer la compétitivité des entreprises logistiques. En effet, d'après des travaux très récents sur la digitalisation des chaînes d'approvisionnement, il apparaît que le développement des technologies numériques préfigure l'émergence de nouveaux modèles de création de valeur logistique, fondés à la fois sur le partage d'information, mais aussi sur la Co-observation inter-organisationnelle ainsi que sur l'intégration et l'harmonisation des processus logistiques (Tijan et al, 2021).

iii. Digitalisation des opérations portuaires

La troisième variable doit se rapporter à la digitalisation des opérations portuaires, c'est-à-dire à l'ensemble des modalités d'utilisation des technologies numériques pour conduire les opérations logistiques portuaires (DOP1 à DOP7).

La transformation digitale des ports suppose notamment le recours à des technologies que sont les systèmes d'information logistiques, les plateformes numériques, l'automatisation ou la dématérialisation. Ces technologies rendent possibles de meilleure traçabilité des flux logistiques, une réduction des erreurs administratives et un traitement plus performant des opérations portuaires.

La digitalisation des infrastructures portuaires s'inscrit dans une dynamique plus large de transformation vers des ports dits intelligents, en tant qu'infrastructures portuaires qui se dotent de technologies numériques de pointe pour optimiser la gestion des flux logistiques et la performance opérationnelle (Heilig et al. 2017). Ces technologies numériques contribuent dans ce cas à un meilleur suivi des opérations logistiques et à une prise de décision plus pertinente des acteurs portuaires.

De plus, de nombreuses études montrent que l'automatisation et la digitalisation des opérations portuaires permettent de réduire les délais de traitement et d'optimiser la consommation des infrastructures logistiques existantes (Notteboom & Rodrigue, 2005).

iv. Performance logistique portuaire

Le quatrième facteur est la performance logistique portuaire, c'est-à-dire les variables qui concernent la capacité de performance (dans le sens d'efficacité) des opérations logistiques, la fiabilité des services logistiques et la qualité de la gestion des flux à travers le port (PLP1 à PLP7). Cette performance logistique est au cœur de la compétitivité des ports dans les chaînes logistiques internationales, il ne faut plus penser le port comme un simple lieu de transit – ce sont des plateformes logistiques intégrées à même d'offrir des services à forte valeur ajoutée. Dans ce sens Notteboom et Rodrigue (2005) précisent que la performance des ports repose sur la manière dont sont intégrées les différentes fonctions logistiques et sur la coordination des actions des intervenants présents dans la chaîne d'approvisionnement. Dans cette perspective il est évident que la digitalisation des opérations portuaires améliore la fiabilité des services logistiques et optimise la gestion des flux de marchandises. S'agit également d'une condition pour améliorer leur attractivité pour les entreprises et les opérateurs logistiques, au bénéfice du développement économique des territoires portuaires.

5. Discussion des résultats

Les résultats de l'analyse factorielle exploratoire mettent en évidence quatre dimensions majeures structurant la digitalisation portuaire et la création de valeur logistique : l'intégration informationnelle et la coordination logistique, la création de valeur logistique, la digitalisation des opérations portuaires et la performance logistique portuaire. Ces résultats empiriques viennent étayer l'importance des technologies numériques pour la transformation des systèmes logistiques portuaires et leur contribution à l'amélioration de la performance logistique.

Tout d'abord, les résultats soulignent le rôle clé de l'intégration informationnelle et de la coordination logistique au sein du fonctionnement de la chaîne logistique portuaire ; les variables de la dimension sont très chargées sur le facteur exploré, marquant ainsi la circulation de l'information et l'interconnexion des systèmes numériques parmi les déterminants majeurs de la digitalisation portuaire. L'importance systématisée des travaux sur l'intégration de la chaîne logistique pointe vers les effets du partage (entre acteurs) de l'information comme facteur facilitant l'efficacité et la performance des chaînes d'approvisionnement (Lambert & Cooper, 2000). Dans les milieux portuaires, l'outil numérique de connexion au monde (plateformes numériques) ou d'intégration des systèmes d'information comporte une double promesse de coordination des activités logistiques (et par conséquent des flux physiques) et d'effacements des dysfonctionnements.

Dans un second temps, la dimension portant sur la digitalisation des opérations portuaires confirme l'affirmation selon laquelle le rôle des technologies numériques dans la transformation des infrastructures portuaires s'accroît. Par les technologies digitales, il est en effet possible d'optimiser la gestion des flux logistiques, d'automatiser certaines opérations administratives ou d'optimiser la gestion des infrastructures portuaires. Ces éléments rejoignent des travaux sur la transformation digitale des ports selon lesquels l'intégration des technologies numériques favorise une meilleure visibilité des opérations logistiques et améliore la performance des systèmes portuaires (Heilig, Schwarze, & Voß, 2017). La digitalisation, dans ce sens, représente un axe structurant dans le développement des ports intelligents, caractérisés par le recours à la numérisation au sein des opérations portuaires.

De plus, les résultats mettent en avant le rôle primordial de la performance logistique portuaire dans la dynamique concurrentielle des systèmes portuaires, dont les variables s'avèrent corrélées à la performance économique dans les domaines de la gestion des flux de marchandises, de la fiabilité du service logistique et de l'efficacité opérationnelle. Effectivement, selon Christopher (2016), la performance logistique est un levier stratégique qui permet d'améliorer la compétitivité tout en contribuant à la qualité des services rendus aux

clients. Ainsi, dans le contexte portuaire, l'amélioration de la performance logistique peut aussi être entendue comme un facteur d'attractivité des ports vis-à-vis d'un ensemble d'entreprises ciblées et de leurs acteurs logistiques.

La pertinence de cette lecture se renforce dans un contexte marqué par les dysfonctionnements croissants des chaînes logistiques globales et par la nécessité de doter les ports d'une résilience et d'une capacité d'adaptation permettant de devenir, d'un point de vue logistique, un acteur compétitif (Notteboom, Pallis, & Rodrigue, 2021).

Les résultats de cette étude mettent également en évidence que la création de valeur logistique constitue un axe fort lié à la digitalisation du système portuaire. Par la meilleure coordination des différentes opérations logistiques et le partage amélioré de l'information, l'adoption des technologies numériques permet de générer une valeur ajoutée pour les acteurs de la chaîne logistique ; cette réalité, en phase avec la Resource-Based View (RBV), c'est-à-dire qu'elles seraient des ressources technologiques et organisationnelles pouvant engendrer des avantages concurrentiels durables pour les organisations (Barney, 1991) en indiquant que cette digitalisation du système portuaire se présente comme une ressource stratégique, de performance logistique et de compétitivité pour les ports dans les chaînes logistiques internationales.

Au-delà de ces résultats empiriques, cette recherche présente aussi plusieurs implications à la fois théoriques et managériales. D'un point de vue théorique, l'étude contribue à la littérature sur la transformation digitale des chaînes logistiques, en proposant une structuration empirique des dimensions de la digitalisation portuaire et de leur produite à la création de valeur logistique. Elle met ainsi en évidence le rôle essentiel de l'intégration informationnelle et de la performance logistique, dans la création de valeur, dans les systèmes portuaires étudiés. Ces résultats viennent enrichir les travaux sur la digitalisation des infrastructures logistiques et des chaînes d'approvisionnement intégrées.

D'un point de vue managérial, les résultats de la recherche soulignent l'importance pour les autorités portuaires et les opérateurs logistiques d'investir dans les infrastructures numériques et les systèmes d'information intégrés pour améliorer la coordination des opérations logistiques. Dans cette logique, la mise en place de plateformes numériques permettant de faciliter l'échange d'informations entre les acteurs portuaires vient s'affirmer comme un levier majeur pour améliorer la performance logistique et la compétitivité des ports. Les décideurs portuaires devront également encourager l'adoption des technologies digitales permettant d'automatiser les processus logistiques et d'optimiser la gestion des flux de marchandises.

De toute évidence, des limites existent dans cette étude qui doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats. Tout d'abord, l'étude repose sur une analyse factorielle exploratoire (AFE) menée sur 187 répondants. Bien que cette taille d'échantillon soit suffisante à la mise en œuvre d'une analyse factorielle, celle-ci pourrait sans aucun doute être enrichie par des échantillons de plus grande taille dans les recherches futures, augmentant ainsi la robustesse des résultats. De plus, l'analyse réalisée ici reste exploratoire et ne permet pas de tester les relations causales.

C'est donc là que se dessinent plusieurs possibilités de recherche future. Il serait ainsi possible, lors de recherches ultérieures, de recourir à des méthodes statistiques confirmatoires, comme l'analyse factorielle confirmatoire ou les modèles d'équations structurelles, afin de tester les relations entre la digitalisation portuaire, la performance logistique et la création de valeur logistique. Élargir également l'analyse à d'autres contextes portuaires permettant de mettre en exergue les effets de la digitalisation dans des environnements logistiques et institutionnels différents.

6. Conclusion

Cette étude avait pour visée de cerner quels étaient les axes structurant la digitalisation d'une part du port et d'en analyser l'apport à la création de la valeur logistique au sein des systèmes portuaires d'autre part. L'instrumentation d'un questionnaire adressé à 187 acteurs de la chaîne logistique portuaire, dont les réponses ont fait l'objet d'un traitement par analyse factorielle exploratoire dévoile 4 axes majeurs : l'intégration informationnelle et la coordination logistique, la digitalisation des processus portuaires, la performance logistique portuaire, la création de la valeur logistique. Elle montre que le processus de digitalisation des infrastructures et des processus portuaires devient un levier incontournable pour optimiser la coordination des activités logistiques pour améliorer la gestion des flux marchandises.

Les résultats qui ont été obtenus confirment le rôle clé joué par l'intégration informationnelle dans la mutation des systèmes logistiques portuaires. En favorisant le partage d'informations entre l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique, les dispositifs numériques permettent d'atteindre des gains de performance logistique et d'offrir une valeur ajoutée aux entreprises. Ces résultats recourent les travaux réalisés sur la transformation digitale des ports qui montrent que le déploiement des technologies numériques permet d'améliorer la visibilité des flux logistiques, de renforcer la coordination des opérations et d'optimiser l'usage des infrastructures portuaires (Heilig, Schwarze, & Voß, 2017). Théoriquement, notre recherche répond à la littérature sur la digitalisation des chaînes logistiques en apportant une structuration empirique des dimensions de la digitalisation portuaire et de leur apport à la création de valeur logistique. D'un point de vue managérial, les résultats apportent une lecture sur l'importance pour les autorités portuaires et les opérateurs logistiques d'influer, en investissant dans les systèmes d'information intégrés et les plateformes numériques, sur leurs performances logistiques, et par extension, sur la compétitivité des ports.

À la lumière de ces contributions, cette recherche porte cependant en son sein certaines limites, ouvrant à des recherches futures. En effet, l'étude repose sur une analyse exploratoire de portée limitée qui concerne un cas particulier, ce qui implique que les résultats présentés ne peuvent pas être généralisés à l'ensemble des systèmes portuaires. Pour aller plus loin dans l'analyse des conséquences de la digitalisation portuaire sur la performance logistique et sur la création de valeur logistique, il serait souhaitable de disposer, pour des recherches futures, de méthodes statistiques confirmatoires, telles que l'analyse factorielle confirmatoire (AFC) ou les modèles d'équations structurelles (SEM). De plus, une approche intéressante pourrait consister à examiner l'impact d'autres technologies émergentes et nouvelles (intelligence artificielle, Internet des objets, blockchain) sur la transformation digitale des ports et sur la transition des chaînes de logistique maritimes.

7. Références

- Acciaro, M., et al. (2014). Energy management in seaports: A new role for port authorities. *Energy Policy*, 71, 4–12.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management*. Pearson.
- Fabrigar, L. R., & Wegener, D. T. (2012). *Exploratory factor analysis*. Oxford University Press.
- Hair, J. F., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2019). *Multivariate data analysis*. Cengage.
- Heilig, L., & Voß, S. (2017). Information systems in seaports. *Information Technology and Management*.

- Heilig, L., Schwarze, S., & Voß, S. (2017). Digital transformation in modern ports. *Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*.
- Lam, J. S. L., & Zhang, W. (2019). Digital transformation in maritime logistics. *Maritime Policy & Management*, 46(4), 1–15
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*.
- Molavi, A., Lim, G. J., & Race, B. (2020). Smart port index framework. *International Journal of Sustainable Transportation*.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J. P. (2005). Port regionalization. *Maritime Policy & Management*.
- Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P. (2021). Disruptions and resilience in global container shipping and ports. *Maritime Economics & Logistics*.
- Parola, F., Ferrari, C., & Tei, A. (2017). Determinants of port competitiveness. *Transport Reviews*.
- Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2021). Digital transformation in maritime transport and logistics. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Yang, Y. C., Tseng, P. H., & Chen, Y. T. (2019). Port digitalization and maritime logistics performance. *Maritime Business Review*.