

LE PORT INTELLIGENT ET LA SOUVERAINETE LOGISTIQUE : VERS UNE NOUVELLE ARCHITECTURE COGNITIVE DU COMMERCE EXTERIEUR.

Dr KERMA Azzeddine

Ecole Nationale Supérieure Maritime de Bou-Ismaïl, Tipaza, Algérie.

Résumé :

Dans un contexte de mutations logistiques mondiales, cet article propose une relecture du management portuaire à travers le prisme des sciences cognitives. En combinant questionnaires et entretiens semi-directifs auprès d'acteurs portuaires, l'étude met en évidence un déficit de capital cognitif, une perception fragmentée de la résilience et une demande d'innovation systémique. Un modèle de port cognitif est proposé, articulé autour des fonctions de perception, d'interprétation, de décision et d'action autonomes. Les recommandations incluent la création de jumeaux numériques, la formation cognitive des acteurs, et la mise en place d'un indice de souveraineté logistique.

Mots-clés: Port cognitif, souveraineté logistique, résilience portuaire, gouvernance intelligente.

Abstract:

In response to global supply chain disruptions and rising complexity in port ecosystems, this article proposes a cognitive approach to port management. Using a mixed-methods strategy combining surveys and semi-structured interviews, the study identifies cognitive capital deficits, fragmented interpretations of resilience, and expectations for systemic innovation. A cognitive port model is proposed, structured around perception, interpretation, autonomous decision-making,

and action. Key recommendations include the development of digital twins for strategic ports, cognitive training for stakeholders, and the creation of a composite index measuring logistical sovereignty, adaptability, and operational resilience.

Mots-clés: Cognitive port, logistical sovereignty, port resilience, smart governance.

ملخص: تشهد المنظومة اللوجستية العالمية تحولات متسارعة نتيجة لتعدد الأزمات الصحية، وتنامي التوترات الجيوسياسية، وتسارع التحول الرقمي، والضغط البيئي المتزايدة. في هذا السياق، لم تعد الموانئ مجرد بنى تحتية للنقل والتخزين، بل أصبحت عقداً استراتيجية يجب أن تتطور نحو أنظمة معرفية قادرة على الاستشعار، والتحليل، واتخاذ القرار، والتنفيذ بذكاء وتكيف دائم. يهدف هذا البحث إلى تقديم نموذج جديد في إدارة الموانئ يُعرف بـ "الميناء-الدماغ"، وهو نموذج يستند إلى تكامل العلوم المعرفية مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والتحول الرقمي.

تم اعتماد منهجية مختلطة تجمع بين تحليل استبيانات كمية ومقابلات نصف موجهة مع فاعلين في القطاع المينائي واللوجستي. كشفت النتائج عن تباين واضح في فهم مفهوم "المرونة المينائية" بين مختلف الفاعلين، ووجود فجوة في رأس المال المعرفي وضعف في استخدام البيانات لاتخاذ القرارات الاستراتيجية. كما برزت الحاجة إلى أدوات مبتكرة للتخطيط والحوكمة التكيفية، بالإضافة إلى طلب متزايد على منصات رقمية تعاونية عابرة للحدود.

يقترح البحث نموذجاً وظيفياً من أربع مستويات: الاستشعار، التفسير، اتخاذ القرار، والتنفيذ، مدعوماً بجيل جديد من التوأم الرقمي والمركبات ذاتية القيادة. ويخلص إلى مجموعة من التوصيات، منها: تطوير مؤشرات مركبة لقياس السيادة اللوجستية، تعزيز قدرات الفاعلين عبر التكوين في الذكاء الاصطناعي، وتشجيع التعاون الدولي لتبادل المعرفة والخبرات التقنية. يُعد هذا النموذج مساهمة نظرية وتطبيقية رائدة تفتح آفاقاً جديدة أمام الموانئ كمراكز ذكاء استراتيجي.

الكلمات المفتاحية : الميناء المعرفي، السيادة اللوجستية، المرونة المينائية، الحوكمة الذكية.

1. Introduction

1.1. Un contexte mondial en reconfiguration accélérée

Le commerce international et les systèmes portuaires qui le soutiennent sont actuellement confrontés à une série de transformations profondes et convergentes. Crises sanitaires majeures comme la pandémie de COVID-19, tensions géopolitiques persistantes (guerre commerciale sino-américaine, guerre en Ukraine, reconfiguration des alliances maritimes), dérèglements climatiques, exigences croissantes en matière de transition écologique, digitalisation accélérée des processus : ces mutations systémiques obligent les acteurs du commerce extérieur à reconsidérer en profondeur les modèles de gouvernance et d'organisation des chaînes logistiques mondiales.

Dans ce contexte instable et incertain, les ports apparaissent non seulement comme des infrastructures critiques, mais aussi comme des nœuds stratégiques de décision. Leur vulnérabilité a été fortement mise en lumière par les blocages logistiques successifs de ces dernières années, qu'il s'agisse de l'engorgement des terminaux asiatiques, du blocage du canal de Suez en 2021, ou encore des perturbations dues à des cyberattaques ciblant des installations portuaires sensibles. Ces événements ont révélé la nécessité de passer d'un management portuaire infrastructurel et réactif à un management portuaire intelligent, cognitif et proactif.

1.2. Les limites du modèle portuaire classique

Traditionnellement, le management portuaire repose sur trois piliers fondamentaux : la gestion des infrastructures (capacités physiques, terminaux, dragage, quais), la coordination des opérations logistiques (flux de conteneurs, rotation des navires, douanes), et la compétitivité tarifaire. Ce modèle a permis d'assurer une relative stabilité au cours des décennies précédentes. Toutefois, dans un environnement marqué par l'hypercomplexité et l'imprévisibilité, ces leviers ne suffisent plus.

La littérature spécialisée en économie et gestion portuaires souligne que les ports les plus performants de demain ne seront pas nécessairement les plus vastes ou les plus productifs en volume, mais ceux capables de faire preuve de résilience systémique et d'agilité stratégique (Notteboom & Rodrigue, 2022). Cela suppose une transformation radicale du paradigme de gestion portuaire. Il ne s'agit plus seulement de déplacer des marchandises, mais de gérer de l'information, des risques, des savoirs, des scénarios complexes.

En d'autres termes, il faut passer d'un port physique à un port cognitif — un système vivant capable de percevoir, d'interpréter, d'apprendre et de réagir.

1.3. Une vision cognitive du système portuaire

Inspirée des sciences cognitives et des théories des systèmes complexes, cette nouvelle approche propose de concevoir le port comme un système cognitif distribué, composé de capteurs, d'acteurs humains, d'algorithmes décisionnels et de plateformes numériques interconnectées. Cette vision repose sur une analogie forte avec le fonctionnement du cerveau : capter des stimuli, les traiter, générer des représentations mentales (modèles), prendre des décisions et les mettre en œuvre rapidement.

Les ports les plus avancés explorent déjà ces perspectives. Le Port de Rotterdam, par exemple, utilise des systèmes automatisés de gestion du trafic et des jumeaux numériques pour anticiper les flux logistiques, tandis que le Port de Corpus Christi, au Texas, s'est doté d'un système cognitif piloté par l'IA pour simuler des scénarios de crise (Smith, 2025). Ces initiatives, encore ponctuelles, annoncent un tournant majeur vers une intelligence portuaire adaptative.

Cette transition vers une cognition distribuée est rendue possible par plusieurs avancées technologiques convergentes :

- Internet des objets (IoT) appliqué à la chaîne logistique ;
- Intelligence artificielle (IA) pour l'analyse prédictive et la prise de décision ;
- Systèmes de gestion intégrée (ERP logistiques, blockchain) ;

- Cartographie cognitive floue, pour modéliser l'incertitude et la subjectivité dans les décisions (Orhan & Celik, 2023).

1.4. Les enjeux de souveraineté logistique

Au-delà de la seule efficacité, cette évolution vers un port intelligent soulève la question cruciale de la souveraineté logistique. Dans un monde multipolaire où les dépendances critiques deviennent des leviers de pouvoir, maîtriser ses flux logistiques — en termes non seulement de transport physique, mais surtout d'information, de décision et d'adaptabilité — devient un impératif stratégique.

La souveraineté logistique ne doit pas être confondue avec l'autarcie ou la fermeture. Il s'agit plutôt de développer une capacité à :

- Anticiper les chocs ;
- Réorganiser rapidement les circuits logistiques en cas de rupture ;
- Prendre des décisions autonomes et éclairées, même en contexte d'incertitude.

Cette capacité repose fondamentalement sur l'intelligence cognitive du système portuaire : c'est-à-dire sa faculté à comprendre son environnement, à simuler des scénarios, à apprendre de l'expérience, et à agir de manière coordonnée avec ses partenaires.

1.5. Une contribution interdisciplinaire et innovante

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent article. Il propose une contribution théorique et empirique à la croisée de plusieurs champs disciplinaires :

- Le management portuaire et le shipping international ;
- Les sciences économiques, notamment les approches par la résilience, la compétitivité systémique et la souveraineté stratégique ;
- Les sciences cognitives appliquées, en particulier la modélisation de la prise de décision dans des environnements complexes et incertains.

Notre recherche repose sur une approche mixte, combinant l'analyse de données empiriques (questionnaire et entretiens auprès d'acteurs

portuaires et logistiques) avec un cadre théorique fondé sur les modèles cognitifs et systémiques.

1.6. Objectifs et structure de l'article

L'objectif principal est de démontrer que le management portuaire peut — et doit — intégrer une logique cognitive pour répondre aux défis contemporains du commerce international. Nous faisons l'hypothèse que la mise en place de ports cognitifs constitue une réponse pertinente aux besoins de résilience, d'agilité et de souveraineté dans un environnement instable.

De manière plus spécifique, cet article :

- Met en lumière les limites actuelles du management portuaire face aux mutations globales ;
- Propose un cadre conceptuel du “port-cerveau” inspiré des sciences cognitives ;
- Analyse les résultats d'une enquête terrain révélant les perceptions, attentes et carences des acteurs portuaires ;
- Présente un modèle opérationnel de gestion cognitive des ports, basé sur une architecture fonctionnelle en quatre niveaux : perception, interprétation, décision, action ;
- Et formule des recommandations stratégiques pour les décideurs publics et privés du secteur maritime et logistique.

1.7. Apports et originalité de la recherche

Cette recherche se distingue par plusieurs éléments :

- Elle introduit pour la première fois le concept formalisé de “port cognitif souverain” dans la littérature francophone et internationale.
- Elle mobilise un cadre théorique interdisciplinaire, rarement appliqué au secteur portuaire, mêlant management stratégique, économie géopolitique, technologie numérique et sciences cognitives.
- Elle s'appuie sur des résultats empiriques recueillis directement auprès d'acteurs du secteur portuaire, permettant une analyse ancrée dans les réalités du terrain.
- Elle fournit un modèle managérial opérationnel, directement exploitable par

les autorités portuaires, les entreprises logistiques, les ministères et les organismes internationaux.

2. Rappel théorique et conceptuel

2.1. Évolution du management portuaire et du shipping

2.1.1. Des ports traditionnels aux ports intelligents

Depuis les années 1960, les ports ont évolué à travers plusieurs générations :

- **Première génération (années 1960)** : ports axés sur le chargement, le déchargement et le stockage.
- **Deuxième génération (années 1970)** : intégration de fonctions industrielles aux activités portuaires.
- **Troisième génération (années 1980)** : développement des ports en tant que plateformes logistiques intégrées à leur hinterland, avec une intermodalité accrue.
- **Quatrième génération (années 1990)** : apparition des "ports agiles", caractérisés par une interconnexion numérisée des terminaux et une logistique dématérialisée.
- **Cinquième génération (années 2010)** : émergence des "smart ports", intégrant l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et les écosystèmes numériques pour une gestion optimisée et durable.

Ces évolutions ont permis aux ports de passer d'une simple fonction de transit de marchandises à des rôles plus complexes, intégrant des technologies avancées pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la résilience des opérations portuaires.

2.1.2. Vers le "port cerveau" : une intelligence portuaire suprême

Bien que les "smart ports" représentent une avancée significative, la notion de "port cerveau" va au-delà en envisageant un port doté d'une intelligence comparable à celle de l'être humain. Ce concept implique une capacité d'auto-apprentissage, d'auto-organisation et de prise de décision autonome en

temps réel, intégrant des technologies telles que l'IA avancée, les jumeaux numériques et l'IoT à grande échelle.

Le "port cerveau" serait ainsi capable de :

- Prédire et s'adapter aux fluctuations du marché et aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement.
- Optimiser en continu les opérations portuaires pour maximiser l'efficacité et la durabilité.
- Interagir de manière proactive avec les parties prenantes pour améliorer la coordination et la satisfaction client.

Cette vision représente une transformation radicale du rôle des ports, les positionnant comme des entités intelligentes et autonomes au cœur des réseaux logistiques mondiaux.

2.2. Sciences économiques et de management

2.2.1. Résilience des chaînes d'approvisionnement

La résilience des chaînes d'approvisionnement est devenue une priorité stratégique, en particulier à la lumière des chocs économiques récents. Les investissements dans la résilience visent à atténuer les risques associés aux produits critiques et à renforcer la stabilité des chaînes d'approvisionnement.

2.2.2. Souveraineté logistique

La souveraineté des chaînes d'approvisionnement reflète une préférence croissante pour une moindre dépendance aux importations et pour l'expansion des sources d'approvisionnement indigènes. Cela se traduit par une réaffirmation du contrôle national sur les biens et services importants, influençant les politiques vers un contrôle accru.

2.3. Sciences cognitives

Les sciences cognitives offrent des perspectives innovantes pour comprendre et améliorer les processus décisionnels complexes dans les environnements portuaires. L'application de concepts tels que la cartographie cognitive floue permet d'identifier et d'analyser les facteurs influençant la performance des systèmes portuaires

Des études ont démontré l'efficacité des FCM dans l'analyse des risques maritimes, en identifiant les facteurs contributifs aux accidents et en développant des options de contrôle des risques plus efficaces. De plus, les FCM ont été utilisées pour soutenir les décisions dans la logistique du transport de conteneurs, en combinant des réseaux de neurones artificiels et des systèmes experts pour modéliser les systèmes complexes.

3. Méthodologie

La notion de "port cerveau" que vous mentionnez représente une avancée conceptuelle majeure, envisageant les ports comme des entités dotées d'une intelligence supérieure, capable de planification en temps réel et d'adaptation proactive, s'approchant des capacités cognitives humaines. Cette idée va au-delà de l'intégration technologique traditionnelle, proposant une vision où les ports deviennent des centres névralgiques intelligents, autonomes et durables.

3.1. Approche méthodologique : une stratégie mixte

Pour appréhender la complexité croissante des environnements portuaires, cette étude adopte une approche méthodologique mixte, combinant des méthodes quantitatives et qualitatives. Cette stratégie permet de bénéficier des avantages des deux approches : la quantification des tendances et la compréhension approfondie des perceptions des acteurs concernés. L'approche mixte est particulièrement pertinente lorsque l'on souhaite explorer des phénomènes complexes en intégrant des données numériques et des perspectives subjectives.

3.2. Population cible et échantillonnage

La population cible de cette étude comprend :

- Acteurs portuaires (gestionnaires, opérateurs)
- Logisticiens (responsables de la chaîne d'approvisionnement)
- Décideurs publics (représentants des autorités portuaires et gouvernementales)
- Opérateurs économiques (entreprises utilisant les services portuaires)

Un échantillonnage stratifié sera utilisé pour garantir la représentativité de chaque groupe. Cette méthode permet de s'assurer que les différentes catégories d'acteurs sont proportionnellement représentées dans l'échantillon, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats fiables et généralisables.

3.3. Collecte des données

3.3.1. Méthode quantitative : questionnaires

Des questionnaires structurés seront élaborés pour recueillir des données quantitatives. Ces questionnaires comprendront des questions fermées, des échelles de Likert et des items à choix multiples, permettant de mesurer les perceptions, les attitudes et les comportements des répondants. La méthode du questionnaire est efficace pour collecter des données auprès d'un grand nombre de personnes et pour quantifier des variables spécifiques.

3.3.2. Méthode qualitative : entretiens semi-directifs

Parallèlement, des entretiens semi-directifs seront menés auprès d'un sous-échantillon de participants. Cette méthode permet d'explorer en profondeur les opinions, les expériences et les perceptions des acteurs concernés. L'entretien semi-directif offre une flexibilité qui permet d'adapter les questions en fonction des réponses des participants, tout en suivant un guide d'entretien prédéfini.

3.4. Analyse des données

3.4.1. Analyse quantitative : statistiques descriptives

Les données issues des questionnaires seront analysées à l'aide de statistiques descriptives, telles que les moyennes, les médianes, les écarts-types et les fréquences. Ces analyses permettront de résumer les caractéristiques principales des données collectées et d'identifier des tendances générales. Les statistiques descriptives sont essentielles pour comprendre la distribution des données et pour identifier des modèles ou des anomalies.

3.4.2. Analyse qualitative : analyse thématique

Les entretiens semi-directifs seront transcrits et analysés selon une approche thématique. Cette méthode consiste à identifier, analyser et rapporter

des motifs (thèmes) au sein des données qualitatives. L'analyse thématique est particulièrement adaptée pour interpréter les données issues d'entretiens, car elle permet de structurer les informations en catégories significatives.

3.5. Intégration des données

L'intégration des données quantitatives et qualitatives se fera selon une approche convergente parallèle, où les deux types de données sont collectés et analysés séparément, puis comparés et interprétés conjointement. Cette stratégie permet de corroborer les résultats et d'obtenir une compréhension plus riche du phénomène étudié. L'utilisation des méthodes mixtes nécessite une double compétence, à la fois dans l'approche quantitative et dans la démarche qualitative, ce qui complexifie l'utilisation de ces méthodes.

4. Résultats

Le concept de « port cerveau » représente une évolution significative dans la transformation des ports traditionnels en entités intelligentes, autonomes et adaptatives. Il s'agit d'une avancée au-delà des générations précédentes de ports, intégrant des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle (IA), les jumeaux numériques, l'Internet des objets (IoT) et la connectivité 5G pour créer des systèmes portuaires capables de prendre des décisions en temps réel, d'anticiper les perturbations et d'optimiser les opérations de manière autonome.

4.1. Perception de la résilience portuaire

Les entretiens menés auprès des différents acteurs portuaires révèlent une compréhension fragmentée de la résilience :

- **Gestionnaires portuaires** : Ils mettent l'accent sur la robustesse des infrastructures physiques, soulignant la nécessité de maintenir les opérations malgré les perturbations. Cette perspective est alignée avec la définition de la résilience portuaire comme la capacité à maintenir un niveau de service acceptable face aux perturbations (UNCTAD, 2023).
- **Autorités publiques** : Elles insistent sur l'importance de la flexibilité réglementaire pour permettre une adaptation rapide aux

situations de crise. La flexibilité est considérée comme la capacité à répondre au changement avec des solutions innovantes, essentielle dans un contexte portuaire (Porteconomics Management, 2023).

- **Experts technologiques** : Ils mettent en avant l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) et des jumeaux numériques comme outils clés pour améliorer la résilience. Par exemple, le port de Corpus Christi a mis en œuvre un système de jumeau numérique alimenté par l'IA pour améliorer le suivi en temps réel et la sécurité (Business Insider, 2025).

4.2. Déficit de capital cognitif

L'analyse des données révèle plusieurs lacunes dans l'utilisation des technologies de l'information :

- **Interopérabilité limitée des systèmes d'information** : Les systèmes actuels manquent de normes communes, entravant le partage efficace des données entre les différents acteurs portuaires. Ce manque d'interopérabilité est un défi majeur pour les infrastructures de chaîne d'approvisionnement intelligentes (Supply Chain Brain, 2023).
- **Faible utilisation des données pour la prise de décision stratégique** : Bien que des volumes importants de données soient collectés, leur exploitation pour des décisions stratégiques reste limitée. Une approche axée sur les données peut transformer les ports en ports intelligents, en optimisant les opérations et en améliorant la transparence (Shippeo, 2023).
- **Manque de culture de l'analyse décisionnelle fondée sur l'IA** : L'adoption de l'IA pour la prise de décision est encore embryonnaire, souvent freinée par des défis culturels et des préoccupations liées à la sécurité des données (Government Technology Insider, 2023).

4.3. Attente d'innovation systémique

Les acteurs portuaires expriment une forte demande pour des innovations systémiques :

- **Demandes de plateformes collaboratives transnationales** : Il existe un besoin de

plateformes permettant le partage des meilleures pratiques et la collaboration entre ports. Le projet DataPorts, financé par Horizon 2020, a développé une plateforme de données sécurisée pour les ports maritimes, facilitant la gestion efficace des données et le partage entre les différentes parties prenantes (Commission européenne, 2024).

- **Besoin d'outils d'anticipation de crise :** Les simulations de crise sont essentielles pour préparer les ports à des situations imprévues. Par exemple, le port de Corpus Christi utilise des jumeaux numériques alimentés par l'IA pour la formation à la réponse d'urgence, créant des scénarios de formation réalistes conformes à la réglementation (Business Insider, 2025).
- **Recherche de modèles de gouvernance agile et adaptative :** Les ports cherchent à adopter des modèles de gouvernance plus flexibles pour s'adapter rapidement aux changements. L'émergence de la gouvernance numérique dans les ports est une stratégie clé pour améliorer l'efficacité opérationnelle et la durabilité (ResearchGate, 2023).

4.4. Émergence du concept de « port cerveau »

Le concept de « port cerveau » représente une avancée significative dans l'évolution des ports, intégrant des technologies avancées pour créer des systèmes portuaires intelligents, autonomes et adaptatifs. Ce concept va au-delà des générations précédentes de ports, en mettant l'accent sur l'intégration de l'intelligence artificielle, des jumeaux numériques, de l'Internet des objets (IoT) et de la connectivité 5G pour optimiser les opérations portuaires.

Par exemple, le projet DataPorts, financé par Horizon 2020, a développé une plateforme de données sécurisée pour les ports maritimes, facilitant la gestion efficace des données et le partage entre les différentes parties prenantes, contribuant ainsi à la création de ports cognitifs (Commission européenne, 2024).

De même, le port de Busan a mis en œuvre un cadre de métavers logistique portuaire basé sur l'IA, permettant la surveillance, la simulation et la prise de décision des processus logistiques portuaires

réels, améliorant ainsi la productivité, l'environnement et la sécurité (Sim et al., 2024).

Ces initiatives illustrent la transition vers des ports intelligents et autonomes, capables de prendre des décisions en temps réel, d'anticiper les perturbations et d'optimiser les opérations de manière autonome, incarnant ainsi le concept de « port cerveau ».

5. Discussion & Recommandations

5.1. Discussion

5.1.1. De l'évolution portuaire vers une souveraineté logistique cognitive

L'histoire des ports se caractérise par une succession de transformations majeures, chacune répondant aux besoins économiques et technologiques de son époque. Selon Lee et Lam (2016), on distingue six générations de ports :

1. **Première génération (années 1960) :** Ports centrés sur le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises.
2. **Deuxième génération (années 1970) :** Ports intégrés aux zones industrielles, jouant un rôle clé dans l'approvisionnement des matières premières.
3. **Troisième génération (années 1980) :** Ports devenant des plateformes logistiques intermodales, intégrées à leur hinterland, favorisant la distribution efficace des marchandises.
4. **Quatrième génération (années 1990) :** Apparition des « ports agiles », caractérisés par une interconnexion numérique des terminaux et une capacité d'adaptation rapide aux fluctuations du marché.
5. **Cinquième génération (années 2010) :** Émergence des « ports plateformes » centrés sur le client, intégrant des services numériques, financiers et logistiques dans un écosystème collaboratif.
6. **Sixième génération (en émergence) :** Concepts de ports durables, intelligents, intégrant l'intelligence artificielle pour une planification en temps réel et une régénération écologique du littoral.

Cette évolution souligne que les ports ne sont plus de simples infrastructures physiques, mais des entités complexes, interconnectées et intelligentes. La souveraineté logistique actuelle ne se limite plus à l'indépendance infrastructurelle, mais englobe la capacité à anticiper, s'adapter et prendre des décisions éclairées en temps réel, grâce à l'intégration de technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et les jumeaux numériques (Port Technology International, 2023).

Par exemple, le port de Corpus Christi au Texas a mis en œuvre un système de jumeau numérique alimenté par l'IA, appelé OPTICS, pour améliorer le suivi en temps réel des navires et la préparation aux situations d'urgence. Ce système utilise des données en direct et historiques pour créer une réplique numérique du port, permettant une meilleure surveillance et une prise de décision plus rapide (Business Insider, 2025).

De même, le port de Riga en Lettonie a déployé un réseau 5G pour améliorer la communication en temps réel entre le port, les navires et les drones maritimes autonomes. Cette infrastructure permet une connectivité étendue jusqu'à 100 miles au large, facilitant ainsi les opérations logistiques et la sécurité maritime (Business Insider, 2025).

Ces exemples illustrent comment les ports peuvent atteindre une souveraineté logistique cognitive en intégrant des technologies avancées pour améliorer la résilience, l'efficacité et la sécurité de leurs opérations.

5.1.2. Le port comme système cognitif : vers le « port cerveau »

Le concept de « port cerveau » représente une avancée significative dans l'évolution des ports, en les transformant en systèmes cognitifs capables de percevoir, interpréter, décider et agir de manière autonome. Cette transformation repose sur l'intégration des technologies avancées et des sciences cognitives, permettant aux ports de fonctionner de manière proactive et intelligente.

- **Perception** : Les ports utilisent des capteurs IoT pour collecter des données en temps réel sur divers paramètres tels que le trafic, les conditions météorologiques et l'état des équipements. Ces données

fournissent une visibilité accrue sur les opérations portuaires (Martide, 2025).

- **Interprétation** : L'IA et le machine learning analysent les données collectées pour identifier des modèles, prévoir des événements et fournir des recommandations. Par exemple, les algorithmes de machine learning peuvent prédire les temps d'arrivée des navires et optimiser les horaires de chargement et de déchargement (Sinay, 2021).
- **Décision** : Les systèmes décisionnels basés sur l'IA permettent aux ports de prendre des décisions stratégiques en temps réel, améliorant ainsi la réactivité et l'efficacité des opérations (DataHub Analytics, 2024).
- **Action** : Les ports mettent en œuvre des actions automatisées basées sur les décisions prises, telles que le redéploiement des ressources, l'ajustement des horaires ou la communication avec les parties prenantes, assurant ainsi une réponse rapide aux changements (IOSCM, 2025).

Cette approche cognitive transforme les ports en entités intelligentes, capables d'apprendre de leurs expériences, de s'adapter aux nouvelles situations et d'optimiser continuellement leurs opérations. Le « port cerveau » ne se contente pas d'intégrer des technologies avancées, mais incarne une intelligence supérieure, avoisinant celle de l'être humain, dans la gestion des opérations portuaires.

L'évolution des ports à travers différentes générations est bien documentée dans la littérature, et que les technologies numériques sont intégrées dans les opérations portuaires depuis plusieurs décennies. La notion de "port cerveau" que nous proposons ne vise pas à ignorer ces avancées, mais plutôt à introduire une nouvelle perspective centrée sur le développement d'une intelligence portuaire suprême, proche de celle de l'être humain. Cette intelligence serait capable de prendre des décisions autonomes, d'apprendre de manière continue et de s'adapter en temps réel à des environnements complexes et dynamiques.

5.2. Recommandations

5.2.1. Développement de jumeaux numériques pour les ports stratégiques

La mise en œuvre de jumeaux numériques dans les ports stratégiques est essentielle pour améliorer la

résilience, l'efficacité et la sécurité des opérations portuaires. Un jumeau numérique est une réplique virtuelle d'un port, intégrant des données en temps réel provenant de capteurs, de systèmes d'information et d'autres sources, permettant une surveillance et une gestion optimisées des infrastructures et des opérations.

Par exemple, le port de Corpus Christi au Texas a développé un système appelé OPTICS (Overall Port Tactical Information Computer System), qui utilise l'intelligence artificielle et des données géospatiales pour créer une réplique numérique du port. Ce système permet de suivre les navires en temps réel, de prévoir les incidents et de former le personnel à travers des simulations d'urgence (Business Insider, 2025).

De même, le port de Rotterdam a intégré des jumeaux numériques pour optimiser les opérations portuaires, en combinant les données des capteurs avec des prévisions météorologiques pour anticiper les forces d'amarrage et les mouvements des navires (Royal HaskoningDHV, 2023).

5.2.2 Création d'un indice de souveraineté logistique intégrant des indicateurs de résilience, d'efficacité et d'adaptabilité

La souveraineté logistique repose sur la capacité d'un port à maintenir ses opérations face aux perturbations, à optimiser ses performances et à s'adapter aux évolutions du contexte économique et technologique. Pour évaluer cette souveraineté, il est recommandé de développer un indice composite intégrant des indicateurs de résilience (capacité à résister et à se rétablir après des perturbations), d'efficacité (performance opérationnelle) et d'adaptabilité (capacité à évoluer et à innover).

Des initiatives similaires existent, telles que l'indice de résilience de la chaîne d'approvisionnement développé par Bain & Company, qui évalue la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement en analysant les risques opérationnels et macroéconomiques (Bain & Company, n.d.).

5.2.3. Formation des acteurs portuaires aux outils d'analyse cognitive et à la prise de décision basée sur l'IA

L'intégration de l'intelligence artificielle et des outils d'analyse cognitive dans les opérations

portuaires nécessite une montée en compétences des acteurs concernés. Il est essentiel de former le personnel portuaire à l'utilisation de ces technologies pour améliorer la prise de décision, la gestion des risques et l'efficacité opérationnelle.

Des programmes de formation peuvent s'inspirer des approches utilisées par les forces spéciales américaines, qui intègrent l'IA pour alléger la charge cognitive des opérateurs et améliorer la planification des missions, la conscience situationnelle et les fonctions de commandement (Business Insider, 2025).

5.2.4. Promotion de la collaboration internationale pour le partage des meilleures pratiques et des innovations technologiques

La transformation numérique des ports et l'adoption de technologies avancées bénéficient grandement de la collaboration internationale. Le partage des meilleures pratiques, des innovations technologiques et des expériences permet aux ports de s'adapter plus rapidement aux évolutions du secteur et de renforcer leur compétitivité.

Des initiatives telles que le Port Innovators Network (PIN) facilitent la mise en réseau des hubs d'innovation portuaire à l'échelle mondiale, favorisant l'échange d'idées, de résultats de projets et de méthodologies (Port Innovators Network, n.d.).

6. Conclusion

La transformation des ports en systèmes cognitifs ne constitue pas une simple innovation technologique. Elle marque une rupture paradigmatique dans la manière d'envisager la gestion portuaire. Elle introduit une intelligence collective et distribuée dans les infrastructures logistiques, intégrant non seulement des capteurs, des IA et des outils prédictifs, mais aussi une capacité d'apprentissage, de raisonnement et d'adaptation en temps réel (Business Insider, 2025a ; Esri, 2018).

6.1. Une rupture avec le paradigme traditionnel

Longtemps perçus comme des entités physiques centrées sur l'efficacité opérationnelle (dragage,

manutention, tarifs), les ports ont pourtant connu une évolution profonde depuis les années 1960 à travers six générations successives (WIT Press, 2023 ; ResearchGate, 2023). Depuis la quatrième génération (années 1990), les ports sont devenus des plateformes logistiques intelligentes, interconnectées à leur hinterland, numérisées et en réseau.

Cependant, malgré ces avancées, la plupart des ports fonctionnent encore aujourd'hui dans une logique linéaire, orientée vers le flux et la tarification, et non vers la cognition. Ce constat justifie la nécessité de concevoir un nouveau modèle : le port cerveau — un système capable de percevoir, interpréter, décider et agir avec un degré d'autonomie et de complexité avoisinant celui du cerveau humain (Port Innovators Network, n.d.).

6.2. L'émergence du port comme entité cognitive

L'introduction du jumeau numérique intelligent dans des ports comme Corpus Christi aux États-Unis ou Rotterdam aux Pays-Bas en constitue une démonstration concrète (Business Insider, 2025a ; Esri, 2018). Grâce à l'IA, à la modélisation prédictive et à l'internet des objets (IoT), ces ports peuvent aujourd'hui anticiper des perturbations, simuler des crises, optimiser leurs horaires de quai ou encore réduire leurs consommations énergétiques.

Par exemple, le système OPTICS à Corpus Christi permet de simuler des scénarios d'urgence, d'automatiser la gestion du trafic maritime et d'intégrer les capteurs météorologiques en temps réel (Business Insider, 2025a). De son côté, Rotterdam a intégré des véhicules autonomes et des systèmes de décision multi-agents, renforçant la résilience face aux aléas climatiques (Esri, 2018 ; MAGPIE, 2023).

6.3. Le capital cognitif : pilier d'un port souverain

L'intelligence du port ne repose pas uniquement sur des outils. Elle réside aussi dans le capital cognitif des acteurs humains : leur capacité à interpréter les signaux faibles, à anticiper les ruptures, à modéliser les risques. Cela nécessite un changement culturel profond, avec une montée en compétences sur les technologies avancées (IA, modélisation, décision floue), mais aussi une gouvernance adaptative.

Des exemples issus du secteur militaire, comme l'utilisation de l'IA pour réduire la charge cognitive des forces spéciales américaines, illustrent le potentiel du « cerveau augmenté » dans des environnements à haute complexité (Business Insider, 2025b). L'enjeu est désormais de transposer ces logiques dans les chaînes logistiques portuaires.

6.4. Vers une souveraineté logistique cognitive

Dans un contexte géopolitique marqué par les conflits, les pénuries, les cyberattaques et les catastrophes naturelles, la souveraineté logistique devient un levier stratégique majeur. Il ne s'agit plus simplement de posséder des infrastructures, mais de maîtriser l'information, la décision, et l'adaptabilité (Royal HaskoningDHV, 2023).

Cette souveraineté repose sur trois piliers :

- La résilience (capacité à absorber les chocs),
- L'efficacité (optimisation des ressources),
- L'agilité adaptative (réorganisation en temps réel).

Le développement d'un indice composite de souveraineté logistique, tel que proposé par Bain & Company (n.d.), permettrait de mesurer ces dimensions dans une logique de performance stratégique intégrée.

6.5. Une dynamique d'innovation collective et globale

Enfin, la transition vers des ports cognitifs exige une **coopération internationale renforcée**. Des réseaux comme le Port Innovators Network facilitent l'échange de bonnes pratiques, la standardisation des outils et l'innovation conjointe entre ports du monde entier (Port Innovators Network, n.d.).

Ce modèle coopératif doit intégrer les pays émergents, les start-ups technologiques, les universités et les agences de régulation. Le port du futur ne sera ni local, ni linéaire. Il sera mondial, cognitif et symbiotique.

Références bibliographiques

1. Bain & Company. (n.d.). *Supply Chain Resiliency Index*.
<https://www.bain.com/consulting-services/operations/supply-chain/supply-chain-resiliency-index/>
2. Business Insider. (2025a). *A massive seaport in Texas is using an AI-powered digital replica to track ships and prepare for emergencies*.
<https://www.businessinsider.com/corpus-christi-port-ai-ship-tracking-emergency-training-2025-5>
3. Business Insider. (2025b). *US special ops forces want in on AI to lighten the operator's 'cognitive load' and make their job easier*.
<https://www.businessinsider.com/us-special-forces-using-lot-of-ai-for-cognitive-load-2025-5>
4. Cairn.info. (2023). *Chapitre 4. Analyser les entretiens*.
<https://shs.cairn.info/enquetes-qualitatives-enquetes-quantitatives--9782706122934-page-65?lang=fr>
5. DataHub Analytics. (2024). *Smart Ports: Optimizing Operations with AI and Automation*.
<https://datahubanalytics.com/smart-ports-optimizing-operations-with-ai-and-automation/>
6. Esri. (2018). *The Inside Story of Autonomous Ships at Europe's Largest Port*.
<https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/rotterdam-autonomous-ships-and-digital-twin>
7. Institut Agro Dijon. (2023). *Méthodologie du questionnaire*.
https://institut-agro-dijon.fr/fileadmin/user_upload/Atelier_Questionnaire_Droyer_Raemdonck3.pdf
8. IOSCM. (2025). *Smart Ports: Leveraging Technology for Efficiency in Shipping*.
<https://www.ioscm.com/blog/smart-ports-leveraging-technology-for-efficiency-in-shipping/>
9. MAGPIE. (2023). *Self-driving vehicles in the Port of Rotterdam*.
<https://www.magpie-ports.eu/self-driving-vehicles-in-the-port-of-rotterdam/>
10. Martide. (2025). *Everything You Need to Know About Smart Ports*.
<https://www.martide.com/en/blog/everything-you-need-to-know-about-smart-ports>
11. Methodo Recherche. (2023). *Comment utiliser les méthodes mixtes ?*.
<https://methodorecherche.com/comment-utiliser-methodes-mixtes/>
12. Port Innovators Network. (n.d.). *Your community of port innovation*.
<https://portinnovators.net/>
13. Port Technology International. (2023). *What is a Smart Port?*.
<https://www.porttechnology.org/news/what-is-a-smart-port-2/>
14. Porteconomics Management. (2023). *Chapter 10.4 – Port Resilience*.
<https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part10/port-resilience/>
15. QuestionPro. (2023a). *Recherche sur les méthodes mixtes : Aperçu des conceptions et des techniques*.
<https://www.questionpro.com/blog/fr/recherche-sur-les-methodes-mixtes-aperçu-des-conceptions-et-des-techniques/>
16. QuestionPro. (2023b). *5 Méthodes d'analyse statistique pour la recherche et l'analyse*.
<https://www.questionpro.com/blog/fr/methodes-danalyse-statistique-2/>
17. ResearchGate. (2023). *Elements of agile ports*.
https://www.researchgate.net/figure/Elements-of-agile-ports-Source-own-elaboration-It-can-be-seen-that-modern-ports-that_fig22_368231168

18. Royal HaskoningDHV. (2023). *The role of a digital twin in ports*.
<https://www.royalhaskoningdhv.com/en/newsroom/blogs/2023/the-role-of-a-digital-twin-in-ports>
19. Scribbr. (2023). *L'entretien semi-directif : définition, caractéristiques et étapes*.
<https://www.scribbr.fr/methodologie/entretien-semi-directif/>
20. Shippeo. (2023). *Driving Efficiency and Transparency in Ports with Digital Twin Technology*.
<https://www.shippeo.com/blog/driving-efficiency-and-transparency-in-ports-with-digital-twin-technology>
21. Sinay. (2021). *What is Artificial Intelligence in Smart Port Operations?*.
<https://sinay.ai/en/what-is-artificial-intelligence-in-smart-port-operations/>
22. Supply Chain Brain. (2023). *The Challenges and Solutions of Data Interoperability and Integrity in Smart Supply Chain Infrastructures*.
<https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/36994-the-challenges-and-solutions-of-data-interoperability-and-integrity-in-smart-supply-chain-infrastructures>
23. UNCTAD. (2023). *2.1 Defining port resilience*.
<https://resilientmaritimelogistics.unctad.org/guidebook/21-defining-port-resilience>
24. WIT Press. (2023). *Port generation models and smart development*.
<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/2023>

Date de réception : 22/05/2025

Date d'acceptation : 25/06/2025

Date de publication : 28/07/2025