

# Smart Ports

## Radar international de l'innovation dans les ports de commerce

2ÈME ÉDITION  
2023

# Introduction

Ce document est la 2ème version de notre analyse à l'international des innovations dans les ports de commerce, faisant suite au premier opus paru fin 2019.

Notre objectif a été de recenser les tendances d'innovations technologiques (mécanisation, énergie ...) et numériques dans tous les pans de l'activité des ports de commerce, en lien avec les enjeux des ports.

L'observation principale est que les tendances d'innovation relevées dans la 1ère version se sont affermies, et que les démarches d'innovation se sont globalement poursuivies ou intensifiées. Le terme « Smart port » est souvent un label mais pas toujours. En effet, les innovations sont incluses dans une démarche véritablement labellisée Smart port ou pas, mais quoiqu'il en soit elles sont très généralement menées dans une démarche de coopération d'acteurs public / privé professionnels portuaires et industriels, avec l'écosystème de la recherche et de l'innovation, ce qui caractérise un programme « smart ».

Transition écologique, intégration au territoire, performance opérationnelle et sécurité sont des enjeux forts des ports et les thèmes principaux des innovations recensées.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce radar des innovations technologiques et numériques portuaires.



**ROCHEGUDE**  
**Christophe**  
Senior Manager



**HANSE**  
**Manon**  
Analyste



# Sommaire

1

## Performance opérationnelle

*Pour performer, le port doit mener à bien des activités de logistique, de suivi administratif et de maintenance. A mesure qu'elles se développent, les technologies telles que Big Data, IA, mécanisation, véhicules autonomes et IoT deviennent déterminantes pour la compétitivité et la fiabilité des activités portuaires.*

2

## Transition écologique

*Produire des énergies renouvelables, mettre en place des infrastructures et des machines portuaires moins polluantes, optimiser l'utilisation d'énergie sur la zone industrialo-portuaire : les ports disposent de plusieurs leviers pour agir en faveur d'une transition écologique grâce à la technologie.*

3

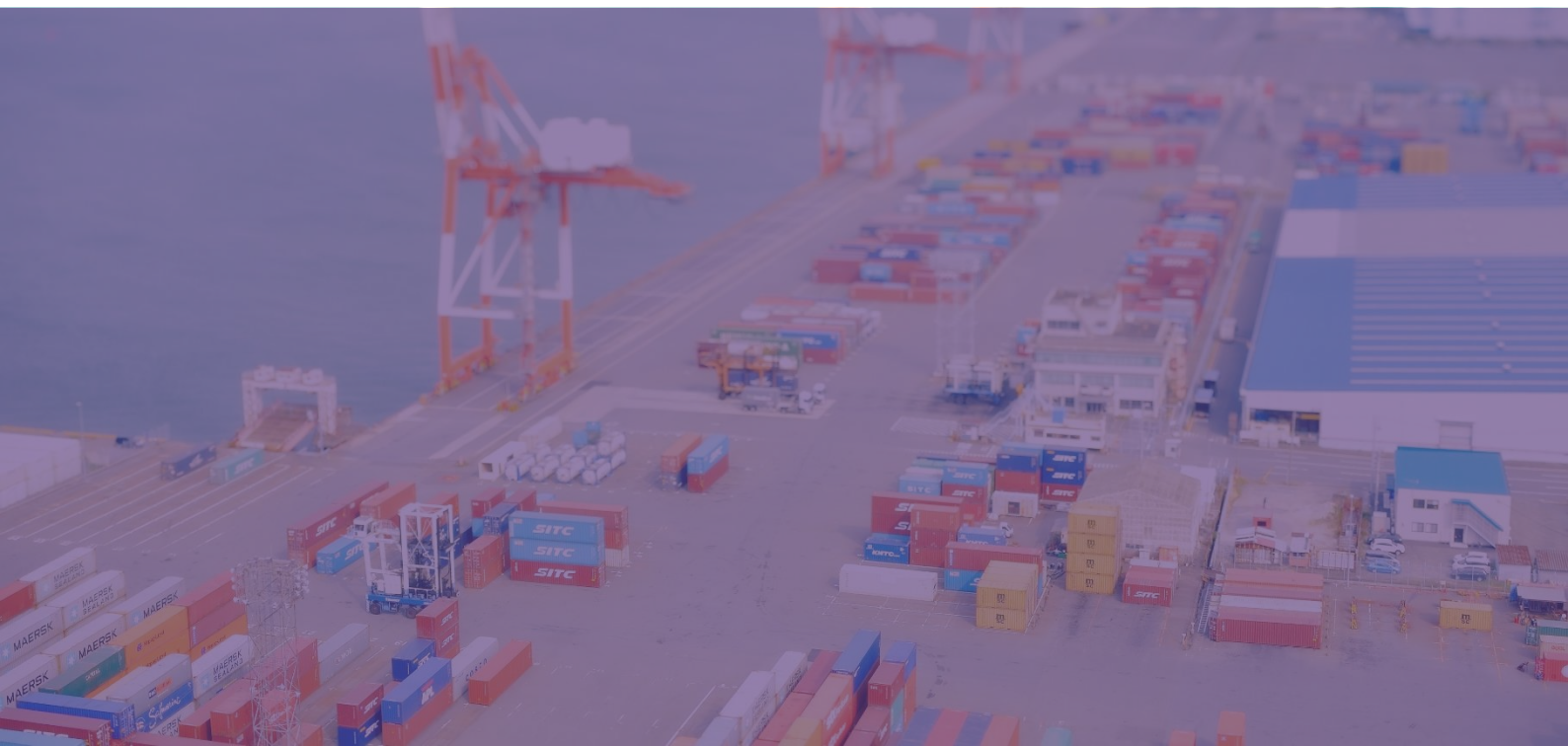
## Sécurité

*Risques liés au transit de marchandises, risques pour les travailleurs, et nouveaux risques de cyber-attaques : les ports font face à des enjeux de sécurité importants. Pour y répondre, les ports utilisent les données numériques ainsi que l'IA et la Blockchain.*

4

## Intégration du port dans le territoire

*Proximité avec la ville et ses citoyens, participation au dynamisme économique local, modernisation des formations sont autant d'exemples qui témoignent d'une nouvelle ouverture des ports sur leur environnement pour laquelle l'innovation, notamment technologique, joue un rôle clé.*











# Performance opérationnelle

---

Big Data, IA, mécanisation, véhicules autonomes, IoT... : autant de nouvelles technologies qui permettent aux ports du monde entier d'améliorer leurs performances, de gagner en fiabilité et en compétitivité.



# Résumé

Dans un contexte mondialisé, le **volume du commerce international est en constante augmentation** et les exigences des clients en matière de services de logistique requièrent une grande efficacité dans l'exploitation portuaire. En effet, la quasi-totalité du commerce intercontinental repose sur le transport maritime, raison pour laquelle les ports de commerce jouent un rôle décisif dans les chaînes logistiques.

Ainsi, les ports du monde entier sont mis en concurrence avec leurs homologues, puisque des choix divers s'offrent aux transporteurs en matière d'itinéraires. La performance opérationnelle doit être sans cesse améliorée avec une **rapidité toujours accrue**.

Plus encore, les transporteurs accordent désormais au même titre que les clients une grande importance à la **traçabilité**, ce qui s'accompagne d'un nouvel impératif de transparence pour les ports comme critère de performance.

Nous distinguons 3 ensembles d'opérations qui relèvent de l'activité du port et sur lesquelles des innovations permettent d'améliorer la performance :



## **Les activités logistiques (transport, manutention et stockage)**

Utilisés par les grands ports de commerce du monde entier, l'IoT et l'IA sont devenus des outils incontournables de pilotage de l'activité portuaire, qui peuvent fonctionner de pair avec une automatisation des opérations.



## **Les activités de suivi administratif ou opérationnel de la marchandise**

La digitalisation des processus est une tendance qui permet rapidité, fiabilité et transparence, et dont la solution la plus aboutie consiste en l'implémentation des solutions blockchain.



## **La maintenance**

Enfin, les drones, capteurs, jumeaux numériques ainsi que les solutions de maintenance prédictives deviennent des excellents leviers de performance à l'heure où l'interruption d'activité des ports entraînerait des pertes financières et retards intolérables pour le transporteur comme pour le client final.

# Les activités logistiques, au cœur de l'activité portuaire

En observant les innovations mises en place dans les ports à conteneurs du monde entier, nous avons vu des tendances d'innovation se dessiner, chacune correspondant à une activité logistique : **le transport, la manutention et le stockage.**

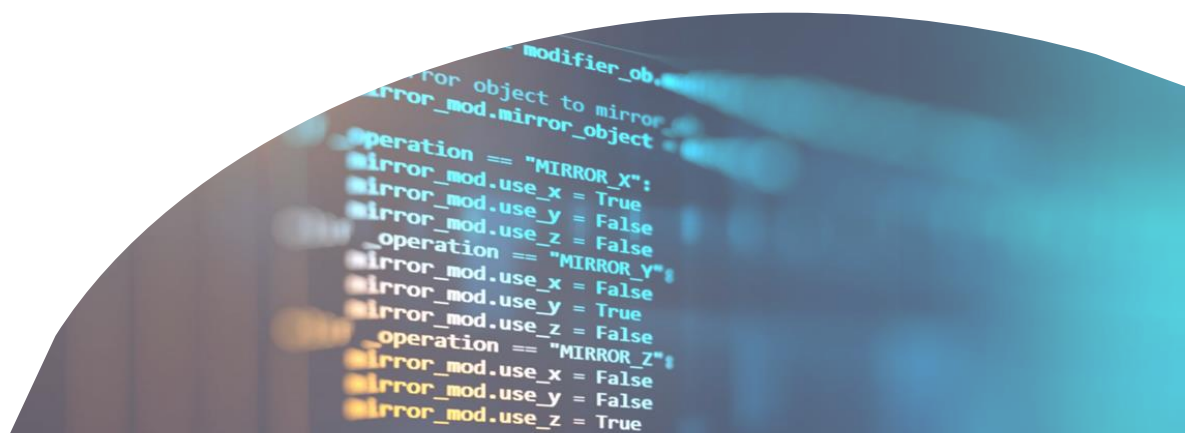
En matière de transport des marchandises jusqu'au port et sur le port, **le partage de la donnée entre les acteurs du port et de la chaîne logistique** et le traitement de ces données par des IA sont devenus des **prérequis à la rapidité des opérations et à la fiabilité des décisions.**

Concernant la manutention, la grande tendance d'innovation est le développement d'**appareils autonomes** et de technologies permettant le **contrôle à distance** des appareils.

Enfin, les opérations de stockage sont désormais optimisées grâce à l'usage de **jumeaux numériques** qui permettent de mieux penser et d'utiliser plus intelligemment l'espace, ainsi que d'infrastructures de type racks à conteneurs permettant d'améliorer la capacités des zones de stockage.

## Utiliser la donnée pour l'optimisation des flux de marchandises lors du transport

Devant un accroissement considérable du nombre de navires à faire transiter par jour sur le port, avec des exigences toujours accrues de rapidité et d'efficacité, la technologie s'avère très utile pour collecter, traiter et analyser les données afin de soutenir la prise de décision. En effet,, un fonctionnement du type « premier arrivé, premier servi » n'est plus efficient sur les terminaux. Ainsi, au cours de la dernière décennie, deux types d'applications croisant **Big Data et Intelligence Artificielle** sont devenues incontournables dans le fonctionnement des Grands Ports Maritimes : les Port Community System (PCS) et les Terminal Operating System (TOS). Si les premières versions de ces logiciels ont été inventées aux alentours des années 1980, ceux-ci ne cessent de se perfectionner jusqu'à devenir ces dernières années des outils indispensables à la performance des ports et à la rapidité des chaînes logistiques.





## ... Port Community Systems et Terminal Operating Systems : qui sont ils ?

Les Port Community System sont des applications qui collectent les données internes concernant le fonctionnement du port (disponibilité des quais, des grues, des terminaux, des navires de servitude, de la main d'œuvre) et externes au port (conditions météo, arrivée des navires). Les données proviennent ainsi d'acteurs publics comme privés, et lient les procédures administratives et opérationnelles.

Les PCS permettent d'optimiser, gérer et automatiser les processus portuaires et logistiques, grâce à la connexion des chaînes de transport et de logistique. Leur performance est ainsi déterminante pour la compétitivité des ports par la rapidité et la fluidité des opérations et procédures.

Les Terminal Operating System (TOS) sont des applications qui permettent de systématiser la collecte et le partage de données pour que l'ensemble des personnes devant intervenir sur une opération au terminal disposent de l'information la plus complète possible. Les TOS permettent notamment de planifier les escales des navires, de configurer efficacement l'organisation des marchandises dans la cour autour de zones de stockage, d'organiser la visite des camions qui livrent ou récupèrent le fret, de planifier les ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation des différentes opérations.

Les TOS permettent également de suivre les marchandises dans un moment particulièrement critique en raison des chargements, déchargements et manipulations associées aux correspondances. Enfin, ils permettent une facturation toujours plus exacte des nombreux clients impliqués dans les opérations. Ils sont donc un outil déterminant pour la performance du terminal et utiles à l'obtention de rapports pour piloter les opérations.

Ces applications permettent notamment d'organiser les opérations sur le port et les flux associés afin de gagner en efficacité et de maximiser la capacité des terminaux et machines. Par exemple, au port de Jebel Ali à Dubaï, un premier projet a été mis en place autour d'une application permettant **d'optimiser le déploiement des remorqueurs et des équipages pour les opérations des ports et des terminaux**. Il a été prolongé par le développement de Optiport Inland, pour aider les propriétaires des flottes à **optimiser leurs heures de départ et d'arrivée, leurs itinéraires et de contrôler leur vitesse** pour avoir une gestion en flux tendu et de réduire par la même occasion leur consommation d'énergie.

Aussi, elles sont utiles pour gérer l'**intermodalité**, qui est un élément clé de la performance du port : c'est la bonne connexion entre les différents maillons logistiques qui va permettre la rapidité et la traçabilité dans le transport des marchandises, comme en témoigne l'exemple du port de Montréal présenté ci-après.

Les innovations en la matière consistent à agréger toujours plus de données de façon intelligente afin d'améliorer l'efficacité des opérations portuaires et la traçabilité des chaînes logistiques. Ainsi, des solutions de supervision et hypervision permettent désormais **d'intégrer les données à la fois du PCS et du TOS pour une vue complète des opérations portuaires et maritimes afin de soutenir la prise de décision**. C'est par exemple le cas de Channel 5 proposée par MGI (Marseille Gyptis International). Par ailleurs, l'initiative « Track and Trace » portée par l'IPCSCA (International Port Community Systems Association) devrait permettre de **créer une synergie mondiale entre les différents PCS**, permettant de suivre les marchandises transitant par tous les PCS répondant à des normes choisies.

Le port est donc un lieu de plus en plus équipé en capteurs, afin de produire de nombreuses data qui permettent de monitorer en temps réel ses équipements et marchandises (position, température, charge, ...), et qui sont agrégées, croisées, analysées jusqu'à devenir de la Smart Data partagées entre les acteurs pour piloter de façon globale et optimiser les activités.



## Les PCS pour la gestion des flux de marchandises : Intermodalité maritime/ferroviaire au port de Montréal

Montréal est un port d'arrivée et non d'escale pour la plupart des navires qui y déchargent l'intégralité de leur cargaison. Aussi, c'est le seul port d'Amérique du Nord à exploiter ses propres lignes de chemin de fer.

Depuis 2018, le port remarque une dégradation de la ponctualité des navires, ce qui a pour conséquence une mauvaise synchronisation des heures d'arrivées des navires avec les heures de départ des trains de marchandises. Dès lors, le port doit faire tampon et devient une zone de stockage, ce qui n'est pas souhaitable pour l'autorité portuaire.

L'outil Port Logistics Optimization Tool, récemment déployé, permet de répondre au problème constaté : il prend en compte la position des navires et la disponibilité ferroviaire afin de prédire l'arrivée des navires sur un horizon de 16 jours, et de déduire de leur contenu le nombre de wagons nécessaires à leur transport. L'arrivée des navires et le trafic ferroviaire sont ensuite ajustés pour correspondre et permettre l'intermodalité la plus fluide.



## Intégration totale des données liées à la logistique et à l'exploitation portuaire : CHANNEL 5 par Marseille Gyptis International (MGI)

CHANNEL 5 est un canal d'information et un service d'aide à la décision pour la gestion de la marchandise en milieu portuaire. Proposée par MGI, cette solution de Big Data intègre les données non seulement du PCS et du TOS du port de Marseille mais également du système météo, du trafic routier, des objets connectés, du SI portuaire, du SI douanier et enfin l'information socio-économique opérationnelle.

Les données sont intégrées dans un moteur d'Intelligence Artificielle prenant en compte des règles métiers qui permettent d'évaluer si l'activité est sous contrôle, si elle est perturbée, et quels acteurs sont impactés. CHANNEL 5 propose ensuite des alternatives aux acteurs pour gérer les aléas.

*« La difficulté qui est habituellement rencontrée avec les solutions du type PCS, c'est de fédérer tous les acteurs pour qu'ils participent et partagent leur donnée. »*

*La force du MGI, c'est de fédérer l'ensemble des acteurs grâce à sa structure de gouvernance : la société est détenue à 70% par les associations professionnelles portuaires marseillaises, donc tous les métiers qui participent au passage portuaire sont représentés. Les derniers 30% sont détenus par le Grand Port Maritime de Marseille. »*



Christophe Reynaud, Responsable de l'innovation MGI

## Priorisation des marchandises critiques : CARGO2AI du port de Montréal

Durant la crise du Covid-19, les chaînes d'approvisionnement étaient considérablement ralenties, pourtant les autorités publiques avaient besoin d'acheminer le plus rapidement possible les médicaments, le matériel médical et les produits alimentaires sur leur territoire.

Devant cette situation, le port de Montréal a mis en place CARGO2AI, un outil logistique à vocation humanitaire. Celui-ci repose sur une IA servant à repérer et prioriser rapidement les marchandises essentielles. Celle-ci scanne le contenu du navire à partir des manifestes et identifie les cargos et conteneurs contenant des marchandises critiques, puis suit le conteneur à partir du moment où il est déchargé jusqu'au moment où il quitte le port.

50%

CARGO2AI a permis de réduire le séjour à quai des marchandises critiques de 50% durant la crise du COVID.

Le port de Montréal envisage d'utiliser la solution pour d'autres cargos prioritaires comme les projets stratégiques nationaux ou les matières dangereuses.





## Automatiser et contrôler à distance les opérations de manutention

Nous avons noté deux développements technologiques qui permettent de gagner en efficacité sur les opérations de manutention: **l'automatisation et le contrôle à distance des appareils.**

L'automatisation repose sur des machines fonctionnant de manière autonome et qui permettent de remplacer totalement ou partiellement le travail manuel. L'automatisation s'est donc particulièrement développée dans les activités de **manutention**, qui font appel à un travail humain pénible, parfois dangereux, et source d'erreurs. L'automatisation des opérations portuaires doit permettre l'amélioration de la performance grâce à une meilleure productivité, la baisse des coûts et la réduction des risques en matière de sécurité pour les travailleurs.

L'automatisation de la manutention est un processus à l'œuvre dans le secteur portuaire, du transport et de la logistique en général, que nous avons déjà observé lors de notre étude précédente. Ainsi, de nombreux appareils autonomes se développent dans les ports depuis déjà une décennie : chariots élévateurs, ventouses d'amarrage, véhicules autoguidés, et désormais des **remorqueurs autonomes** pour accueillir les portes conteneurs, au port de Busan notamment.

# Interview

*« Dans la sphère de l'entrepôt, on note une très forte accélération de l'automatisation, notamment avec le développement de nouvelles technologies robotiques. Cela permet de fiabiliser les flux, de diminuer la pénibilité et les tâches accidentogènes et le besoin en main d'œuvre.*

*Dans le milieu portuaire, c'est particulièrement vrai pour les opérations fastidieuses, pénibles : par exemple, lors du déchargement des conteneurs. Il y a maintenant des robots qui entrent dans les conteneurs, et posent la marchandise sur les convoyeurs, ce qu'on appelle des robots "décamionneurs". »*

Yannick Navel,  
Expert Supply Chain Wavestone



Aujourd'hui, la tendance se confirme puisque les plus grands ports mondiaux travaillent sur des **projets de terminaux entièrement automatisés**, bien qu'aucun ne soit encore finalisé. Parmi les projets à des stades avancés, on trouve par exemple les ports de Yangshan, le port de Singapour avec le Terminal Tuas, le port d'Auckland ou encore le port de Rotterdam.

Globalement, les étapes de la manutention qui sont le plus largement automatisées sont les fonctions de triage et le transport horizontal (entre le quai et la cour). Le transport entre le quai et le dépôt a été automatisé seulement dans quelques terminaux, comme au terminal automatisé du port de Rotterdam où les conteneurs sont chargés et déchargés par des palonniers automatiques puis transportés par des véhicules à guidage automatique (AGV). Aucun terminal ne dispose de grues de quai entièrement automatisées à ce jour.

Le **contrôle à distance des appareils** a pu être développé en corolaire à l'automatisation des appareils, et permet de gagner en efficacité en même temps que de désengorger le port du transit des travailleurs. Le port de Busan a par exemple développé des grues portuaires qui peuvent être contrôlées à distance. Pour ce faire, le **déploiement des infrastructures réseau adaptées est un prérequis**. Ainsi, le port du Busan a déployé la 5G à ultra-haut débit et à faible latence. Le port de Shanghai quant à lui a noué un partenariat avec Huawei pour un projet de centre de commande et de contrôle intelligent, premier projet au monde à appliquer la technologie de réseau optique pour le contrôle à distance centralisé dans les ports.



## L'automatisation sur l'un des plus grands ports à conteneurs du monde : Terminal 4 du port de Yangshan (Shangai)

La Chine dispose d'une place de choix dans le commerce international et compte parmi les plus grands ports à conteneurs du monde. Le port de Yangshan soutient largement la performance de Shangai, puisque le port construit en eaux profondes a enregistré un débit de conteneurs de 22,81 millions d'EVP (équivalent vingt pieds) en 2021.

### 0 travailleurs

Il n'y a pas de main d'œuvre travaillant sur le terminal automatisé du port de Yangshan, seulement des opérateurs qui contrôlent les appareils à distance.

Au terminal 4, inauguré en 2017, l'automatisation et le contrôle à distance des appareils sont de mise, ainsi que le pilotage par IA. Il n'y a pas de main d'œuvre travaillant sur le terminal, les grues à conteneurs ainsi que les ponts roulants sont commandés à distance par des opérateurs.

Les camions porte-conteneurs ont été remplacés par des véhicules à guidage automatique (AGV) capables de conduite sans pilote, navigation automatique, et optimisation de la trajectoire, ainsi que de la prévention proactive des défaillances. Grâce à des équipements de communication sans fil et à un système de répartition automatique, les AGV peuvent se déplacer librement avec un positionnement précis afin d'exécuter avec exactitude et systématisme les instructions fournies par le système.

Le système est soutenu par le déploiement de la technologie 5G LTE 5,8 GHz, qui crée un réseau fiable indispensable pour les véhicules autoguidés et les exigences rigoureuses suivantes au réseau de communication sans fil : la latence de transmission de l'ensemble du réseau ne doit pas dépasser 50 millisecondes.





## Utiliser des nouvelles technologies et techniques pour maximiser la capacité des espaces de stockage

Le port est une zone géographique vaste mais néanmoins sous pression : la zone accueille de nombreuses activités, et demeure obligatoirement circonscrite au bord de mer. Pourtant, elle doit accueillir et **stocker les marchandises** entre les différentes étapes de la chaîne logistique. Le stockage est donc un enjeu fort pour le port, d'autant plus que le **volume de marchandises échangées augmente**, et que les **exigences de rapidité peuvent demander des opérations de manutention supplémentaires**, notamment dans le cas où des conteneurs sont superposés.

Pour répondre à cette problématique, les solutions de **jumeaux numériques** permettent de mieux **anticiper les volumes de conteneurs** et de **prendre des décisions sur la façon de les entreposer**. A l'échelle de l'entrepôt, ils permettent aux opérateurs de connaître le meilleur chemin pour récupérer un colis et d'optimiser l'agencement des colis et palettes. Le port de Singapour s'est illustré avec la solution **SINGAPort Studio** : **ce jumeau numérique du port, combiné à l'intelligence artificielle et au big data, permet l'aide à la décision**. En croisant et en structurant les données d'activité de l'entrepôt et celles issues des différents maillons de la supply chain (demande client, itinéraire de transport, etc.), les algorithmes de machine learning produisent des scénarios prédictifs et les changements à même d'influencer un process, une machine ou l'entrepôt entier peuvent être étudiés virtuellement avant d'être réellement mis en œuvre. L'outil est donc utile pour la gestion des opérations portuaires en général, et particulièrement pour **optimiser le stockage de conteneurs**.

Concernant les solutions techniques permettant **d'optimiser l'espace de stockage et les opérations de manutention**, le projet Boxbay mis en œuvre au port de Jebel Ali à Dubaï mérite attention. Il s'agit d'un système de racks de 11 mètres de hauteur, permettant de **maximiser le nombre de conteneurs stockés sur un espace délimité** tout en **limitant les opérations de manutention** à réaliser pour accéder aux conteneurs empilés. Après une phase pilote concluante, puisque la solution permet de tripler le volume de conteneurs stockés et de réduire de 70% l'empreinte des terminaux, le port de Jebel Ali a adopté la solution.

# Le suivi administratif et opérationnel des marchandises, un nouveau levier de performance

La rapidité du transit et la traçabilité des marchandises constituent aujourd'hui des éléments essentiels de la performance des ports. A ce titre, la **digitalisation des processus** administratifs et opérationnels sont de véritables leviers. Pour le suivi administratif des marchandises, la **digitalisation** est un processus long qui implique un grand nombre de parties prenantes, mais qui permet néanmoins des gains de productivité considérables ainsi qu'une plus grande fiabilité. Pour le suivi opérationnel, les **applications de partage de données** ainsi que la démocratisation de l'**IoT** permettent un suivi en temps réel des marchandises, y compris lors des déchargements de vrac. Enfin l'irruption de la **blockchain** apparaît comme une innovation particulièrement adaptée en ce qu'elle fiabilise les informations sur le suivi des marchandises.

## Digitaliser les procédures administratives

La digitalisation procédures administratives, permet des **gains d'efficacité**. La réduction des échanges par appel, mail et courrier, très chronophages, est d'autant plus importante que la circulation rapide de l'information est un élément de performance capital, et qu'il y a des tensions fortes sur le marché de l'emploi dans le secteur portuaire. La digitalisation offre également une **expérience utilisateur améliorée** pour les transporteurs et une **fiabilité accrue** pour les autorités douanières.

C'est en particulier une dématérialisation des procédures réglementaires à laquelle on assiste. Par exemple, Singapour a mis en place son application digitalPORT@SG qui centralise toutes les démarches pour soumettre, suivre et recevoir l'approbation des navires à l'arrivée et au départ du port. Au port de Jebel Ali à Dubaï, les procédures sont encore facilitées pour les titulaires d'une licence dans la zone franche, proche du port, qui peuvent bénéficier d'un laissez-passer créé en ligne pour le transport de leurs marchandises. La plateforme Dubaï Trade intègre une large panoplie de services (réservation d'un poste d'amarrage, soumission d'un manifeste, d'une liste de chargement ou de déchargement, suivi des mouvements de porte et des inventaires de cour, génération d'ordres de livraison, de demandes de libération et d'acceptation de conteneurs ... ) pour tous les acteurs des opérations commerciales et logistiques (le port, les douanes, les importateurs et exportateurs, les compagnies et agents maritimes, les transporteurs ...).

Les progrès les plus récents s'inscrivent dans la continuité de la digitalisation observée pour faciliter encore davantage les démarches, comme le calcul automatique des frais et le paiement en ligne. A Amsterdam par exemple, l'application Poséidon centralise les données de traqueurs sur le temps de séjour des péniches et calcule ainsi le montant exact des droits à payer par les péniches, puis facture en fonction du nombre d'heures passées au port via l'application.

## Faciliter et fiabiliser le suivi opérationnel

Par ailleurs, les ports participent au bon partage de l'information et à une plus grande **transparence sur le suivi des marchandises**.

Pour ce faire, les ports contribuent aux **API de partage de la donnée et aux solutions de TOS** notamment, afin d'améliorer le suivi opérationnel et la transparence avec les exportateurs, importateurs et transitaires qui peuvent suivre le fret en temps réel, du quai à la destination intérieure.

Aussi, les technologies **IoT** peuvent s'avérer utiles en matière de suivi des marchandises. Les solutions de Smart Conteneur permettent de connaître la position ainsi que le statut des conteneurs en temps réel, et peuvent en cas de demande alerter le transporteur d'un changement de statut ou d'une situation anormale. Utilisant l'IoT, la technologie Ubitrack, développée à Marseille Fos, permet de **suivre en temps réel l'état du déchargement des bateaux de vrac** grâce à l'utilisation des balises bluetooth posées sur les camions de déchargement, de boîtiers d'écoute posés sur les portes de hangar et des zones sensibles (la pesée, les quais, les entrées et sorties de site). Les informations collectées permettent non seulement une grande transparence sur le suivi des opérations mais peuvent aussi être utiles dans le cas d'un litige avec l'armateur entre les tonnages déclarés et constatés par exemple.

Enfin, la **blockchain** apparaît comme une solution transverse, puisqu'il s'agit d'une technologie **utile tant pour le suivi administratif que logistique**. Les solutions développées permettent de partager les documents nécessaires au transit de la marchandise de façon sécurisée. C'est notamment ce que propose **Tradelens**, une solution blockchain créée par IBM et dédiée au suivi des marchandises et au partage documentaire, qui réunit des acteurs tels que les expéditeurs, les transitaires, les ports et terminaux, les transporteurs maritimes, les opérateurs intermodaux, les autorités gouvernementales, la douane... La solution permet par exemple la **transmission du document de connaissance** par la blockchain, ainsi que des informations de **suivi en temps réel de la position des conteneurs et de leur statut dans le port**. Pour ce type de solutions, l'implication des ports et la digitalisation des activités portuaires est indispensable à la collecte et au partage de la donnée. Les ports eux-mêmes tirent parti de ces solutions qui permettent des gains de productivité grâce à des **procédures documentaires accélérées et sécurisées, des contrôles douaniers facilités, et une fluidité accrue au terminal**.



## La maintenance, élément déterminant pour la continuité de l'activité portuaire

La maintenance est un enjeu essentiel du port puisque la continuité des activités en dépend : des travaux de maintenance prolongés, en raison du mauvais état des infrastructures et des machines, pourraient avoir pour conséquence de **perturber, voire interrompre les activités du port**. Anticiper et organiser la maintenance est donc un élément essentiel de performance. Deux ensembles de solution permettent d'y répondre.

D'abord, les solutions visant à **surveiller le bon état des infrastructures, appareils et machines**, qui sont principalement des **drones ou des capteurs croisés à des systèmes d'IA**, et qui peuvent éventuellement alimenter des représentations du port en **jumeaux numériques**.

D'autre part, des solutions de **maintenance prédictive** qui utilisent la **donnée** sur les derniers incidents et réparations afin de prévoir les prochaines interventions nécessaires, et ainsi d'optimiser les opérations et les coûts.

### Capteurs, IoT et jumeaux numériques afin de détecter et corriger les anomalies

Les solutions de surveillance automatisée sont particulièrement utilisées pour contrôler la profondeur des eaux portuaires ainsi que l'état des infrastructures routières utiles à l'acheminement des marchandises.

Ainsi, de nombreux ports utilisent des **drones équipés de capteurs** permettant de vérifier que le port dispose de la **profondeur** nécessaire à l'accueil des plus gros navires, afin que le port puisse entreprendre un dragage le cas échéant. Ces drones dits « de sondage » sont notamment utilisés au port du Havre. A Anvers, c'est un bateau sondeur autonome à émission zéro, l'Echodrone, qui circule dans les eaux du port de sorte à réaliser les mesures en continu.

Par ailleurs, des **capteurs** peuvent être installés afin de **détecter lorsque des infrastructures sont endommagées**. Par exemple, le port d'Hambourg a mis en place des capteurs sur les aiguillages fréquemment utilisés sur le chemin de fer portuaire afin de recueillir des informations sur l'état et l'usure des intersections opérationnelles essentielles. Cela permet d'identifier les travaux de maintenance ou les réparations à un stade précoce, en évitant les temps d'arrêt.

## Les jumeaux numériques pour la maintenance : Smart Bridge au port de Hambourg

L'autorité portuaire d'Hambourg a mis en place le projet Smart BRIDGE Hamburg : un jumeau numérique du pont Köhlbrandbrücke, un monument important qui constitue l'artère principale du trafic qui traverse le port de Hambourg. Construit dans les années 1970, la structure est soumise à de fortes contraintes dues à l'augmentation du trafic routier : jusqu'à 36 000 véhicules passent sur le pont chaque jour



Dans le cadre du projet, le pont Köhlbrandbrücke est équipé de plus de 500 capteurs, qui mesurent l'état du pont en temps réel. Ces indicateurs d'état sont fusionnés avec un modèle 3D du pont et transformés en jumeau numérique.



Le jumeau numérique est utilisé par les ingénieurs afin d'avoir une vue d'ensemble de l'état du pont et d'effectuer des opérations de maintenance en amont des dommages importants : le logiciel détecte immédiatement les dommages mineurs, de sorte que les techniciens peuvent effectuer de petites mesures de maintenance pour éviter d'importantes mesures correctives.



Les périodes d'indisponibilité du pont causées par des travaux sont considérablement réduites, ce qui maximise la performance du port puisque le pont en est la voie d'accès privilégiée. Cela permet par ailleurs des économies en matière de coûts de réparation, ainsi qu'une réduction des émissions grâce à un trafic plus fluide.

L'autorité portuaire d'Hambourg prévoit d'appliquer cette technologie à d'autres actifs infrastructures telles que les ponts, les murs de quai et les écluses.

## Prédire les futurs dommages grâce à la donnée

Les outils mêlant Big Data et Intelligence Artificielle afin de réaliser des prédictions commencent à être utilisés dans le domaine de la maintenance portuaire, afin de prévoir les prochaines maintenances nécessaires pour les infrastructures et les machines. Il s'agit donc d'outils qui croisent les données sur les évènements passés avec les données en temps réel afin de réaliser, grâce à des algorithmes, des prédictions sur les futurs évènements.

FOCUS

### CANSCAN : Détection des dommages, maintenance prédictive des conteneurs

La Start Up CANSCAN propose une solution alliant IA et Technologie Visuelle qui permet de détecter à distance et de manière automatisée les conteneurs défectueux. Le système se connecte aux caméras des terminaux, analyse les images, identifie les conteneurs problématiques et renvoie les informations à l'armateur. L'objectif de la solution est d'automatiser les processus et de classifier les dommages par type (trou, rouille, bosses, ...) ainsi que de mesurer leur étendue.

Les données collectées par le système permettent ensuite de savoir d'une part, en fonction des normes de l'armateur, si le conteneur est trop abîmé pour embarquer sur le bateau, et d'autre part, de savoir à qui incombe la réparation des dommages par le dépôt du port.

CANSCAN travaille sur un projet de maintenance prédictive des conteneurs grâce à la donnée accumulée. Il consisterait en la prédiction des futures échéances de réparation par conteneur afin que l'armateur puisse anticiper et effectuer les réparations au moment et sur le lieu les plus opportuns.



## Maintenance prédictive des infrastructures au port de Rotterdam

Afin d'assurer son développement économique de façon durable, le port de Rotterdam, plus grand port à conteneurs d'Europe, a investi dans des infrastructures et développé un système de gestion des actifs pour l'entretien et la réparation efficaces de ses structures maritimes : le système KMS (abréviation néerlandaise de "système de modélisation des murs de quai") développé en collaboration la société d'ingénierie SIMCO Technologies et Traduco Asset Management.

En effet, sur le port, les structures, notamment des éléments en béton et en acier, sont exposés à un large éventail d'environnements agressifs.

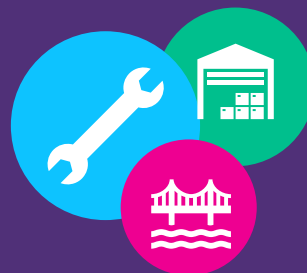
50  
ans

La durée de vie typique des structures de génie civil maritime est d'environ 50 ans.

Ainsi, afin de gérer ces actifs de manière efficace et efficiente, le port a développé un système qui assure le suivi de la maintenance annuelle requise, prévoit et hiérarchise les coûts à court et à long terme pour maintenir ces structures en service, et fournit des simulations des différentes alternatives de maintenance et de réparation et de leur effet sur la durée de vie de leurs structures.

Par exemple, le système analyse les risques et les causes possibles qui mettent en danger les structures (ou des parties de celles-ci) en ce qui concerne la disponibilité, la sécurité structurelle, la durabilité et l'esthétique ; il classe les risques associés au maintien de la fonctionnalité souhaitée, puis présente les conséquences financières du report de la maintenance requise pour des raisons budgétaires ou économiques.

Cela permet de s'assurer que les dépenses et la maintenance sont effectuées sur les structures les plus importantes économiquement pour l'Autorité portuaire de Rotterdam et pour lesquelles les risques de sécurité sont les plus élevés.





# Transition écologique

---

Produire des énergies renouvelables, mettre en place des infrastructures et des machines portuaires moins polluantes, optimiser l'utilisation d'énergie sur la zone industrialo-portuaire : les ports disposent de plusieurs leviers pour agir en faveur d'une transition écologique.

# Résumé

Le transport maritime est en augmentation et représente une part non négligeable des émissions globales de gaz à effet de serre : **1056 millions de tonnes de CO2 en 2018**, soit environ **2,89% des émissions anthropiques** mondiales totales de CO2 pour cette même année<sup>1</sup>.

Au sein même des transports maritimes, l'activité portuaire serait responsable de **15 % des émissions nocives**. L'essentiel - 70 % - est lié aux émissions des navires. Ainsi, les organes internationaux de régulation de l'activité maritime ont fixé des objectifs de réduction **des émissions de CO2 liées au transport de 70% d'ici 2050** par rapport à 2008, fidèlement aux objectifs de température fixés dans l'Accord de Paris<sup>2</sup>.

A l'étude des différentes initiatives prises par les ports en matière d'écologie, il apparait que ceux-ci réalisent de véritables efforts, non seulement pour **réduire leurs propres émissions**, mais aussi afin de **contribuer à réduire l'empreinte de leur écosystème logistique et industriel**.

## Gestion des flux



Les ports mettent à profit capteurs, drones, Big Data et IA afin d'optimiser au maximum les trajets effectués sur la zone portuaire et sa périphérie. Ainsi, la meilleure gestion des flux routiers, ferroviaires et maritimes permet de réduire considérablement les émissions.

## Lutte contre la pollution



Les capteurs sont déjà utilisés depuis plusieurs années en milieu portuaire afin de contrôler la qualité de l'air et de l'eau. L'usage répandu de l'IA permet désormais d'exploiter ces données de la meilleure manière, notamment afin de mesurer les impacts sur la biodiversité et d'adapter l'activité du port.

## Transition énergétique



Les ports tirent parti de leur situation privilégiée afin de produire des énergies propres (notamment éolien, photovoltaïque et hydrogène). Utilisées pour alimenter les infrastructures/machines portuaires, mais aussi parfois pour alimenter la zone industrielle, elles témoignent de la contribution des ports à la transition de leur écosystème.

Dans les prochaines années, on peut s'attendre à voir émerger des initiatives conjointes des ports et des acteurs du transport pour réduire les émissions. En effet, la prise en compte des émissions de Scope 3 dans le calcul de l'empreinte des multinationales (une dimension des indicateurs extra-financiers) devrait mener à une pression croissante pour rendre plus propre le secteur de la logistique dans son ensemble.

1. (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study. Organisation Maritime Internationale (OMI). <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1596.aspx>

2. Maréchal, A. (2022, 4 mai). « Comment réduire l'empreinte carbone du fret maritime ? ». *Polytechnique insights*. <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/les-innovations-bas-carbone-du-fret-maritime/comment-reduire-l-empreinte-carbone-du-fret-maritime/>

## Gestion des flux

Les ports sont des maillons incontournables du transport maritime et de l'intermodalité dans les chaînes logistiques. En particulier, **les ports sont responsables ou s'insèrent dans plusieurs types de flux polluants** : les **flux maritimes** liés à l'arrivée et au départ des portes conteneurs au port, les **flux ferroviaires** pour les ports qui disposent de lignes de chemin de fer, et les **flux routiers** qui participent à la fois au transport de marchandises et aux activités liées à l'exploitation du port et des terminaux. Pour chacun d'entre eux, des applications mettant en œuvre IoT, Big Data et IA se développent afin d'**optimiser les flux** en vue de réduire les émissions.

### Optimisation des routes et vitesses en approche et au départ des ports pour les navires et trains

Concernant le trafic maritime, une part conséquente des émissions de GES liée au **transport de marchandises est réalisée à l'approche et au départ du port**, en particulier parce qu'il s'agit d'une zone sujette à la congestion. Dans cette mesure, l'un des moyens principaux mis à disposition des ports pour améliorer leur performance opérationnelle et environnementale réside dans les API appelées « **Port Community System** » (PCS) qui permettent de combiner des données telles que la position des navires, les terminaux et équipes disponibles sur le port, ou encore la météo pour anticiper et programmer l'arrivée des navires. Du point de vue environnemental, le principal apport de ces API est de pouvoir réduire les émissions de CO<sub>2</sub> durant les approches portuaires, en adaptant la vitesse du navire en fonction du moment d'arrivée opportun. C'est ce que propose la plateforme française SINAY : grâce au croisement des données sur la météo, la position des navires, les terminaux et les équipes disponibles, l'IA peut indiquer la vitesse optimale à adopter pour le navire afin d'éviter l'utilisation inutile de carburant et limiter les émissions de CO<sub>2</sub> et des polluants dans l'air en proximité du port.

Les ports peuvent par ailleurs contribuer à réduire l'empreinte globale du trafic maritime en mettant à disposition des **calculateurs d'émissions** pour les acteurs de la chaîne logistique. Barcelone propose un éco-calculateur qui permet de connaître les émissions de CO<sub>2</sub> associées au transport de chaque conteneur qui transite par le port. Marseille, avec sa solution « Shift by Searoutes », propose de calculer les émissions associées à un trajet et de donner la meilleure alternative en termes d'itinéraire et de mode de transport. Ainsi, si le transporteur s'appuie sur l'écocalculateur pour choisir son itinéraire, cela contribue à diminuer l'empreinte de l'activité.

Concernant le trafic ferroviaire, moins polluant mais néanmoins à prendre en compte, nous prendrons pour exemple le port de Montréal, qui gère le **trafic ferroviaire** au départ et à l'arrivée de son port. Le port a développé et financé intégralement le projet Real Vision Analytics. Celui-ci consiste en un **algorithme intégré à une tablette à bord des locomotives**, qui calcule à partir de la charge à tirer, du poids du train et de la manœuvre à effectuer comment distribuer de la puissance et la vitesse optimale.

Qu'il s'agisse du trafic maritime ou ferroviaire, les solutions visent globalement à combiner un grand nombre d'informations afin de prendre des décisions sur la façon de réaliser les manœuvres, de sorte à limiter la consommation de carburant et les émissions de GES.





## Gestion des flux sur le port : planification et optimisation des itinéraires des véhicules

Le port est le lieu de nombreux échanges routiers liés à l'exploitation portuaire ou au transport de marchandises qui peuvent créer de la congestion et des émissions supplémentaires de GES. Pour **optimiser les flux liés au trafic routier**, une variété de solutions sont mises en place par les ports : prédiction et information sur le **trafic routier dans l'enceinte du port** pour inciter les transporteurs routiers à modifier leurs planification, **gestion intelligente des feux de signalisation** pour éviter les arrêts et redémarrages coûteux en carburant et en pollution de l'air, **information géolocalisée en temps réel des conteneurs vides** pour une meilleure prise en charge, jalonnement dynamique pour informer des espaces de stationnement disponibles afin d'optimiser les déplacements ...

Parmi les solutions visant à donner une bonne information aux transporteurs afin qu'ils planifient leur déplacement, le port de Barcelone s'illustre avec le « **portail Access Time** » qui permet de vérifier le temps moyen d'entrée aux terminaux à conteneurs une fois que le camion est entré dans le port. Aussi, le projet T-Systems en développement anticipera le volume du trafic deux heures à l'avance, ce qui permettra aux camions d'anticiper leur heure d'arrivée et d'éviter la congestion dans le port. Combiné aux solutions cloud d'Amazon Web Services et à des technologies d'analyse vidéo pour observer le passage des camions à différents endroits de l'enceinte, l'application pourra calculer automatiquement le temps que met un même camion à passer entre différents points en fonction de l'heure de la journée et de la capacité du port.

A Montréal, le même type d'application est utilisé depuis 2016 et propose depuis peu de traduire le temps de trajet des camions en émissions de gaz à effet de serre, et rend ainsi compte en temps réel des émissions dans le port. De nouveau, l'objectif est d'inciter les camions à prendre les meilleurs itinéraires et à utiliser les plages horaires les moins congestionnées (notamment la nuit.) Depuis 2019, l'implémentation de l'IA permet de donner des prédictions de temps de rotation des camions jusqu'à 24 heures à l'avance. Ces prédictions offrent une visibilité supplémentaire pour informer la planification des visites portuaires et des répartitions pour les 2 500 camions qui visitent le port quotidiennement. Depuis son introduction, le port a pu réduire les temps de traitement des camions de 5 % malgré une augmentation de 30 % du volume des camions.

Aussi, certaines solutions permettent de **réduire les émissions en contrôlant le trafic routier de façon optimale à l'aide des feux de signalisation** : à Los Angeles par exemple, Geostamp fournit en temps réel les temps de déplacement des camions et les temps de rotation des terminaux et l'application Eco-Drive utilise les informations sur la synchronisation des feux de circulation pour aider les camions à optimiser leur accélération et leur décélération. A Hambourg, la technologie V2X est employée pour prolonger la phase verte des feux de signalisation à l'approche des camions.

Enfin, des solutions permettent d'optimiser les déplacements nécessaires à la récupération des conteneurs vides dans l'enceinte du port en informant les opérateurs responsables, comme à Hambourg.

## Gestion intelligente des mobilités au port d'Hambourg



### Green4TransPORT : gestion durable du trafic

Technologie V2X qui détecte l'approche de afin de prolonger la phase verte des feux de signalisation.

Limite les arrêts et redémarrages devant les feux de signalisation, ce qui réduit la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi l'usure des matériaux.



### MOZART : "Mobility OptimiZation and Analysis in Real Time »

Technologie qui réalise une analyse globale de l'état du réseau et une commande coordonnée des feux de signalisation à l'échelle du réseau pour réguler le flux de circulation.

Il propose ensuite aux véhicules le circuit optimal.



### Dépôt Virtuel des conteneurs

Technologie de cloud qui informe les opérateurs participants de la présence de conteneurs vides devant être ramenés au dépôt.

Permet d'optimiser de déplacement des conteneurs vides entre les entreprises chargées du conditionnement et d'éviter les voyages « à vide » des camions vers le dépôt.



### Smart Area Parking : stationnement intelligent

Technologie de calcul de l'occupation des places de stationnement en fonction des flux entrants et sortants.

Mise à disposition des informations aux utilisateurs grâce à des panneaux, ce qui permet de réduire le trafic lié à la recherche de places.

## Lutte contre la pollution

Les ports sont le lieu d'activités logistiques et industrielles polluantes, d'une telle ampleur qu'elles sont parfois visibles : nombre de riverains se plaignent des fumées toxiques dégagées par les ports. Afin de contrôler et de limiter les impacts de leur activité, les ports mettent en œuvre des outils et dispositifs afin de **mesurer la pollution de l'air et de l'eau et d'adapter leur activité en conséquence**.

Ainsi, les ports mettent en place des caméras, drones et capteurs, souvent focalisés sur un type de pollution, afin de suivre celle-ci. Il peut s'agir de capteurs intelligents et parfois intégrés aux objets utilisés dans le cadre des activités du port. Les données collectées permettent de suivre l'évolution de la pollution et de vérifier le respect des normes environnementales voire de réaliser des **simulations d'impact environnemental** d'activité portuaire, prises en compte pour le pilotage des activités du port.

Une fois la pollution mesurée et identifiée, il s'agit pour les ports de traiter celle-ci. Pour ce faire, de multiples **solutions de biotraitement** se développent ainsi que des **robots pour dépolluer**. Par ailleurs, les ports peuvent user de **mesures incitatives** afin d'influencer leur écosystème, par exemple en proposant des **tarifs avantageux aux navires les moins polluants**, ce qui réduit la pollution sur le port.

### FOCUS

## SINAY : Plateforme Cloud de gestion de la donnée environnementale et observatoire de la biodiversité

La plateforme proposée par SINAY, notamment utilisée au port du Havre, est un exemple probant de la façon dont les capteurs de pollution peuvent être utilisés pour obtenir une vue panoramique des impacts du port sur la biodiversité.

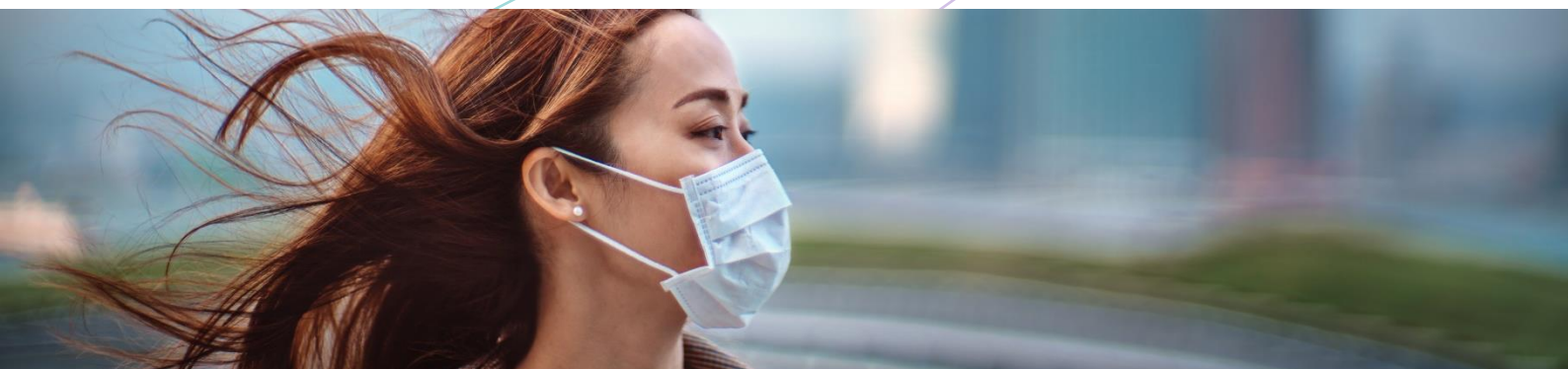
En effet, SINAY agrège des données d'archive sur la météo et sur la biodiversité (mammifères et oiseaux marins, végétation...) avec des données actuelles issues de capteurs (air, eau, bruit aérien et sous-marin) d'une grande précision.

Grace à ces données, la plateforme fournit des indicateurs clés aux acteurs du port sur les enjeux environnementaux. Une IA prédit par ailleurs la pollution et les dommages des activités sur la biodiversité, ce qui permet au port d'adapter les projets et les opérations en conséquence.

## Pollution de l'air

La lutte contre la pollution de l'air sert le double objectif de réduction des émissions de GES ainsi que de réduction des pollutions nocives pour la santé (particules ultra fines, Nox et Sox, suie...). Elle se décline en deux temps : une phase de mesure de la grâce à une variété de capteurs, et une seconde phase de traitement des émissions.

Ainsi, plusieurs solutions portent sur le biotraitement des émissions de CO<sub>2</sub>. Par exemple, le projet Vasco 2 du port de Marseille Fos permet la **valorisation biologique des fumées industrielles**. Expérimenté pendant trois ans dans la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer, Vasco 2 est une solution inédite de culture de microalgues grâce aux fumées industrielles puis de production de biocarburant. A Anvers, un autre projet de **traitement du CO<sub>2</sub>** a vu le jour. Le projet CCUS (Carbon Capture Utilisation & Storage) a mis en collaboration de nombreux acteurs du secteur énergétique (Air Liquide, BASF, Borealis, ExxonMobil, INEOS, Fluxys, Total) afin de capturer la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> du port à l'horizon 2030. A Marseille, le projet européen Carbon4PUR vise à **recycler des gaz industriels** (fraction CO<sub>2</sub>/CO) en composants intermédiaires rentrant dans la fabrication de plastiques polyuréthane et de polyols pour des applications liées à l'isolation thermique (mousses rigides) et aux revêtements (résines époxy). Enfin, le projet OCEAMm pour « Optimisation de la Combustion et des Émissions à l'Atmosphère des Moteurs marins », testé sur les navires de croisière de la Méridionale, a prouvé sa capacité à détruire jusqu'à 95% des Particules Ultra-Fines et 25% des Particules-suie issues du fioul lourd consommé sur un moteur Diesel marin<sup>3</sup>.



3. Réduction des particules polluantes et des fumées des navires. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). <https://librairieademe.fr/mobilite-et-transport/5235-reduction-des-particules-polluantes-des-fumees-des-navires.html>



Aussi, les ports peuvent tirer avantage de leur position pour influencer leur écosystème, en attribuant des tarifs préférentiels aux compagnies les moins polluantes. En plus d'avoir des conséquences directes sur la pollution au port, il s'agit de mesures avec une influence positive sur l'empreinte du secteur de la logistique et du tourisme.

*C'est l'objet de l'initiative ESI, « Environmental Ship Index » (ou « Index Environnemental des Navires » en Français), qui permet d'attribuer un score aux bateaux sur la base de critères environnementaux : la performance de sa motorisation (émissions atmosphériques (SO<sub>2</sub>, Nox, PM, CO<sub>2</sub>), de ses équipements présents à bord et de la qualité des carburants utilisés. À partir d'un seuil d'éligibilité défini par chaque port, les navires avec un bon score obtiennent une « incitation environnementale » sous la forme d'une réduction des frais d'escale.*

Plus de 50 ports mondiaux ont déjà mis en place des mécanismes incitatifs basés sur l'ESI, dont les plus grands ports français, Le Havre et Marseille, Tokyo au Japon, Ulsan en Corée du Sud, le Canal de Panama, Vancouver au Canada, Los Angeles et New-York aux Etats-Unis, Melbourne en Australie, Rotterdam, Hambourg, Brême, Anvers, Amsterdam, Londres en Europe ...

## Pollution de l'eau

Par nature, les activités du port entraînent des conséquences sur la pollution de l'eau. De nouveau, l'enjeu pour les ports est de quantifier voire de localiser la pollution pour pouvoir ensuite agir sur l'assainissement du milieu.

Ce dispositif en deux temps est notamment appliqué pour un problème propre au transport maritime : les marées noires (écoulements de produits pétroliers en mer). Particulièrement exposé au problème en tant que grand port de soutage, le port d'Anvers connaît chaque année environ 150 déversements d'hydrocarbures. La plupart d'entre eux sont de petits déversements, mais il s'agit parfois d'incidents plus importants ayant un impact significatif sur l'environnement. Le port a donc mis en place des drones télécommandés couvrant les zones d'eau dans le port 8 à 10 heures par jour - et équipés d'un logiciel de vision par ordinateur pour détecter les déversements de pétrole, et d'identifier la cause et les parties impliquées.

Plus généralement, l'usage des drones ne se cantonne pas au cas du pétrole. Au port d'Anvers, un modèle d'IA est développé pour **détecter la concentration de déchets sur les quais pendant les vols de drones**. Les informations collectées sont transmises aux navires du port dédiés au nettoyage qui peuvent ainsi optimiser leurs trajectoires afin de se rendre directement dans les zones identifiées par les drones.

Aussi, des procédés sont développés afin de **traiter la pollution de l'eau**. Il peut s'agir d'aménagements portuaires comme à Helsinki où il est désormais possible de déverser les eaux usées des bateaux directement dans le réseau d'assainissement municipal, grâce à des travaux effectués sur les quais. Il peut aussi s'agir de solutions techniques de biotraitement comme Forward Water qui est utilisé au port de Rotterdam et dans les ports canadiens afin d'assainir l'eau par le processus dit d'« osmose inverse » ; Acqua Smart Use pour le recyclage des eaux usées sur site maritime ou encore Aqua Claer, une mini station d'épuration 100% bio à très faible consommation d'énergie et qui recycle les eaux usées au plus près de leur milieu naturel.

Enfin, les robots peuvent être utilisés pour nettoyer les pollutions maritimes peu accessibles et en continu sur la zone portuaire. Dans le cadre de la démarche Ports Propre, la métropole de Toulon a par exemple équipé plusieurs de ses ports du robot dépolluant DPOL, un aspirateur à déchets à disposer dans les angles du port.

## Transition énergétique

Les ports ont un rôle tout particulier à jouer dans la transition énergétique puisqu'ils s'insèrent dans des **secteurs particulièrement polluants**, en tant que maillon essentiel de la chaîne **logistique** et en raison de sa proximité avec l'**écosystème industriel**.

Pour **réduire les émissions** liées à leurs activités, les ports réalisent des **transformations de leurs appareils et infrastructures afin qu'ils soient alimentés par des énergies renouvelables**. En effet, les activités logistiques réalisées au port requièrent des équipements adaptés capables d'assurer le transport et la manutention de différentes charges, colis et produits : cavaliers, empileuses, chargeuses, tracteurs, pelleteuses mais aussi chariots élévateurs sont indispensables à l'activité de tout port. En mer aussi, les navires de service représentent une large gamme d'usages et d'activités pour entretenir les installations (dragues, chalands, etc.) ou pour accompagner les manœuvres d'autres navires (remorqueurs, pilotes, etc.), et des navires fluvio-maritimes assurent la liaison entre différents sites d'un même port (barges et pousseurs principalement). Enfin, des équipements fixes incontournables aux activités logistiques comme des portiques (de chargement-déchargement, de stockage, etc.), des pontons, grues ou tapis roulants, sont généralement alimentés par des groupes électrogènes diesel de forte puissance (plusieurs MW).



### Principaux équipements du port

#### Transport et manutention

- / Cavaliers
- / Empileuses
- / Chargeuses
- / Tracteurs
- / Pelleteuses
- / Chariots élévateurs

#### Equipements fixes

- / Portiques (chargement - déchargement, stockage)
- / Pontons
- / Grues
- / Tapis roulants

#### Servitudes

- / Remorqueurs
- / Barges
- / Pousseurs

#### Maintenance

- / Navires de service (dragues, chalands...)

D'autre part, les ports peuvent contribuer à la transition des secteurs logistique et industriel par la production et la mise à disposition d'énergies renouvelables. En particulier, les ports se transforment ces dernières années en construisant des **infrastructures pour la production d'énergie éolienne et photovoltaïque**, mais aussi plus récemment de l'hydrogène. Ces innovations sont associées à des mesures **d'optimisation de l'utilisation des ressources énergétiques**, dites « **Smart Grid** ». En tant qu'écosystème d'activités mobilisant un grand nombre d'acteurs aux besoins énergétiques divers et variés, les systèmes tels que l'IA et la blockchain permettent aux utilisateurs d'anticiper et d'organiser leurs besoins, et permet aux producteurs d'inciter par le prix les utilisateurs à lisser la consommation d'énergie sur la journée. Enfin, ils permettent de limiter la production à la quantité juste, et donc de polluer le moins possible.





## Eolien et Photovoltaïque

Depuis les années 2000, l'utilisation de l'éolien et du photovoltaïque pour la production d'énergie se démocratise. Les ports ont développé des installations en ce sens, notamment avec des **panneaux photovoltaïques sur la zone portuaire et de l'éolien offshore en mer**. Désormais, les innovations portent davantage sur les **dispositifs de partage de l'énergie produite sur le port avec l'écosystème portuaire** ou avec les différents acteurs qui se situent à proximité. A cette fin, l'usage de nouvelles technologies comme la Blockchain s'avère très utile.

Ainsi, comme évoqué plus haut, les **ports intègrent la production d'énergie solaire à leurs bâtiments** de façon à subvenir aux besoins du port mais également de la zone environnante. A Anvers par exemple, l'énergie éolienne produite sur le port est mise à disposition des habitants de la zone. Aussi, le port de Barcelone a récemment équipé ses bâtiments de panneaux photovoltaïques et a mis en place un système de consommation partagée avec d'autres zones du port pour faciliter l'adoption de l'électricité photovoltaïque par les locataires. Pour mener à bien ce projet, le port s'est doté d'une entité juridique dédiée aux projets énergétiques, avec pour objectif que l'énergie photovoltaïque couvre un tiers de la consommation électrique de toutes les installations situées dans la zone portuaire.

Or, le **recours à l'énergie solaire**, dont la quantité produite est limitée et fluctue en fonction des périodes, requiert une bonne **organisation**. Le port de Rotterdam fait figure d'exemple avec le dispositif DISTRO, qui met en œuvre la **blockchain afin d'organiser le marché de l'énergie solaire entre les utilisateurs de la zone portuaire**. Ceux-ci, en anticipant leur consommation 48 heures à l'avance, peuvent alors acheter de l'énergie solaire à moindre coût tout en contribuant à la pleine utilisation des ressources en énergies renouvelables du port.



## Gestion intelligente de l'énergie à Rotterdam : DISTRO, système décentralisé d'échange d'énergie électrique grâce à la technologie Blockchain



Développement de Distro par Blocklab (filiale spécialisée dans les solutions blockchain du port de Rotterdam) et S&P Global Platts.



Projet pilote conduit en 2020 auprès des entreprises de la zone d'innovation.

Test auprès d'un "micro-marché" de 32 utilisateurs.

Equipement d'un toit de panneaux solaires et d'une batterie pour stocker l'énergie produite.



Marché virtuel où les prix du kW/h sont négociés en fonction des prédictions 48h à l'avance de la quantité d'énergie produite et demandée.

L'IA prédit les schémas de consommation et de production des différents consommateurs d'électricité. Le prix de l'électricité fluctue en fonction de l'offre et de la demande. Les batteries stockent l'énergie solaire excédentaire produite sur place lorsque les niveaux de consommation sont bas, pour la revendre aux utilisateurs lorsque la production solaire est faible.



Solution à l'efficacité prouvée, commercialisée au-delà du port

Durant la phase pilote, sur le port de Rotterdam :

- Réduction du coût pour les utilisateurs (11%)
- Augmentation des revenus des producteurs locaux d'énergie renouvelable (14%)
- Augmentation de la consommation et de la production d'énergie solaire (92%).

## Hydrogène

*Le port est par nature un lieu privilégié pour la production d'hydrogène en raison de sa proximité avec la ressource hydrique. De plus, les liens avec l'industrie et le transport, secteurs extrêmement polluants, lui confèrent des facilités dans le rôle d'approvisionnement. Ainsi, un nombre croissant de ports développent des projets de production d'hydrogène, avec pour premier objectif de fournir le port pour ses besoins de fonctionnement, soit l'approvisionnement des machines et véhicules portuaires, ou avec un objectif plus ambitieux d'alimentation de la zone industrielle proche du port et des véhicules de transport.*

A ce jour, la production d'hydrogène sur le port se démocratise. Les projets se multiplient et sont d'ampleur variées. Par exemple, plusieurs ports **produisent de l'hydrogène** leur permettant d'être autosuffisants (pouvoir supporter les activités de fonctionnement du port) :

A Brème, le projet "Green Hydrogen for Bremerhaven" consiste à produire de l'énergie renouvelable supplémentaire dans les ports et de l'utiliser pour alimenter un "électrolyseur portuaire" qui produira de l'hydrogène utilisé pour alimenter les machines portuaires et de transport.

A Valence, dans le cadre du projet européen H2PORTS, le Centre National d'Hydrogène (CNH2) développe une Station de Ravitaillement en Hydrogène (HRS) qui garantira l'approvisionnement de ce carburant pour les machines portuaires. Il s'agit du premier projet européen axé sur le test d'équipements portuaires lourds et a pour objectif de démontrer et de valider au moyen d'essais en condition réelle sur deux terminaux de fret la viabilité d'engins de manutention hydrogène.

En parallèle, il est donc indispensable de développer des **machines portuaires fonctionnant à l'hydrogène** : le port d'Anvers-Bruges travaille par exemple sur des remorqueurs fonctionnant à l'hydrogène et au méthanol par exemple.



# Développement de l'hydrogène au port de Marseille

## Installation industrielle de production d'hydrogène

H2V FOS et le port de Marseille Fos ont annoncé l'implantation d'une installation industrielle de production d'hydrogène vert dans le but de décarboner les activités de la zone industrialo-portuaire de Fos.

Cette installation de 600 MW sera développée en 6 tranches de 2026 à 2031.

## Conversion du surplus d'électricité en hydrogène

Dans un premier temps, transformation du surplus d'électricité renouvelable produite en gaz afin d'être stockée.

Ensuite, conversion de l'électricité en hydrogène par deux électrolyseurs et en méthane de synthèse par un réacteur de méthanation.

## Développement de la mobilité hydrogène

Dans le cadre du projet HyAMMED, Hydrogène à Aix-Marseille pour une Mobilité Ecologique et Durable, AirLiquide va construire la première station hydrogène haute pression qui alimentera en hydrogène bas carbone la première flotte européenne de huit camions de 44 tonnes longue distance spécialement conçus dans le cadre du projet.

D'autres projets de plus grande ampleur visent à pouvoir **supporter les usages de la zone industrielle et des véhicules de transport**, nous disposons d'exemples dans lesquels les plus grands ports mondiaux s'illustrent.

A Hambourg par exemple, douze entreprises et organisations dont l'autorité portuaire se sont réunies autour du projet H2H pour la production et l'utilisation d'hydrogène, avec l'enjeu fort de réduire significativement les émissions de CO<sub>2</sub> à l'échelle de l'un des principaux ports européens. L'objectif est de produire un million de tonnes d'hydrogène d'ici 2030. Grâce à la production sur site, l'acheminement de l'hydrogène produit en mer et les connexions avec le réseau européen émergent (Backbone), le projet permettrait de réduire de 16 millions de tonnes annuelles les émissions de CO<sub>2</sub> du port, et de remplacer les combustibles fossiles par de l'hydrogène dans les industries fossiles telles que la sidérurgie, et pour le transport et la logistique.

Le port d'Anvers quant à lui a mis en place une station de production d'hydrogène par un électrolyseur de 1,2 MW. L'hydrogène produit est ensuite mis à disposition par une station de distribution située au niveau de la capitainerie du port, à la fois proche des activités logistiques ce qui permet d'alimenter les poids-lourds, navires et bateaux, mais également à proximité du tissu urbain local facilement accessible par les différentes flottes de la collectivité (bus, BOM, etc.).

Enfin, Shangaï est un exemple qui nous invite à considérer de nouveau le rôle central du port dans le développement de l'hydrogène. En effet, la Chine a défini des objectifs très ambitieux de développement de l'hydrogène à horizon 2025 et souhaite pour les atteindre construire un port dédié à l'hydrogène au sein de la zone portuaire de Yangshan, au sud de Shanghai. Ce port comprendra des **terminaux de transport maritime d'hydrogène** et des installations de stockage du carburant, notamment celui produit sur des stations offshore.



## Electrique

Enfin, le passage à l'électrique permet de réduire les émissions de gaz polluants (dioxydes de carbone et d'azote, particules...). Les ports se sont saisis de cet enjeu en favorisant l'utilisation de l'électricité plutôt que des carburants pour leurs propres usages ainsi que dans les chaînes logistiques.

Ainsi, **les ports sont en train de réaliser leur propre transition vers des machines et véhicules électriques**. Aussi, en tant que nœuds de la chaîne logistique, les ports ont un rôle important à jouer dans la **transition énergétique du secteur de la logistique**. Ils contribuent à la transition vers l'électrique en permettant notamment aux camions et aux bateaux de se recharger sur le port pour substituer l'électricité au fioul ou au gazole. Un nombre croissant de ports développent leurs infrastructures en ce sens, notamment en permettant le branchement à quai des navires. Au-delà des moyens techniques, cette innovation requiert de mettre au point des modèles économiques viables pour le port. Enfin, les ports mettent en place des dispositifs permettant **l'optimisation de l'utilisation de l'énergie électrique**. Il s'agit d'un levier pour limiter la production d'électricité au strict besoin du port et éviter les pics d'utilisation.

D'abord, les ports sont **acteurs de leur propre transition énergétique : le passage à l'électrique est de mise pour les machines et véhicules portuaires**. Cette transition pourrait permettre de réduire considérablement les émissions liées aux activités du port : l'électrification des engins de manutention permettrait par exemple de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des ports américains de 27 à 45% d'ici 2050<sup>4</sup>.

Ainsi, à Barcelone, l'utilisation de véhicules électriques pour se déplacer sur le port est de mise. Plus particulièrement, les remorqueurs évoluent : à Auckland, le premier remorqueur portuaire entièrement électrique « Sparky » a été inauguré, avec une puissance de traction de 70 tonnes, ce qui lui permet de manœuvrer même les plus grands navires. Le port de Jebel Ali à Dubaï remplace également sa flotte par des remorqueurs électriques ainsi que des navires électriques et autonomes pour les déplacements des pilotes et la maintenance du port.

4. (2016). National port strategy assessment : reducing air pollution and greenhouse gases at U.S. ports. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ports-initiative/national-port-strategy-assessment-reducing-air-pollution-and-greenhouse-gases-us>

# L'alimentation électrique des navires à quai : une opportunité et un défi pour les ports

## Réduire l'empreinte énergétique du secteur du transport maritime

---

L'électrification des terminaux, qui permet l'alimentation en électricité des navires à quai, est un levier important pour réduire les émissions de CO2 sur le port, et l'empreinte globale du secteur du transport maritime.

Il s'agit donc d'un moyen d'action important et efficace pour les ports, qui s'accompagne néanmoins de défis.

## L'électrification des quais, un désavantage concurrentiel ?

---

L'électrification des quais représente un coût important pour les ports qui se répercutent sur les frais de séjour des navires au port.

Or, sur certaines zones, la législation n'impose pas aux ports l'électrification commune des terminaux.

Dans cette mesure, les ports qui procèdent à l'électrification de leurs terminaux peuvent être désavantagés par rapport à leurs concurrents en pratiquant des tarifs plus élevés.

Aussi, en fonction des fluctuations du prix du pétrole, l'intérêt pour les armateurs du branchement à quai varie. Lorsque le prix du baril est au plus bas, les solutions de branchement à quai peuvent être délaissées.

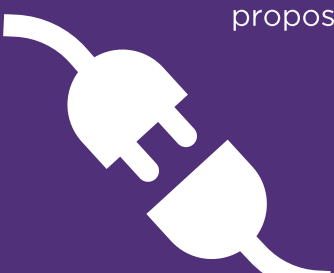
## Le modèle économique du port de Marseille

---

Comment soutenir l'installation du réseau électrique sans pour autant faire supporter les coûts aux armateurs les plus vertueux utilisant le service d'approvisionnement en électricité ?

Avec le premier terminal à avoir été électrifié en France, le port de Marseille propose un modèle économique innovant.

Le port a choisi de lisser les coûts pour tous les utilisateurs, afin de rendre l'utilisation de l'électricité rentable même quand le prix du baril est bas. Ainsi, les droits de port ont été augmentés pour tous les navires, et l'électricité est proposée à prix coûtant pour les navires souhaitant se raccorder à quai.



Dans le cas où le port assure un rôle de transport public, il peut aussi réduire son empreinte en développant des navires plus propres<sup>5</sup>. C'est l'initiative prise au port de Frihamnen à Stockholm avec le ferry Candela, le premier ferry à propulsion électrique au monde, qui sera utilisé dans les services de transport public dès 2023.

Par ailleurs, les ports jouent un rôle dans **la transition énergétique du secteur de la logistique** en permettant **l'alimentation électrique des navires à quai**. Celle-ci est déjà disponible dans un petit nombre de ports (Sydney, Marseille, Helsinki, Tallin par exemple) et devrait se multiplier dans les années à venir (un grand nombre de projets sont en cours comme à Hambourg, Malte, Barcelone, Bilbao...). Il s'agit d'un dispositif avec un impact considérable sur les émissions de GES : à quai, les moteurs auxiliaires brûlent du carburant pour générer l'électricité nécessaire à bord du navire (refroidissement des containers, ou encore activation des pompes et des grues pour le chargement de la marchandise). C'est un poste d'émissions conséquent : il représente 11 % des émissions maritimes globales. Toutefois, ce dispositif technique doit s'accompagner d'un modèle économique adapté permettant de supporter les coûts investis sans compromettre la compétitivité du port.

Enfin, la **prévision et la bonne répartition de l'énergie électrique** nécessaire permet de réduire l'empreinte énergétique en réduisant la production d'énergie au strict besoin du port. Plusieurs initiatives portuaires vont en ce sens. A Amsterdam, la SEP (Shared Energy Platform) permet aux entreprises de la zone portuaire d'Amsterdam d'échanger de l'énergie entre elles, et de faire correspondre l'offre et la demande d'électricité en temps réel. Dans le port de Hambourg, entre autres projets, un modèle de prévision pour l'achat de l'alimentation électrique à terre est en cours de développement. Les données du navire nécessaires à cet effet seront collectées automatiquement à bord et transmises à l'autorité portuaire. Sur la base des prévisions, la quantité d'électricité nécessaire pourra être achetée avant le séjour du navire dans le port.

5. Hallouet, G. (2022, 27 septembre.) « Comment décarboner les ports de commerce ? ». *Polytechnique Insight*.  
<https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/energie/comment-decarboner-les-ports-de-commerce/>



# Sécurité

---

*Risques liés au transit de marchandises, risques pour les travailleurs, et nouveaux risques de cyber-attaques : les ports font face à des enjeux de sécurité importants. Pour y répondre, les ports utilisent les nouvelles données numériques ainsi que l'IA et la Blockchain.*



# Résumé

Le volume de marchandises échangées dans le monde, qui ne cesse de croître, est assuré à 90% par voie maritime. Ainsi, les ports tiennent un rôle déterminant dans les chaînes d'approvisionnement puisqu'ils sont le lieu de transit des marchandises, dont il faut assurer la manutention, le transport et le contrôle avant l'entrée sur un nouveau territoire. Ces activités posent de forts enjeux de **sécurité**.

D'une part, le port doit gérer les **risques associés au transport de matières dangereuses et à l'introduction de produits illicites** dans les cargaisons.

D'autre part, les **employés du transport et de la manutention** sont particulièrement exposés aux **risques d'accident du travail**, et il convient donc de mettre en place des dispositifs permettant de sécuriser les activités.

Aussi, la **digitalisation des processus logistiques et portuaires** implique une **exposition croissante des ports aux risques de cyberattaques**, qui pourraient compromettre les données de tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement ainsi que paralyser les activités portuaires.



## Contrôle des marchandises

Le partage de la donnée entre les acteurs ainsi que l'usage de l'IA permettent de fiabiliser le contrôle de l'origine et la nature de la marchandise. L'usage émergent de la blockchain pour le passage des droits sur les conteneurs apparaît comme une alternative pertinente pour empêcher l'introduction de produits illicites dans les cargaisons.



## Risques sur le port

Les systèmes de contrôles d'accès, les capteurs et la vidéosurveillance permettent d'identifier les situations anormales ou dangereuses pour la sécurité des agents sur le port, qui sont signalées au centre de contrôle.

Ensuite, l'IA peut désormais filtrer les alertes, anticiper la suite des événements et proposer des plans d'action au personnel du port.



## Cybersécurité

Pour lutter contre leur exposition croissante aux cyberattaques, les ports participent et créent des fédérations d'acteurs pour partager les bonnes pratiques. Ils mettent en place de nouvelles procédures afin de sécuriser l'accès à leur réseau et prennent part aux initiatives blockchain portées par les acteurs de la logistique, qui permettent de fiabiliser la chaîne et de sécuriser l'accès aux données.

## Contrôle des marchandises

Le port, en tant que maillon des chaînes logistiques, fait face à des enjeux forts en matière de **contrôle des marchandises**. En effet, il s'agit du lieu d'entrée des marchandises sur un territoire, autant que d'un lieu de transfert des conteneurs entre les différents transporteurs, propice à l'introduction de marchandises dangereuses ou illicites dans les cargaisons. Ainsi, pour limiter les risques associés à l'arrivée et au transfert de conteneurs, plusieurs solutions ont été mises en place sur les ports. Sur le plan du **contrôle des marchandises arrivant au port**, l'usage du **Big Data** et de l'**IA** permettent de **fiabiliser** les données sur l'origine de la marchandise ainsi que leur contrôle. L'usage de la **blockchain** pour le **passage des droits sur les conteneurs** apparaît comme une alternative pour lutter contre l'introduction de produits illicites dans les cargaisons.

### Fiabiliser le contrôle de la marchandise grâce à la digitalisation du suivi administratif

Pour sécuriser le transfert de conteneurs, la digitalisation des procédures administratives peut permettre de fiabiliser les contrôles douaniers, notamment grâce au **partage d'informations entre les différents organes administratifs**. A Dubaï par exemple, depuis 2016, le système d'information des douanes est connecté à de multiples canaux d'informations qui permettent de vérifier les informations fournies par les navires, notamment auprès de la **Chambre de Commerce**. Le système est géré par le département des renseignements des douanes de Dubaï, responsable du profilage et de l'analyse de ces données afin d'identifier les risques et d'intercepter les envois suspects.

A ce titre, l'introduction de la **blockchain** pour le partage documentaire va dans le sens d'une plus grande sécurité puisqu'elle garantit l'**authenticité des documents transmis**. Le port d'Anvers présente un exemple pertinent en matière de contrôle des marchandises : l'usage de la technologie blockchain pour transférer les **certificats d'origine** et les **certificats sanitaires** des fruits néo-zélandais destinés au marché européen. L'exportateur néo-zélandais transfère les certificats à l'importateur belge, qui les transfère au transitaire, qui les transfère lui-même aux autorités belges avant la libération de la cargaison.

## Améliorer l'efficacité des contrôles douaniers grâce à l'IA

Devant le grand nombre de marchandises devant transiter quotidiennement par le port, les douanes doivent développer des méthodes de travail intelligentes. L'IA apparaît alors comme un outil pertinent pour détecter les risques et cibler les conteneurs à inspecter, autour de plusieurs usages : l'analyse des images de conteneurs passés aux rayons X, la détection des anomalies pour permettre aux contrôleurs de se concentrer sur les cas de non-conformité, et l'amélioration du ciblage pour le contrôle des cargaisons commerciales comportant des risques.

Le port de Rotterdam utilise déjà un algorithme pour identifier les marchandises concernées par les listes de sanction, et travaille actuellement sur une IA capable de repérer des marchandises suspectes sur des images radio.

## Sécuriser le moment critique du transfert de conteneur grâce à la Blockchain

Traditionnellement, le transfert des droits sur un conteneur était réalisé via la transmission d'un document papier. Désormais, il est organisé autour d'un code PIN transmis entre les différents acteurs de la chaîne logistique : la connaissance du code PIN induit le droit de récupérer le conteneur. Toutefois, il s'agit d'une solution peu sécurisée, en particulier pour les ports situés dans des régions fortement exposées au crime organisé. En effet, le code PIN constitue une solution plutôt précaire sur le plan sécuritaire puisqu'il s'agit d'une donnée facile à hacker, à transmettre à des personnes non-autorisées, et qui expose les travailleurs de la chaîne logistique à des tentatives de soudoiment ou dans le pire des cas à des agressions.

Ainsi, le port de Rotterdam a sécurisé le processus de sorte que **seulement les membres des organisations autorisées puissent accéder aux informations du PCS relatives à la libération des conteneurs**. L'introduction de la **blockchain** dans les procédures de libération des conteneurs permet de sécuriser encore davantage le processus, comme en témoigne la solution proposée par la Start-up T-Mining.

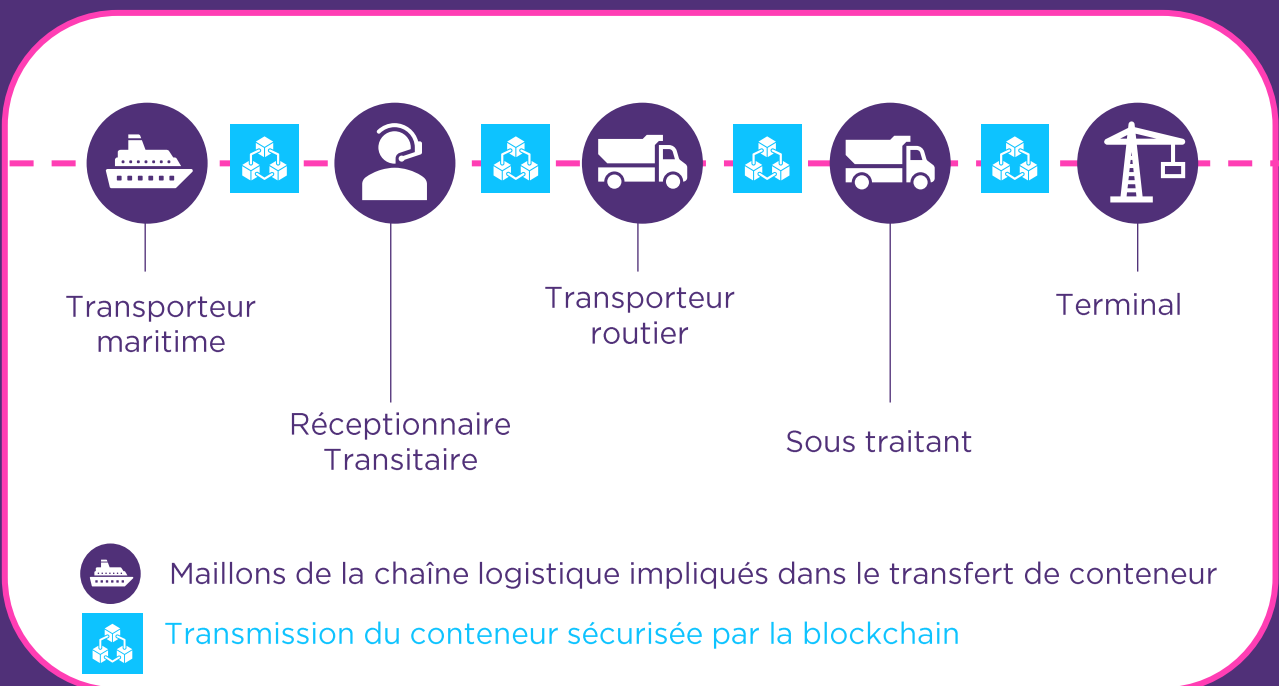
## T-Mining : la blockchain pour la libération sécurisée des conteneurs

Invitée par les autorités à proposer une solution permettant de lutter contre le crime organisé prenant place dans les ports, la start-up T-Mining a mis au point une solution introduisant la blockchain dans le processus de transfert de conteneurs entre les acteurs de la chaîne logistique.

La solution proposée consiste à remplacer le code PIN habituellement transféré entre les acteurs par un Token, inscrit dans la blockchain. Ainsi, chaque Token ne peut être transféré qu'une fois, et l'utilisateur ayant transféré le Token perd les droits sur ce dernier.

La solution est disponible sous forme d'API, afin d'être intégrée aux PCS ou aux TMS (Transport Management System) des transporteurs. Sa mise en place requiert des dispositifs d'authentification solides : on ne peut se connecter à son compte utilisateur qu'à partir du réseau de son organisation. Par ailleurs, la solution doit garantir la confidentialité et ne pas dévoiler les maillons des chaînes logistiques : chaque utilisateur dispose donc d'un identifiant unique aux yeux de chacune des parties prenantes du réseau.

La start-up envisage de mettre au point d'autres cas d'usages, comme les certificats d'origine fournis par la chambre de commerce locale.



## Sécurité sur le port

Les grands ports de commerce sont des lieux en constante effervescence, où les opérations se poursuivent en continu 24h/24 et 7j/7. Il s'agit par ailleurs de vastes lieux où transitent un nombre important de marchandises de provenance variées. Aussi, pour mener les activités portuaires, les travailleurs s'exposent à un environnement mouvant, bruyant, et à des dangers liés à l'utilisation de machines lourdes ou au risque de chute de la cargaison. Afin de sécuriser cet environnement, plusieurs outils numériques sont utilisés. D'abord, les **portes intelligentes** permettent de sécuriser l'accès au port en **contrôlant les véhicules et personnes**. Ensuite, les **capteurs et la vidéosurveillance**, connectés entre eux et au centre de contrôle, permettent une **visibilité globale** sur les alertes et une gestion centralisée des opérations. Traitées par l'IA, les alertes peuvent être filtrées et la suite des événements anticipée. Enfin, plusieurs solutions sont mises en place afin de veiller au respect des protocoles de sécurité et d'alerter lorsqu'un travailleur est en danger.

### Contrôler l'accès au port

Le premier levier pour sécuriser le port est le **contrôle d'accès**. Il s'agit d'un prérequis essentiel à la sécurisation de la zone, qui peut pourtant s'avérer difficile à réaliser en raison des nombreux points d'entrée sur le port. Les **portes intelligentes** apparaissent comme un outil pertinent pour **contrôler l'identité des individus et la conformité des droits d'entrée** sans perdre en rapidité et compromettre la performance opérationnelle du port. Au port de King Abdullah (Arabie Saoudite) par exemple, un système de portes intelligentes a été mis en place à l'entrée des terminaux afin de sécuriser l'accès aux quais. Ainsi, un système de **vérification de l'identité du conducteur, du véhicule et de la cargaison est intégré aux portes**. Le système présente par ailleurs des avantages du point de vue de l'efficacité opérationnelle, en permettant au terminal de mieux anticiper le trafic : seuls les véhicules disposant d'un rendez-vous sont invités à se présenter à la porte.





## Détecter et comprendre les situations anormales

Après l'entrée au port, il convient de **contrôler les activités et les déplacements** menés par les agents et les véhicules. Pour ce faire, les ports sont équipés de **centres de contrôle soutenus par la vidéosurveillance et les capteurs**. Ainsi, alors que les agents de sécurité suivaient en direct et en continu les caméras dans les centres de contrôle, ils sont désormais soutenus par des **systèmes d'alertes qui signalent les événements anormaux** et affichent l'image de la caméra associée à la zone à risque.

La vidéosurveillance est donc un outil très utile au maintien de la sécurité, mais **qui doit néanmoins répondre à des contraintes techniques particulières aux ports** : les matériaux sont exposés à la corrosion, les conditions météorologiques sont variables, et l'éclairage ne couvre pas l'intégralité de la vaste zone portuaire. Les capteurs, quant à eux bien adaptés aux conditions de la zone portuaire, peuvent être complémentaires pour détecter les risques. Par exemple, ils peuvent être utiles pour détecter les fuites de matières dangereuses.

L'autorité portuaire de Busan a ainsi mis en place des **capteurs** afin de détecter et d'alerter en cas de fuites. Le port d'Anvers, en tant que grande plateforme chimique (production d'environ 50 composants organiques volatils (COV)) fait face à de nombreux incidents, dont le dégazage illégal de barges-citernes. Ainsi, pour assurer une surveillance à l'échelle du port, le port d'Anvers a construit un réseau de plus de 70 « Inoses » qui mesurent la **qualité de l'air en temps réel**, mais surtout la présence de COV. Grâce à des capteurs spécifiques et à des algorithmes d'intelligence artificielle avancés, la qualité de l'air est mesurée en continu. En cas de détection de concentrations élevées, une alarme immédiate est donnée afin de déterminer la cause de l'incident, et des échantillons peuvent être prélevés à distance à l'aide de bidons présents sur les Inoses. Les informations de ces capteurs sont typiquement celles pouvant être remontées au centre de contrôle.

Finalement, **les différents types de capteurs** (vidéosurveillance, images LIDAR, son, air, etc.) **fournissent des données brutes qui alimentent des algorithmes détectant des situations anormales et déclenchant des alertes pour les opérateurs humains.**



## Contrôler le respect des protocoles de sécurité

Enfin, la technologie peut s'avérer utile pour améliorer la **sécurité des personnes travaillant sur le port**. Dans le contexte de **crise sanitaire**, l'autorité portuaire de Busan a par exemple mis en place des technologies afin de vérifier automatiquement la température corporelle des travailleurs ainsi que l'absence de masque. Elle a également conclu un protocole d'accord avec KT et Sea Bank, afin de développer de nouvelles technologies pour assurer la **sécurité des agents**. Un système de notification de détresse déclenche alors l'ouverture d'un gilet de sauvetage si une personne tombe à l'eau, et transmet automatiquement la position de la personne concernée à la base terrestre.

# Interview

*« Aujourd'hui, les PC sécurité les plus avancés permettent de superviser l'ensemble d'un espace grâce à la remontée d'alertes auprès des agents de sécurité. Lorsqu'une alerte est signalée, l'image associée s'affiche sur le mur d'images du centre de contrôle et les agents font de la levée de doute.*

*La gestion de crise est centralisée au centre de contrôle. Les agents de sécurité ont accès à la vidéosurveillance et à une cartographie de la zone avec une géolocalisation des alertes levées.*

*Grâce aux nouvelles technologies telles que le Big Data et l'IA, le PC Sécurité agit comme un véritable outil d'aide à l'exploitation pour les agents de sécurité. En fonction du type d'alerte, un plan d'action peut être pointé aux agents. Les données d'alerte sont corrélées pour aider les opérateurs à expliquer les événements voire prédire la suite des événements. »*

Gaële BACQUE,  
experte PC Sécurité



## Cybersécurité

Le caractère incontournable des systèmes de communauté portuaire (PCS) et systèmes d'opération de terminal (TOS) dans les activités portuaires témoignent bien du fait que **l'exploitation portuaire dépend de façon croissante de la technologie**. Les plus grands ports à conteneurs mondiaux tendent vers **l'automatisation** de leurs terminaux. La **digitalisation** des activités de suivi logistique et administratif de la marchandise ne fait que renforcer cette dépendance aux technologies de l'information et de la communication, soutenues par des technologies **telles que l'IoT**.

Dans ce contexte, les cyberattaques menées à l'encontre des ports peuvent **mettre en péril les activités du port** autant que les **données sensibles** de la chaîne logistique dans son intégralité. Ainsi, les ports doivent adresser des enjeux forts en matière de **cybersécurité et de cyberésilience**. Pour ce faire, des **associations d'acteurs** de la chaîne logistique voient le jour pour partager leurs alertes et bonnes pratiques. Aussi, les ports mettent en place de nouvelles procédures afin de **sécuriser l'accès à leur réseau**. Enfin, les ports prennent part aux **initiatives blockchain portées par les acteurs de la logistique**, qui permettent de fiabiliser la chaîne et de sécuriser l'accès aux données.

### Sécuriser les données liées à la logistique grâce à la blockchain

Nous avons vu que le commerce mondialisé s'appuyait sur la **digitalisation des chaînes logistiques**, et notamment des procédures administratives et du suivi de la marchandise. Or, si la digitalisation de ces opérations permet des gains de productivité importants et une plus grande transparence, il apparaît **crucial de sécuriser les échanges de données**. Pour ce faire, la **blockchain** est particulièrement appropriée aux besoins du secteur : nécessité de tiers de confiance, grand nombre d'acteurs mobilisés...

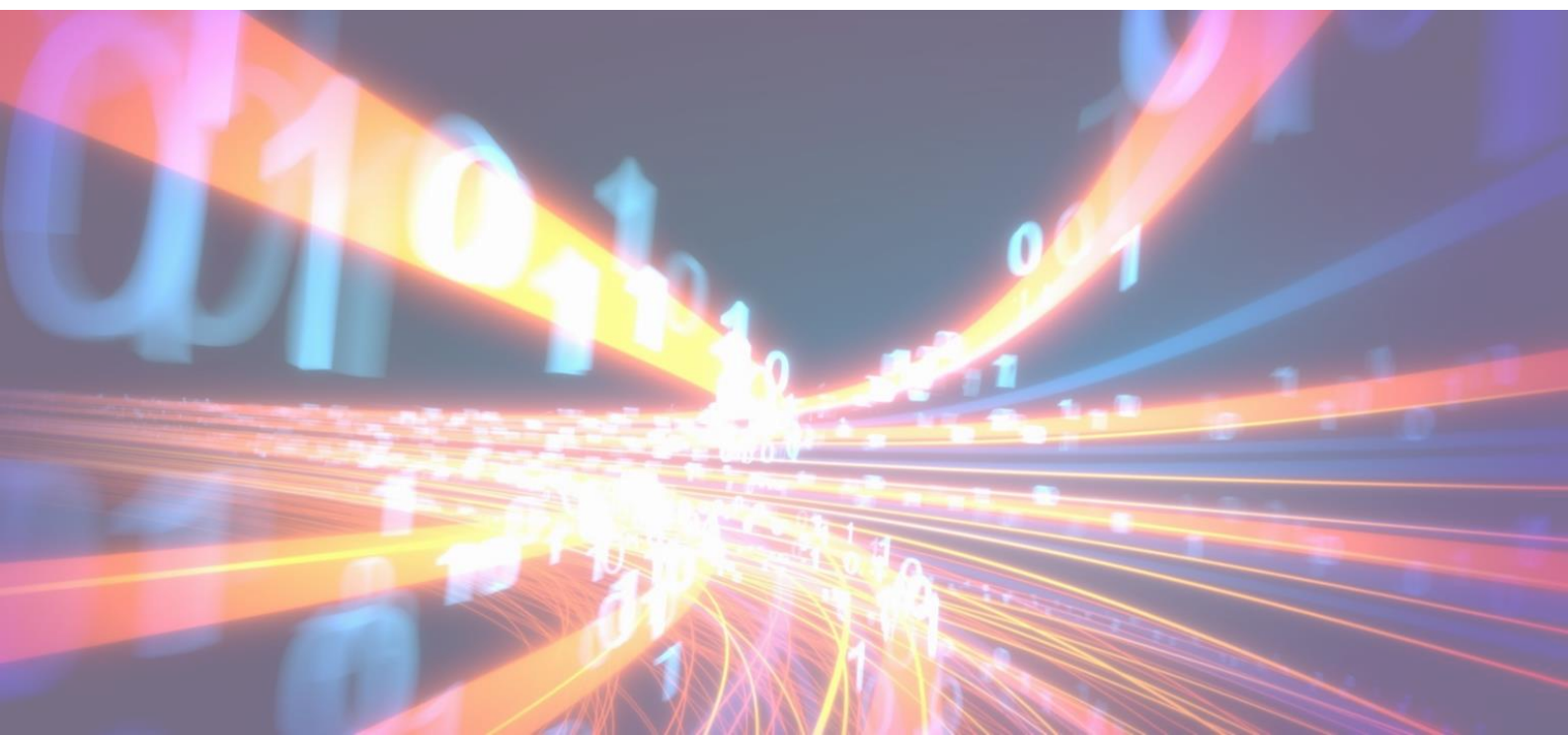
Aujourd'hui, la solution qui fédère le plus grand nombre d'acteurs est Tradelens. Il s'agit d'une solution permettant le partage de données sur le trafic de conteneurs avec la protection de la blockchain, qui offre ainsi de la **visibilité** à toutes les parties prenantes du transport intermodal de conteneur en sécurité. Ainsi, l'ensemble des acteurs participants au flux physique ou documentaire du conteneur peuvent se connecter pour échanger de l'information de façon sécurisée. Pour les ports, l'intégration à la blockchain permet de donner de la fluidité au terminal ainsi que de **sécuriser les échanges de documents et de fiabiliser les informations transmises aux douanes**. Pour bénéficier des apports de la blockchain et contribuer au système en partageant des données sur les **statuts physique et administratif du conteneur**, les ports doivent connecter la solution à leurs API existantes. Développée en partenariat par IBM et Maersk, Tradelens mobilise aujourd'hui plus de 300 organisations. Son concurrent chinois, GSBN, est porté par le transporteur COSCO.

## Réduire la vulnérabilité des ports en sécurisant l'accès à leur Système d'Information (SI)

Avec l'utilisation de technologies comme les PCS, les SI portuaires sont davantage exposés aux risques de cyberattaques. En effet, les failles de chacun des participants au système mettent en péril la sécurité de l'écosystème entier. Devant ce constat, les ports ont mis en place des initiatives afin de **mieux contrôler l'accès à leur réseau**.

Le port de Rotterdam a lancé son programme de partage sécurisé des données grâce à son PCS Portbase, dont l'objectif est de **sécuriser l'échange d'informations entre les différents maillons de la chaîne logistique**. Une des actions entreprises dans le cadre de ce programme consiste à **sécuriser l'accès aux applications** de la communauté portuaire au strict cercle des parties autorisées.

Aussi, les machines utilisées pour les opérations portuaires (grues, portiques, ponts...) sont connectées au réseau. Cette **porosité entre les systèmes d'information (IT) et les systèmes opérationnels (OT)** requiert de prêter une attention particulière à la **cyber-sécurisation des équipements terrain**. En effet, dans le cas d'un piratage, ces équipements pourraient être compromis par le contrôle à distance et actionnés à des fins dangereuses. Des mesures préventives de contrôle des machines utilisées sur le port sont donc mises en place. En effet, il semble que les équipements tels que les grues, connectés au réseau du port, représentent des risques d'intrusions malveillantes sur le réseau. En début d'année, le congrès américain a adopté une loi visant à renforcer la surveillance lors de l'acquisition de grues portuaires à l'étranger. Les vulnérabilités en matière de cybersécurité représentés par les grues sont alors inspectées avant leur mise en service.





## Fédérer les acteurs de la logistique pour partager et mieux prévenir les menaces

L'écosystème portuaire fédère de nombreux acteurs dont certains peuvent être de petite taille et ne pas disposer des dispositifs nécessaires en matière de cybersécurité : dès lors que des données ou des applications sont partagées avec ces acteurs, **l'ensemble de l'écosystème est alors fragilisé**. Afin de lutter contre les **cyber-attaques**, les acteurs de l'écosystème portuaire forment des **communautés** afin de partager leurs connaissances et bonnes pratiques, ainsi que les alertes sur les menaces en cours.

A Los Angeles par exemple, le port a noué un partenariat avec IBM afin d'**améliorer la préparation du Port en matière de cybersécurité** et de renforcer le **partage des menaces** et la collaboration au sein de son écosystème de chaîne d'approvisionnement. Le projet repose notamment sur la **mutualisation des portails existants de partage des menaces** maritimes, jusqu'alors exploités de façon individuelle.

En France, l'association « France Cyber Maritime » fédère fournisseurs de solutions, acteurs publics et maritimes afin d'améliorer la **résilience du monde maritime et portuaire français** en matière de cybersécurité.

Le port de Vancouver s'est quant à lui associé au centre de partage et d'analyse des informations sur les systèmes de transport maritime (MTS-ISAC) pour lancer un groupe d'échange d'informations. L'initiative vise à **améliorer la communication et la collaboration en matière de cybermenaces** entre les parties prenantes régionales des ports situés le long du Lower Columbia River, ainsi qu'à **partager les bonnes pratiques de prévention des incidents**. Ces ports ont pour beaucoup des interactions avec des vendeurs, fournisseurs et contacts commerciaux similaires, ce qui renforce l'intérêt d'une collaboration .





# Intégration du port dans le territoire

---

Proximité avec la ville et ses citoyens, participation au dynamisme économique et nouvelles initiatives de formation sont autant d'exemples qui témoignent d'une nouvelle ouverture des ports sur leur environnement, et pour lesquelles l'innovation, notamment technologique, peut jouer un rôle clé.

# Résumé

L'intégration du port dans le territoire est un enjeu sur le plan de la **géographie urbaine**, puisque le port génère un important flux de transport routier. L'enjeu est d'autant plus fort que les ports, originellement construits en périphérie des villes, se retrouvent parfois aujourd'hui inclus dans la ville, étendue par la croissance urbaine. Dès lors, les ports sont inclus géographiquement dans la ville mais demeurent enclavés par le **manque de visibilité des citoyens sur ses activités et sa contribution à la vie économique**. En effet, le port, en tant que zone logistique et industrielle, est un important moteur d'activité économique pour son écosystème ainsi qu'un employeur important.

Dans ce contexte, nous notons plusieurs leviers actionnés par des ports du monde entier pour **renouer les liens entre la ville, ses citoyens et le port**.



## Acceptabilité du port

Si la barrière géographique tend à disparaître, une barrière mentale isole toujours le port du reste du territoire urbain et des citoyens. Pour briser cette barrière, deux lignes d'actions pour les ports : améliorer la connaissance des activités du port (expositions et événements qui amènent les citoyens au port) et réduire les externalités négatives pour les citoyens vivant à proximité du port (congestion et pollution).



## Dynamisme économique de la zone

Alors qu'ils tentaient déjà de s'insérer dans l'écosystème local notamment par la voie académique, l'implication des ports dans la vie économique de leur territoire s'intensifie. En proposant un cadre et des moyens pour l'innovation portuaire, ou encore des services d'expertise à leurs partenaires sur des questions de logistique, les ports s'emparent d'un rôle d'acteur voire de moteur du territoire dans lequel ils s'inscrivent.



## Attractivité des métiers du port

La digitalisation conduit à une transformation des métiers du port, avec pour corolaire une ouverture géographique et sociale du monde portuaire jusqu'alors marqué par un entre-soi. Cette ouverture se traduit notamment par une institutionnalisation et une modernisation de la formation.



## Acceptabilité du port pour les citoyens

Pour améliorer l'acceptabilité de leur présence sur un territoire, les ports mettent en place de nombreux projets visant à donner une image positive de leurs activités aux habitants du territoire ainsi que de limiter les externalités négatives liées à l'activité du port, en particulier sur le plan de la congestion, qui permet par la même occasion de diminuer la pollution.

### Réduire la congestion aux alentours du port

Afin d'améliorer l'acceptabilité du port par les citoyens, les ports solutions d'optimisation des flux sont utiles pour **mieux gérer la circulation de véhicules et réduire la congestion aux alentours du port**. Par exemple, le port de Nantes Saint-Nazaire a lancé "A bon port", une **application mobile citoyenne** permettant aux personnes circulant sur le port et aux alentours d'obtenir des informations en temps réel, sous forme d'alertes, sur les conditions de circulation des voiries portuaires de Saint-Nazaire : mouvements des ponts et écluses, travaux de voirie, maintenance des ouvrages portuaires... Le Port s'est également associé avec **l'application collaborative de gestion intégrée du trafic routier Waze**, lui permettant d'inclure les mouvements des ponts et écluses dans les itinéraires proposés par l'application de navigation.

Le port de Marseille a également **intégré le souci de voisinage avec les activités urbaines à son PCS** porté par MGI afin de réorienter les transporteurs routiers vers le bon terminal de sorte à minimiser l'impact sur le trafic routier. Le port de Montréal qui accueille des navires de croisière a mis en place un système qui permet de **prédire, en fonction du moment d'amarrage du navire, la courbe de besoin en taxis et bus des croisiéristes** au cours de prochaines heures. Le système est utilisé afin d'anticiper l'offre de transports et de fluidifier le trafic.



## Rendre les activités portuaires visibles et compréhensibles pour les citoyens

Sources d'externalités négatives en matière de bruit, de trafic, de pollution, les ports de commerce sont souvent excentrés en périphérie de la ville afin de préserver les habitants. Il en résulte que les activités du port sont peu ou mal connues, et que **l'image du port est diminuée** par rapport à sa contribution à la vitalité économique d'un pays ou d'un territoire par exemple. Un levier pour améliorer la situation est de rendre visible et de faire connaître le port et ses activités aux citoyens à travers divers moyens développés par les ports : **visites interactives, expositions, évènements, modélisation 3D ...**

Par exemple, le port français du Havre a célébré « Le Havre Smart Port City, un été au Havre », **évènement culturel** visant à raviver le dialogue entre la ville et le port. Le port de Rotterdam quant à lui organise des visites du port, à la manière d'un parc d'attraction appelé « Futureland ». Sur le site internet, les visiteurs peuvent prévoir des **visites en bus et en bateau des derniers terminaux à conteneurs et des plus grands navires**, d'en apprendre sur le rôle de Rotterdam dans le développement de formes prometteuses de nouvelles énergies, ou encore de découvrir le **métier de grutier dans le jeu Drop the Box**.

Le port de Montréal a également pensé une innovation qui permet d'amener les citoyens dans la zone portuaire : sur le toit de son terminal, la zone a été aménagée de sorte à faire la place à un **espace évènementiel disponible à la location**.

Les nouvelles technologies peuvent aussi être de véritables outils permettant de rendre visible le port sans se rendre sur la zone portuaire, potentiellement enclavée : à Amsterdam, le port a développé une **modélisation en 3D de la surface du port afin de proposer des visites virtuelles** en réalité augmentée.



## Dynamisme économique de la zone

En tant que porte d'entrée sur un territoire, zone industrielle et maillon clé des chaînes logistiques, le port détient un véritable potentiel pour agir comme un **moteur du dynamisme économique d'un territoire**. C'est en effet la direction prise par plusieurs ports observés dans le cadre de l'étude, qui travaillent notamment sur le **développement de la zone économique portuaire** pour **diversifier les activités** menées au port et ainsi se rapprocher du modèle urbain. Aussi, le port peut agir comme **l'animateur de l'écosystème portuaire** en vue de créer des synergies propices à l'innovation : mise à disposition de zones de test, création d'incubateurs et organisation de challenges ... Enfin, les ports peuvent stimuler l'activité économique de leur **région** en se faisant **l'ambassadeur** de celle-ci et en promouvant ses potentialités **logistiques, industrielles et/ou commerciales** auprès de leurs homologues étrangers.

### Développer la zone économique et industrialo-portuaire et diversifier les activités du port

Au cœur de l'écosystème logistique et industriel de la zone portuaire, l'autorité portuaire dispose d'une fine connaissance des **chaînes logistiques locales** dont elle peut se faire l'ambadrice. C'est un rôle intéressant puisqu'il permet de renforcer l'assise et l'influence du port dans la vie économique locale, et de ce fait sa visibilité pour les entreprises et les pouvoirs publics. Le port de Barcelone semble s'être bien approprié ce rôle au travers de deux initiatives notables. D'abord, autour de l'initiative Port Links, qui consiste en la **mise à disposition d'un outil qui permet de construire des chaînes logistiques pour importer ou exporter un conteneur entre n'importe quel port mondial et un port européen, en transitant par Barcelone**. D'autre part, avec le développement du partenariat avec le port de Busan autour du projet B2B Logistics, afin que les petites entreprises coréennes favorisent le port de Barcelone pour leurs besoins en transports maritimes, en échange de **conseils sur les opérations logistiques à réaliser sur le territoire européen**.

Par ailleurs, le port peut exploiter ses ressources foncières en développant des activités diverses sur la zone portuaire, ce qui favorise son intégration avec la ville. C'est le modèle choisi par le port de Barcelone dès les années 1990, quand l'autorité portuaire a créé une **entité privée dédiée à la gestion des activités commerciales et touristiques** sur le port (hôtels et centres commerciaux par exemple) sur une zone dédiée appelée Port Vell. Dans cette mouvance, le territoire du port s'est développé non plus seulement sur la rive mais bien en direction des terres. Le Port Vell est donc pensé comme une **zone citoyenne du port de Barcelone, co-gérée par des professionnels de différents secteurs** et non pas seulement de la logistique. D'une surface de 70 hectares, la zone continue son développement et accueille désormais un quartier d'affaires, plusieurs infrastructures d'envergure culturelle et éducative, une vaste zone commerciale et de divertissement, une zone sportive et nautique et le quai des pêcheurs.



## Encourager l'innovation via des dispositifs d'Open Innovation et la mise à disposition des données portuaires

En tant que lieu d'activité réunissant des acteurs variés de la chaîne logistique, le port est une zone géographique favorable à l'émergence d'écosystèmes d'innovation sur les problématiques portuaires. Plusieurs ports se saisissent de ce rôle par le biais de plusieurs initiatives : mise à disposition d'espace dédiés à l'innovation, structuration et animation d'écosystèmes, organisations de challenges d'innovation ...

Le port d'Amsterdam a notamment mis en place une « Testzone » depuis 2017 pour les drones de voile et de plongée, afin que les entreprises innovantes puissent tester et montrer l'efficacité de leurs nouveaux modèles. La cohabitation sur la zone permet donc non seulement d'accéder aux moyens concrets de tester les nouveaux produits et solutions, mais également de créer des synergies entre les porteurs de projet.

A Montréal, l'accélérateur SYNTEC a vocation d'encourager l'innovation conjointe des grandes entreprises et des start-up sur les problématiques lancées par le port. Associé aux projets, le port permet aux start-up de tester leurs produits en environnement réel avec des équipes opérationnelles.

Enfin, au port de Marseille, les acteurs économiques, portuaires, académiques et institutionnels se sont associés pour mettre en œuvre un programme d'innovation ouverte nommé « Smart Port Challenge ». Les différents acteurs du programme proposent des challenges liés à l'activité portuaire auxquels répondent des entreprises innovantes. Pour chacun des challenges, l'entreprise ayant soumis le meilleur projet bénéficie d'un accompagnement de la part des acteurs de l'écosystème, d'une dotation financière, ainsi qu'elle profite de conditions de test optimales (accès aux lieux et aux données pertinents).



## Attractivité des métiers du port

Historiquement, les employés du port comme les dockers sont perçus pour constituer un **groupe fermé qui recrute parmi leur entourage proche**. Ce fonctionnement ne profite pas à **l'ouverture du port sur la ville et ses citoyens**. De plus, il est remis en question par les innovations à l'œuvre dans l'industrie portuaire qui sont vouées à transformer le travail sur le port avec de nouvelles tâches et compétences requises, et donc de nouveaux profils professionnels, de nouvelles formations et une structure d'emploi transformée. La délocalisation de certaines fonctions du port ainsi que les innovations en matière de formation nous semblent jouer en la **faveur d'une plus grande ouverture et attractivité des métiers du port**.

### Délocaliser une partie des emplois du port

Les initiatives que nous avons précédemment étudiées nous permettent d'affirmer que les métiers du port sont en profonde mutation et peuvent avoir pour corollaire une amélioration de **l'attractivité des métiers du port**, notamment liées au **lieu de travail**.

En effet, au-delà d'une digitalisation profonde des processus, l'automatisation de certaines étapes de la chaîne logistique (telles que la manutention) a **délocalisé les métiers du port vers la ville** : à Shanghai, les employés du terminal automatisé ne travaillent plus sur le port mais bien dans un centre de contrôle à distance situé à plusieurs kilomètres du port.

Par ailleurs, toutes les initiatives contribuant à la **fluidité du trafic routier** sur le port contribuent à rendre le lieu plus attractif.



## Moderniser les modes de formations et adapter les contenus aux évolutions des métiers du port

Les différentes innovations dont nous avons fait état dans ce document témoignent bien du fait que le port est un **environnement de travail mouvant**, en train de se transformer considérablement par l'implémentation du numérique et de nouvelles solutions techniques dans ses modes de fonctionnement. De ce fait, il est indispensable que l'autorité portuaire **s'assure de la bonne formation de ses employés aux nouveaux outils numériques** ainsi qu'elle **promue les métiers du port auprès des jeunes pour maintenir et diversifier son recrutement**. Pour ce faire, les ports **développent des partenariats avec les organismes de formation locaux**, et introduisent **des outils numériques pour la formation des travailleurs**.

Dès lors, afin de former les travailleurs à la numérisation rapide des métiers, les différents ports du monde entier **s'associent avec les organismes de formation locaux**. A Singapour, SkillsFuture Singapore (SSG), Workforce Singapore (WSG) et l'Autorité maritime et portuaire de Singapour (MPA) collaborent afin de permettre la formation continue des travailleurs dans l'industrie du transport maritime. Dès 2006, le port de Barcelone s'était associé avec des organismes de formation afin de créer l'Escola Europa, un centre de formation intégré de logistique portuaire, qui ne cesse de développer de nouvelles formations en fonction des innovations du secteur. Désormais, le port propose même des services de formation auprès de ses clients, entreprises d'import/export installées dans la zone portuaire, notamment portés sur la chaîne logistique et les facteurs de succès du commerce extérieur.

Par ailleurs, des innovations permettent d'améliorer les services de formation à destination des travailleurs par l'introduction des nouvelles technologies dans le processus de formation. Par exemple, on peut citer la start-up PreVu3D qui propose **des modélisations 3D en réalité virtuelle**, à des fins de formation en sécurité incendie pour les employés du port, ou encore VSTEP Simulation qui développe des **simulateurs maritimes** utilisés par les centres de formation maritime dans le monde entier, notamment à Rotterdam





## Des solutions innovantes pour la formation des travailleurs du port : les simulateurs VSTEP

En tant qu'ancien développeur de jeux de simulation navale, VSTEP a commencé à construire des simulateurs maritimes en 2011 - au début uniquement pour la navigation maritime, mais plus tard également pour la navigation intérieure. Les simulateurs ont été utilisés par des compagnies maritimes, des centres de formation maritimes et des écoles dans le monde entier.

Désormais, le Shipping and Transport College Rotterdam formera ses étudiants sur des simulateurs de navigation intérieure NAUTIS construits par VSTEP.

Ceux-ci permettront aux étudiants de naviguer virtuellement sur tous les océans et fleuves du monde à bord d'un navire répondant à leurs objectifs de formation, du petit bateau de pêche au porte-conteneurs de 400 mètres de long. Ce logiciel offre également une solution pour la formation des pilotes, qui doivent piloter en toute sécurité des navires à l'entrée et à la sortie du port, même dans des conditions météorologiques difficiles ou en cas d'encombrement du trafic.



# Méthodologie

Cette étude s'appuie sur une veille internationale des ports de commerce proposant des solutions innovantes sur l'un ou plusieurs des 4 enjeux de performance opérationnelle, transition écologique, sécurité et intégration avec le territoire.



## Etudes documentaires

- Internet et médias spécialisés (voir bibliographie ci-après)



## Entretiens - Experts Wavestone

- Yannick NAVEL, Expert Supply Chain
- Fanny FRECON, Experte Sustainability
- Gaële BACQUE, Experte Poste de Contrôle Sécurité



## Entretiens - Acteurs du port

- Directions d'innovation de ports : Barcelone, Marseille, Haropa, Montréal
- Opérateurs portuaires ou de terminaux : CMA CGM, DP Word
- Acteurs de la logistique : XP LOG
- Porteurs de solutions : MGI, CANSCAN, T-MINING, SINAY



# Bibliographie

- A proactive and predictive approach in asset management SIMCO. <https://www.simcotechnologies.com/projects-and-references/port-of-rotterdam-kms-system/>
- (2016). National port strategy assessment : reducing air pollution and greenhouse gases at U.S. ports. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ports-initiative/national-port-strategy-assessment-reducing-air-pollution-and-greenhouse-gases-us>
- (2020). World Ports Sustainability Report. International association of Ports and Harbors. <https://sustainableworldports.org/reference-documents/>
- (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study. Organisation Maritime Internationale (OMI). <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1596.aspx>
- (7 décembre 2020). IBM Works With Port of Los Angeles to Help Secure Maritime Supply Chain. IBM. <https://newsroom.ibm.com/2020-12-07-IBM-Works-With-Port-of-Los-Angeles-to-Help-Secure-Maritime-Supply-Chain>
- (2021), "Container Port Automation: Impacts and Implications", International Transport Forum Policy Papers, No. 96, OECD Publishing, Paris. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/container-port-automation.pdf>
- (6 mars 2021). Smart port, smart nation: Singapore builds on spectrum of strengths. ABB <https://newabb.com/news/detail/78949/smart-port-smart-nationsingapore-builds-on-spectrum-of-strengths>
- (2 juin 2021). Maritime port security: same threats, new solutions. Calipsa. <https://www.calipsaio/blog/maritime-port-security>
- (30 juin 2021), Huawei and Shanghai International Port Group Launch Centralized Remote Control Project for Smart Ports. Huawei. <https://ehuawei.com/en/news/ebg/2021/intelligent-command-control-center>
- (6 juillet 2021). Huawei, Shanghai International Port Group launch centralised remote control smart port project. Port Technology. <https://www.porttechnology.org/news/huawei-shanghai-international-port-group-launch-centralised-remote-control-smart-port-project/>
- (7 août 2021). How Dubai is at the centre of a global port revolution. Arabian Business. <https://www.arabianbusiness.com/industries/technology/467239-how-dubai-is-at-the-centre-of-global-port-revolution>
- (1 décembre 2021). Ecosystèmes portuaires et hydrogène : une ambition commune à bâtir. France Hydrogène. <https://www.france-hydrogene.org/publication/ecosystemes-portuaires-et-hydrogene-une-ambition-commune-a-batir/>
- (8 décembre 2021.) Port of Rotterdam furthers cybersecurity efforts with new programme. Port Technology. <https://www.porttechnology.org/news/port-of-rotterdam-furthers-cybersecurity-efforts-with-new-programme/>
- (5 mai 2022). Port of Vancouver USA sets up cyber security information sharing group. Port Technology. <https://www.porttechnology.org/news/port-of-vancouver-usa-sets-up-cyber-security-information-sharing-group/>
- (19 juillet 2022). Busan Port Authority ups safety measures with new smart technology. Port Technology. <https://www.porttechnology.org/news/busan-port-authority-ups-safety-measures-with-new-smart-technology/>
- (1 septembre 2022.) Maritime security and port infrastructure: reconciling modern operational practices and cybersecurity. Stormshield. <https://www.stormshield.com/news/maritime-security-and-port-infrastructure-reconciling-modern-operational-practices-and-cybersecurity/>
- Hallouet, G. (2022, 27 septembre.) « Comment décarboner les ports de commerce ? ». Polytechnique Insight. <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/energie/comment-decarboner-les-ports-de-commerce/>
- Hinkka, V., Eckhardt, J., Permala, A., & Mantsinen, H. (2016). Changing training needs of port workers due to future trends. Transportation Research Procedia, 14, 4085-4094. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516305130>



# Bibliographie

- Maréchal, A. (2022, 4 mai). « Comment réduire l'empreinte carbone du fret maritime ? ». Polytechnique insights. <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/les-innovations-bas-carbone-du-fret-maritime/comment-reduire-l-empreinte-carbone-du-fret-maritime/>
- Navarro-Herrera, Anna. (2018). Estudio para identificar las tecnologías emergentes que definirán los Puertos 4.0. Ingeniería y Arquitectura la Salle, Universidad Ramon Llull : Trabajo final de máster. <https://ipc-sainternational/initiatives/ipcsa-emerging-technologies-study/>
- Réduction des particules polluantes et des fumées des navires. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). <https://librairieademe.fr/mobilite-et-transport/5235-reduction-des-particules-polluantes-des-fumees-des-navires.html>
- Site internet du port de Busan, Page consacrée au rapport ESG. <https://www.busanpa.com/eng/Board.do?mCode=MNO097>
- Site internet du port de Montréal. <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/camet-de-bord/prevu3d-repenser-l-espace-portuaire>
- Site internet du simulateur Vstep. <https://www.vstepsimulation.com/>
- Site internet du port d'Helsinki. <https://www.portofhelsinki.fi/en/making-new/current-projects/developing-katajanokka-harbour>
- Site internet de Skills Future Singapore <https://www.skillsfuture.gov.sg/skills-framework/sea-transport>
- Site internet du port de Rotterdam, <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/edition-february-2022/smart-thinking>
- Site internet du port de Montréal, <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/camet-de-bord/canscan>
- Site internet du port de Gothenburg, <https://www.portofgothenburg.com/news-room/press-releases/smart-freight-tracking-system-at-the-port-of-gothenburg-goes-live/>
- Site internet du port King Abdullah <https://www.kingabdullahport.com.sa/port-technology/smart-gate-system/>
- Site internet du port de Barcelone [https://www.portdebarcelonacat.fr/home\\_apb](https://www.portdebarcelonacat.fr/home_apb)
- Site internet du Port de La Réunion, page consacrée à l'ESI. <https://reunionport.fr/fr/environmental-ship-index-esi/>
- Site internet de la Métropole de Toulon : DPOL, le robot dépolluant des ports TPM | Métropole Toulon Provence Méditerranée ([metropoletpm.fr](http://metropoletpm.fr))





[www.wavestone.com](http://www.wavestone.com)

Dans un monde où savoir se transformer est la clé du succès, Wavestone s'est donné pour mission d'éclairer et guider les grandes organisations dans leurs transformations les plus critiques avec l'ambition de les rendre positives pour toutes les parties prenantes. Une ambition ancrée dans l'ADN du cabinet et résumée par la signature « The Positive Way ».

Wavestone rassemble plus de 3 500 collaborateurs dans 9 pays. Il figure parmi les leaders indépendants du conseil en Europe. Wavestone est coté sur Euronext à Paris et labellisé Great Place To Work®..