



HAL
open science

L'économie circulaire dans les ports du Range Nord Européen. Etat des lieux pour la constitution d'écosystèmes d'innovation circulaires

Blandine Laperche

► To cite this version:

Blandine Laperche. L'économie circulaire dans les ports du Range Nord Européen. Etat des lieux pour la constitution d'écosystèmes d'innovation circulaires. 3, Centre de Recherche sur l'Innovation et les Stratégies Industrielles - ULCO. 2023. hal-04394786

HAL Id: hal-04394786

<https://hal.science/hal-04394786>

Submitted on 15 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



COMMUNAUTÉ
URBAINE
DE DUNKERQUE



L'économie circulaire dans les ports du Range Nord Européen. Etat des lieux pour la constitution d'écosystèmes d'innovation circulaires

Rapport 3 – Programme IMPPEC

Impacts des Ports sur l'Economie Circulaire

Avril 2023

Sous la direction de : Blandine Laperche, Professeure ISI/Lab.RII, ULCO

Rédacteurs : Aina Ndrianjara Andriamanantena, Doctorant ISI /Lab.RII ULCO, Sophie Boutillier, Professeure, ISI/Lab.RII, ULCO, Aliénor de Rouffignac, ISI/Lab.RII ULCO, Blandine Laperche, Professeure, ISI/LabRII ULCO.

Table des matières

| | | |
|----------|---|----|
| I. | Introduction..... | 5 |
| II. | Les activités d'économie circulaire dans les ports du range Nord Européen | 7 |
| III. | Présentation des activités d'économie circulaire dans les quatre plus grands ports du Range Nord Européen | 16 |
| III.1. | Le port de Rotterdam | 16 |
| III.1.1. | Présentation du port | 16 |
| III.1.2. | Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 16 |
| III.1.3. | Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Rotterdam | 20 |
| III.1.4. | Axe 3 : Développement économique | 23 |
| III.1.5. | Axe 4 : Impacts environnementaux | 25 |
| III.2. | Le port d'Anvers..... | 28 |
| III.2.1. | Présentation du port | 28 |
| III.2.2. | Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 29 |
| III.2.3. | Axe 2 Activités d'économie circulaire dans le port d'Anvers..... | 31 |
| III.2.4. | Axe 3 : Développement économique | 34 |
| III.2.5. | Axe 4 : Impacts environnementaux | 37 |
| III.3. | Le port de Hambourg..... | 39 |
| III.3.1. | Présentation du port | 39 |
| III.3.2. | Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 39 |
| III.3.3. | Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Hambourg..... | 42 |
| III.3.4. | Axe 3 : Développement économique | 44 |
| III.3.5. | Axe 4 : Impacts environnementaux | 46 |
| III.4. | Le port d'Amsterdam..... | 48 |
| III.4.1. | Présentation du port | 48 |
| III.4.2. | Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 48 |
| III.4.3. | Axe 2 : Activités d'économie circulaires dans le port d'Amsterdam | 51 |
| III.4.4. | Axe 3 : Développement économique | 53 |
| III.4.5. | Axe 4 : Impacts environnementaux | 56 |
| III.5. | Conclusion sur la présentation des activités d'économie circulaire dans les quatre plus grands ports du range Nord Européen | 57 |

| | |
|--|----|
| IV. Présentation des activités d'économie circulaire dans les trois ports du range Nord Européen similaires à Dunkerque | 58 |
| IV.1. North Sea Port | 58 |
| IV.1.1. Présentation du port | 58 |
| IV.1.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 60 |
| IV.1.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire à North Sea Port..... | 63 |
| IV.1.4. Axe 3 : Développement économique..... | 68 |
| IV.1.5. Axe 4 : Impacts environnementaux | 72 |
| IV.2. Port de Brême | 75 |
| IV.2.1. Présentation du port | 75 |
| IV.2.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 75 |
| IV.2.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Brême | 76 |
| IV.2.4. Axe 3 : Développement économique..... | 76 |
| IV.2.5. Axe 4 : Impacts environnementaux | 77 |
| IV.3. Port du Havre..... | 78 |
| IV.3.1. Présentation du port | 78 |
| IV.3.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication | 78 |
| IV.3.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port du Havre..... | 80 |
| IV.3.4. Axe 3 : Développement économique..... | 81 |
| IV.3.5. Axe 4 : Impacts environnementaux | 82 |
| IV.4. Conclusion sur la présentation des activités d'économie circulaire dans les trois ports du range Nord Européen similaires à Dunkerque..... | 83 |
| V. Conclusion générale..... | 84 |
| Références | 86 |
| Annexe | 90 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 - Rapport entre la superficie et le trafic maritime pour les ports sélectionnés..... | 9 |
| Figure 2 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port de Rotterdam | 17 |
| Figure 3 – La symbiose industrielle de Rotterdam | 20 |
| Figure 4 - Réseau hydrogène – Port Rotterdam | 21 |
| Figure 5 – Infrastructures de recyclage dans le port de Rotterdam..... | 22 |
| Figure 6 - Les entreprises chimiques et pétrolières du port d'Anvers..... | 28 |
| Figure 7 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port d'Anvers | 29 |
| Figure 8 – Le réseau de chaleur ECLUSE du port d'Anvers | 32 |
| Figure 9 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port de Hambourg..... | 40 |
| Figure 10 - Outils numériques « Interactiv Port » - Port de Hambourg..... | 42 |
| Figure 11 - Processus de co-design pour le développement de solutions d'éco-innovation – Port de Hambourg | 44 |
| Figure 12- Les piliers de l'économie circulaire dans le port d'Amsterdam..... | 49 |
| Figure 14 - VHF channels on the map – Port d'Amsterdam..... | 50 |
| Figure 14 - <i>North Sea Port</i> | 58 |
| Figure 15 - Les piliers de l'économie circulaire à North Sea Port..... | 60 |
| Figure 16 – Le biopark de Terneuzen et les synergies entre les entreprises partenaires – North Sea Port | 64 |
| Figure 17 – North-C-Hydrogène - North Sea Port..... | 67 |
| Figure 19 – Les piliers de l'économie circulaire dans le port du Havre | 78 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 - Liste des 10 plus grands ports du Range Nord Européen | 9 |
| Tableau 2 – Vue d'ensemble des ports étudiés en matière d'économie circulaire | 11 |
| Tableau 3 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port de Rotterdam en termes d'innovations..... | 24 |
| Tableau 4 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port d'Anvers | 35 |
| Tableau 5 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port de Hambourg..... | 45 |
| Tableau 6 - Entreprises « circulaires » principales du port d'Amsterdam | 52 |

| | |
|--|----|
| Tableau 7 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port d'Amsterdam en termes d'innovations développées | 54 |
| Tableau 8 - Innovation de produits dans le port d'Amsterdam | 55 |
| Tableau 9 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour North Sea Port | 70 |

Liste des annexes

Annexe 1 - Les quatre axes du tableau de bord d'indicateurs IMPPEC

Liste des abréviations

| | |
|--------|---|
| CCS | Carbon Capture & Storage |
| CCU | Carbon Capture & Utilisation |
| ESI | Indice environnemental des navires |
| EIS | Eco-innovation solutions |
| GPMD | Grand Port Maritime de Dunkerque |
| GES | Gaz à effet de serre |
| GNL | Gaz naturel liquéfié |
| IMPPEC | Impacts des ports sur l'économie circulaire |
| MFA | Material Flow Analysis |
| MW | MegaWatt |
| PET | Polyéthylène Téréphtalate |
| RSE | Responsabilité Sociétale des Entreprises |
| TWh | TeraWatt-heure |
| ZIP | Zone industrialo-portuaire |

I. Introduction

Le programme d'étude intitulé Impact des Ports dans l'Economie Circulaire (IMPPEC) a pour objectif d'analyser le rôle des ports dans le développement de projets d'économie circulaire.

Les premiers résultats de recherche du programme IMPPEC ont permis de montrer que les territoires industrialo-portuaires peuvent constituer des espaces favorables au développement d'activités d'économie circulaire et plus particulièrement d'écologie industrielle. L'économie circulaire y apparaît comme une opportunité permettant à ce type de territoire d'opérer une transition dans leur modèle économique en axant celui-ci vers le développement durable. Elle pourrait constituer une voie de développement économique territorial, en initiant des processus d'innovation, en impulsant la création et l'installation de nouvelles entreprises et en renforçant la compétitivité des entreprises existantes. Pour vérifier et mesurer cette relation, un tableau de bord d'indicateurs a été constitué (Rapport Imppec N°1, 2020). Ce tableau de bord a ensuite été appliqué au cas de Dunkerque et a permis de faire un état des lieux du développement d'un écosystème d'innovation « circulaire », c'est-à-dire impulsé par les projets d'économie circulaire qui s'y développent (Rapport Imppec N°2., 2022).

Le développement de l'économie circulaire a par exemple conduit à une gouvernance plus collective et coordonnée à Dunkerque. Les moyens mis à disposition pour permettre la transition vers l'économie circulaire se renforcent (extension des quais du port, aménagements de zones industrielles pour accueillir plus d'activités d'économie circulaire, incitations à la décarbonation, etc.). Cependant, les résultats en termes économiques sous formes d'innovations nouvelles, d'entreprises créées, d'emplois créés, de création de startups, mais aussi en termes environnementaux (réduction des émissions de gaz comme le CO₂, CO, SO₂ ou encore de poussière) sont encore circonscrits à quelques initiatives d'entreprises phares. Ce tableau de bord d'indicateurs est aussi un outil permettant aux acteurs (le port, les collectivités territoriales, l'université et les entreprises) d'identifier les marges de progression possibles et de définir des actions ou des stratégies à mettre en œuvre.

Dans ce troisième rapport, notre objectif est de comparer la construction des activités d'économie circulaire dans d'autres territoires industrialo-portuaires. A partir du classement des dix plus grands ports de la Mer du Nord obtenus à l'aide des critères de superficie et du trafic maritime, nous avons dans un premier temps voulu connaître les activités d'économie circulaire dans chacun de ces ports. Cet aperçu des activités d'économie circulaire dans les Ports du Range Nord européen nous permettra de positionner Dunkerque parmi ses voisins et

concurrents dans cette transition vers le développement durable, qui est devenu un axe stratégique pour le développement des territoires industrialo-portuaires (Carpenter et al., 2018; Mat, 2015).

Le recensement des activités portuaires dans les ports du Range Nord Européen a été essentiellement effectué grâce à des données secondaires à partir des bases de données Scopus, Web of science et Google scholar qui permettent de recenser les travaux de recherche académique réalisés sur chacun de ces ports. L'utilisation des trois bases de données est motivée par la complémentarité des articles que l'on peut y trouver.

Les données présentes sur les sites institutionnels de chaque port, des entreprises et des différents clusters ou écosystème d'innovation (qui correspondent à des concentrations géographiques d'entreprises et d'institutions interconnectées spécialisées dans un domaine particulier, Manning (2008) et Porter (1998) ont permis de compléter les données recueillies dans les articles scientifiques. Grâce à cette analyse nous pouvons mettre en évidence les actions des ports dans leurs transitions vers un développement plus durable. Le document présente les activités d'économie circulaire pour chaque port sélectionné en s'articulant suivant les quatre axes du tableau de bord d'indicateurs (Stratégie, gouvernance et communication ; Activités d'économie circulaire ; Développement économique et Impacts environnementaux) présentés dans le Rapport Impec N°1 (2020).

Il est à préciser que selon la disponibilité des sources, nous n'avons pas pu obtenir les mêmes types d'informations selon les ports. Pour le cas du port de Hambourg par exemple, les termes comme développement durable ou encore recyclage sont plus utilisés que le terme économie circulaire qui reste absent des sites institutionnels. Ce rapport présente la méthode de sélection des ports retenus du Range Nord Européen puis les activités d'économie circulaire recensées pour chaque port.

II. Les activités d'économie circulaire dans les ports du range Nord Européen

Pour le cas de Dunkerque, l'analyse de l'ensemble des indicateurs du programme IMPPEC montre l'existence d'un écosystème d'innovation circulaire en phase de consolidation. Les activités d'économie circulaire ont amélioré la gouvernance qui de fragmentée est devenue collective et coordonnée. De même, les moyens (formations proposées par l'université, infrastructures comme l'aménagement des terrains disponibles) consacrés à l'économie circulaire s'accroissent, aboutissant à une symbiose industrielle organisée (Kasmi et al., 2017 ; Kasmi, 2018). Cependant, les résultats en termes économiques sous forme d'innovations nouvelles, d'entreprises et d'emplois créés dans le domaine de l'économie circulaire, mais aussi en termes environnementaux (réduction des émissions) restent à ce jour circonscrits à quelques initiatives ou entreprises phares. Les projets, nombreux pour les années à venir, permettent d'anticiper des résultats plus conséquents.

L'économie circulaire crée de nouvelles opportunités qui peuvent influencer positivement le développement territorial, quelle que soit leur spécialisation (Carrière, 2018; Dermine-Brullot et al., 2017; Niang et al., 2020; Veyssière et al., 2021). Pour autant, l'écologie industrielle qui est l'un des sept piliers de l'économie circulaire peut particulièrement s'adapter aux territoires industrialo-portuaires (Beyer & Lacoste, 2017; Karimpour et al., 2019; Mat et al., 2017) et générer des effets d'agglomération favorables à la création de ressources, l'attractivité d'entreprises nouvelles, l'innovation et donc à la diversification des activités (Kasmi, 2020, 2018).

La comparaison des ports a plusieurs objectifs, tout d'abord, vérifier si des activités d'économie circulaire existent dans les autres ports et quels piliers de l'économie circulaire y sont les plus couramment développés. Ensuite, il s'agit d'identifier quelles sont les parties prenantes (les entreprises, les collectivités et les associations) concernées et comment elles s'organisent et collaborent entre elles dans la mise en place de l'économie circulaire. Enfin, elle vise à mettre en lumière les impacts économiques, sociaux et environnementaux de l'économie circulaire dans chaque port (création d'entreprises, innovations, emploi, réduction de la pollution).

Le nombre de ports étudiés dans ce rapport s'élève à sept. Leur sélection est basée sur plusieurs critères :

- Localisation
- Trafic maritime
- Superficie
- Activités d'économie circulaire

Pour le critère de la localisation, nous avons retenu les ports du Range Nord Européen. Cette zone est pertinente à étudier car c'est la première façade maritime d'Europe qui s'étend du Havre à Hambourg (Frémont & Soppé, 2017) incluant le Grand Port Maritime de Dunkerque. C'est la principale ligne de contacts ouvrant l'Union Européenne (UE) sur le reste du monde (ISEMAR, 2021).

Le Range Nord Européen est constitué de grands ports de commerce (une vingtaine de ports en incluant Dunkerque) mais aussi de plusieurs ports de pêche et de plaisance bien plus modestes (Géoconfluences, 2022 ; ISEMAR, 2021). Dans le cadre de ce rapport, seuls les ports de commerce seront retenus. Ils sont classés suivant la quantité de marchandises (vacs liquides et solides) qu'ils traitent sur l'année. Cette quantité est généralement mesurée en tonnes ou en volume EVP (Équivalent Vingt Pieds) qui correspond à un conteneur.

Le critère du trafic maritime appliqué à ce Range permet de créer une liste réduite des ports fondée sur un trafic comparable à celui de Dunkerque. Le Grand Port Maritime de Dunkerque est le 3^{ème} port français, il est classé 8^{ème} port du Range nord européen. C'est aussi le premier port français d'importation de minerais et de charbon et pour l'importation de fruits en conteneurs (Port de Dunkerque, 2022).

Parmi les grands ports situés dans le Range Nord Européen, les 10 plus grands ports sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 - Liste des 10 plus grands ports du Range Nord Européen

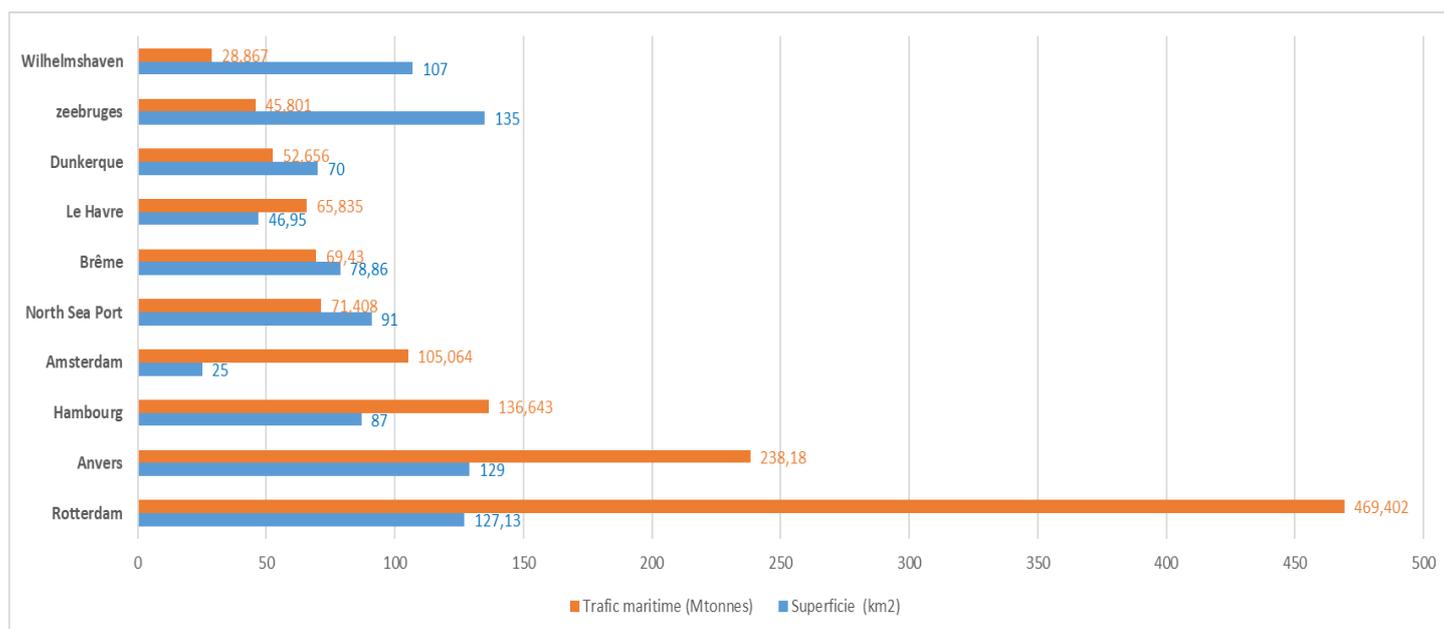
| No | Port | Tonnes |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | Rotterdam | 469 402 000 |
| 2 | Anvers | 238 180 000 |
| 3 | Hambourg | 136 643 000 |
| 4 | Amsterdam | 105 064 000 |
| 5 | North Sea Port | 71 408 000 |
| 6 | Brême | 69 430 000 |
| 7 | Le havre | 65 835 000 |
| 8 | Dunkerque | 52 656 000 |
| 9 | Zeebruges | 45 801 000 |
| 10 | Wihelmshaven | 28 867 000 |

Source : Port d'Anvers (2020)

Le tableau 1 montre le classement des plus grands ports du Range Nord Européen dont Dunkerque. Une analyse de ce classement montre cependant de grandes différences entre le trafic maritime de chaque port, avec des écarts importants comme Rotterdam par exemple qui a un trafic maritime largement supérieur à celui de Dunkerque.

Le critère de la superficie est ajouté pour connaître la relation entre la taille du port et son trafic maritime. Cette relation est montrée dans la figure 1.

Figure 1 - Rapport entre la superficie et le trafic maritime pour les ports sélectionnés



En analysant la figure 1, on peut diviser les 10 ports en trois groupes :

- Les ports dont le trafic excède les 100 millions de tonnes : Rotterdam, Anvers, Hambourg, et Amsterdam.
- Les ports qui ont des trafics et superficies similaires à Dunkerque : Le Havre, Brême et North Sea Port,
- Les ports qui ont des trafics maritimes inférieurs à Dunkerque, mais de superficie plus importante : Zeebruges et Wilhelmshaven.

Notre dernier critère « activité d'économie circulaire » permet de mettre en avant les activités d'économie circulaire dans chaque port retenu. Les recherches sur celles-ci sont basées sur les sept piliers définis par l'ADEME. Nous présentons les projets mis en œuvre dans les ports en nous appuyant sur les critères permettant de définir l'existence d'un d'écosystème d'innovation circulaire (Rapport Impecc n°2., 2022).

Les ports retenus pour ce benchmark sont les ports de taille similaire à Dunkerque (Le Havre, Brême et North Sea Port) et les ports dont le trafic est beaucoup plus important (Rotterdam, Anvers, Hambourg et Amsterdam). Etant donné que le 22 avril 2022, le port de Zeebruges a fusionné avec le port d'Anvers pour former le port « Antwerp-Bruges », nous traitons ces deux ports simultanément (Anvers-Bruges). Le port de Wilhelmshaven n'est pas retenu car bien que disposant d'une surface considérable, son trafic est inférieur à celui de Dunkerque.

Le tableau 2 présente de manière synthétique les informations recueillies pour chaque port étudié plus en détails.

Tableau 2 – Vue d’ensemble des ports étudiés en matière d’économie circulaire

| Axes du tableau de bord d’indicateurs | Sous axes | | Rotterdam | Anvers | Hambourg | Amsterdam | North Sea Port | Brême | Le Havre |
|---|---------------|----------------------------------|--|---|---|---|---|--|---|
| Stratégie, gouvernance et communication | Stratégie | Objectif du port | « smart port » | Cluster de chaînes logistiques circulaires | « smart port » | Transition énergétique et économie circulaire | Renforcer les activités d’économie circulaire | Chaîne d’approvisionnement entièrement durable | Renforcer les chaînes logistiques pour le développement des territoires ; |
| | | Piliers de l’économie circulaire | Ecologie industrielle Recyclage | Ecologie industrielle Recyclage | Recyclage | Recyclage | Ecologie industrielle Recyclage | Non défini | Ecologie industrielle Recyclage |
| | Gouvernance | | Collective | Collective | Non défini | Collective | Collective | Non défini | Collective |
| | Communication | Site internet | Rapports, Newsletter Revue de presse Evènements qui touchent le port | Rapports, Newsletter Evènements qui touchent le port | Rapports, Nouvelles Evènements qui touchent le port Port of Hambourg magazine | Visite Webcam du port Nouvelles | Rapports, Nouvelles Newsletter Revue de presse Evènements qui touchent le port | Nouvelles Presse Librairie digitale Evènements qui touchent le port | Web TV Fils d’informations Actualités |
| | | Outils | PortXchange Système Pronto | Marine Energy Transition | Ship Movements Liner services Ship Movements Interactiv Port | Yacht ports North Sea Canal area MyPort VHF channels on the map | Companies guide Liner services Carte interactive des terrains disponibles Enigma+ Lockplanning Arrivals and departures | Non défini | Non défini |

| Axes du tableau de bord d'indicateurs | Sous axes | Rotterdam | Anvers | Hambourg | Amsterdam | North Sea Port | Brême | Le Havre |
|---------------------------------------|---|--|--|---|---|--|--------------------------|--|
| | | | | | | | Intelligent IoT platform | |
| Activités d'économie circulaire | Ecologie industrielle | Symbiose industrielle de Rotterdam Le projet Réseau hydrogène | Réseau de chaleur ECLUSE Réseau Catalisti | Présente d'une boucle d'écologie industrielle | Non défini | Biopark Terneuzen Boucles d'écologie industrielle autour de l'eau chaude Projet autour de l'hydrogène Zeeland industrial Symbiosis Boucles d'écologie industrielle autour du CO ₂ | Non défini | Réseau de chaleur SEDIBEX BIOSYNERGY 76 |
| | Recyclage | 12 centres de recyclage 3 projets en cours d'installations | Plusieurs entreprises spécialisées | Une unité de recyclage REMONDIS 21 entreprises de recyclage Projet REPAIR | Une trentaine d'entreprises spécialisées | Deux entreprises spécialisées | | |
| Développement économique | Les ressources mobilisées pour le développement | Zone Maasvlakte 2 avec 1000ha de terrain disponible | Réseau de pipelines Installations de soutage GNL | Voies Ferroviaires 12 sites de recyclage | Biopark de 20ha Equipe de spécialistes mise à disposition par le port | Smart Delta Resources Cleantech cluster de Gand | Non défini | Non défini |

| Axes du tableau de bord d'indicateurs | Sous axes | | Rotterdam | Anvers | Hambourg | Amsterdam | North Sea Port | Brême | Le Havre |
|---------------------------------------|-----------------------|--|---|---|---------------------------|--|---|------------|------------|
| | ent économique | | Réseau de pipelines Deux voies maritimes Rotterdam Food Hub de 60ha | Nextgen District de 88ha | | Infrastructures de stockage et d'énergie | Bio base Europe Pilot Réseau de pipelines Terrain disponible (700ha) | | |
| | Les résultats obtenus | Produits nouveaux ou améliorés | Neste MY Renewable Diesel Neste RE | Tapis et matelas à base de déchets industriels | Non défini | Biocarburant Plastique de haute qualité Produits biochimiques Granulés combustible Bio composites Engrais naturel | Produits issus du CO et CO2 LeanSHIPS FASTWATER | Non défini | Non défini |
| | | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Non défini | Navette de passagers à l'hydrogène ACCTS DIGICHEM PIF SUCCeSS | Flow organic waste ZRE | Transformation des déchets Séparation MDS | Technologie VORTEX SUPER-DRY REFORMING Augmentation de l'efficacité du procédé d'électrolyse Carbon4PUR CAPRA CO2PERATE BioSferA BIOCON-CO2 AMARANTHUS 1+ 2 + 3 Smart Gas | Non défini | Non défini |

| Axes du tableau de bord d'indicateurs | Sous axes | | Rotterdam | Anvers | Hambourg | Amsterdam | North Sea Port | Brême | Le Havre |
|---------------------------------------|-------------------------|---|--|---|---|---|---|------------|---|
| | | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Non défini | Non défini | Quarter Service Center Educationale Composting program | Prodock Equipe de spécialistes dédiée | Non défini | Non défini | Non défini |
| | | Nouvelles formes / outils d'organisation de travail | Navigate Rail incubator | PortXL Nxtport ATOM1 | Waste Avoidance & Separation | Non défini | Zeeland Hydrogen symbiosis | Non défini | Non défini |
| Impacts Environnementaux | Réduction des émissions | | CO ₂ (2016 - 2020) dans le port : 27% de réduction Réduction de 21% : centrales électriques 2.5% : les entreprises. NOx réduction de 2 190 tonnes, SOx réduction de 4 360 tonnes entre 2015 et 2017 | ECLUSE : réduction CO ₂ de 100 000 t/an de 5 entreprises SOx réduction de 4 000 tonnes NOx réduction de 3 200 tonnes de entre 2010 et 2017 | Réduction de CO ₂ Non défini Augmentation des émissions de NOx de 14 590 tonnes entre 2015 et 2018. Réduction des émissions de SOx de 622 000 tonnes entre 2015 et 2018. | CO ₂ Réduction de 465 000 tonnes entre 2010 et 2017 NOx réduction de 1010 tonnes entre 2015 et 2017 SOx réduction de 440 tonnes entre 2010 et 2017 | CO ₂ : 3 630 000 tonnes de réduction entre 2010 et 2017 pour la partie Zeeland du port et 100 000 tonnes par an dans la partie de Gand. NOx : augmentation de 160 tonnes entre 2015 et 2017 pour Zeeland. SOx : réduction de 1 570 tonnes entre 2010 et 2017 pour Zeeland. | Non défini | 10 000 000 tonnes de GES en moins pour l'année 2016 |
| | Gestion des déchets | | Déchets ménagers : réutiliser dans la | 1 000 000 tonnes de déchets | 45 000m ³ de résidus huileux de l'exploitation des | 20 000 tonnes de plastiques transformées en | Déchets dangereux : réduction de 1 132 | Non défini | 20 000 tonnes de déchets |

| Axes du tableau de bord d'indicateurs | Sous axes | | Rotterdam | Anvers | Hambourg | Amsterdam | North Sea Port | Brême | Le Havre |
|---------------------------------------|-----------|--|--|---|--|--|---|-------|---|
| | | | symbiose industrielle Déchets industriels : valoriser par l'entreprise SCRAP XL | transformé par l'ECLUSE par an 70% des déchets ménagers recyclés | navires est éliminé chaque année. Programme de recyclage qui a permis un meilleur tri des déchets recyclages | environ 19 millions de litres de diesel 18% des déchets ménagers recyclés | kg entre 2000 et 2017. Augmentation du volume de déchets générés par les bateaux à Zeeland de 10 705m ³ entre 2005 et 2018. 77% de recyclage pour les déchets ménagers à Gand. | | organiques compostées 14 021 tonnes de plastiques recyclés |

Le tableau 2 permet d'avoir une vision générale des activités d'économie circulaire dans les ports retenus. Les parties III et IV qui suivent présentent en détails les informations contenues dans le tableau 2. Ces parties sont divisées en deux sous-parties : les activités d'économie circulaire des ports ayant des trafics maritimes beaucoup plus importants que Dunkerque et les activités d'économie circulaire des ports ayant des trafics maritimes et des superficies similaires à Dunkerque.

III. Présentation des activités d'économie circulaire dans les quatre plus grands ports du Range Nord Européen

Les quatre premiers ports du Range Nord Européen (Rotterdam, Anvers, Hambourg et Amsterdam) ont des trafics maritimes très supérieurs à celui de Dunkerque. Leurs activités d'économie circulaire sont également fortement développées.

III.1. Le port de Rotterdam

III.1.1. Présentation du port

Le port de Rotterdam aux Pays-Bas est le 1^{er} port européen et le 9^{ème} port mondial en termes de trafic maritime. C'est un port de commerce polyvalent spécialisé dans les vracs liquides (hydrocarbures) et les conteneurs de marchandises.

Il existe plus de 120 entreprises industrielles dans le port de Rotterdam réparties dans la bioénergie (production, stockage et distribution), la chimie (produits chimiques utilisés dans l'alimentation, la construction, etc.), le raffinage du pétrole et de l'huile d'origine végétale de représente 85% de la production. Les autres 15% sont constitués de naphta, d'huiles de base et de bitume. Le naphta est transformé en aromatiques ou en alcènes et sert ensuite de matière première à l'industrie chimique du port (Port de Rotterdam, 2022).

III.1.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

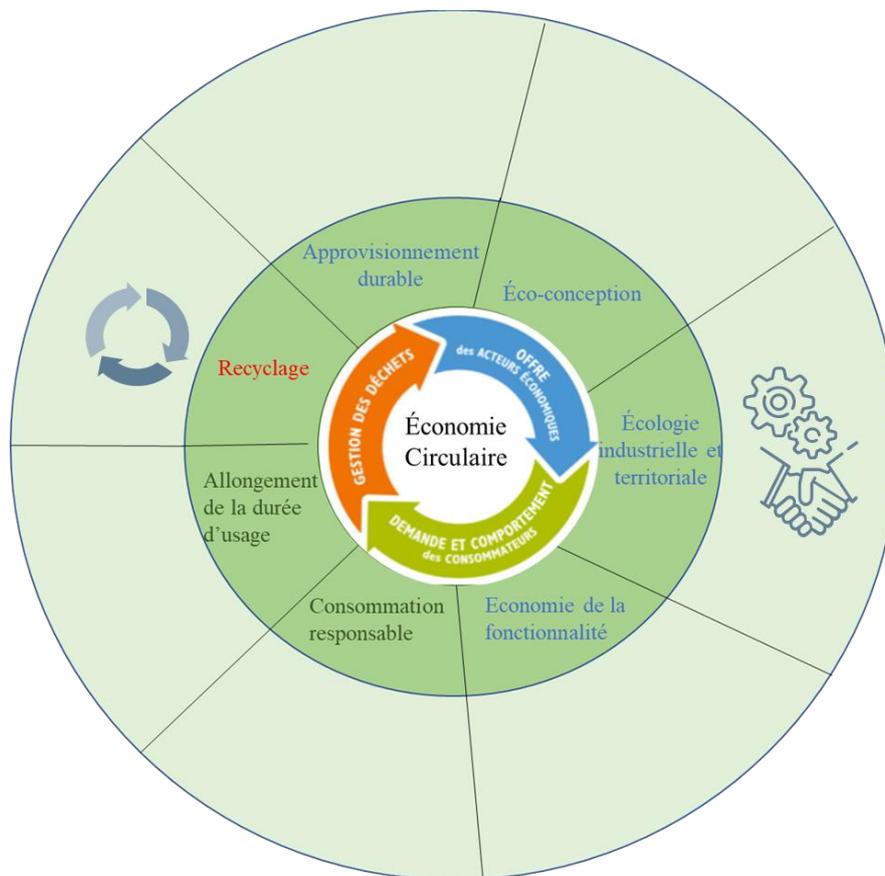
Cet axe vise à évaluer la stratégie mise en place en soutien au développement des activités d'économie circulaire, la forme de gouvernance adoptée et les moyens de communication autour de l'économie circulaire.

Le port de Rotterdam ambitionne d'être le premier « smart port » au monde tout en intégrant un développement plus durable basé sur l'économie circulaire. Malgré l'émergence récente du concept de « Smart port », une définition unifiée d'un « Smart port » et de ses domaines d'activités clés n'ont pas encore été bien étudiés dans la littérature (Molavi et al., 2020). D'après Molavi et al. (2020, p.3), un « Smart port » ou port intelligent rassemble « des personnes mieux formées, une main-d'œuvre qualifiée, des infrastructures intelligentes et l'automatisation afin de faciliter le développement et le partage des connaissances, d'optimiser les opérations

portuaires, d'améliorer la résilience du port, de favoriser un développement durable et de garantir des activités sûres et sécurisées ». Plus simplement, un « smart port » peut être défini comme un port utilisant les technologies de l'information et de communication (TIC) pour augmenter son efficacité et garantir la sécurité des opérations de transbordement (Rajabi et al., 2018).

La figure 2 présente les piliers de l'économie circulaire qui sont les plus importantes à Rotterdam.

Figure 2 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port de Rotterdam



Les piliers de l'économie circulaire que l'on retrouve à Rotterdam sont l'écologie industrielle (transformation et réutilisation de différents types de déchets industriels et ménagers produits localement) et le développement d'autres activités de recyclage de déchets.

La municipalité de Rotterdam est le principal actionnaire (70%) et le propriétaire des terrains portuaires avec le gouvernement néerlandais (30%) (Brooks & Pallis, 2012; Rotterdam, 2018). A Rotterdam, en termes d'économie circulaire, la gouvernance est composée de l'autorité

portuaire, trois bureaux chargés du développement durable et des agences de développement appelées ROMs (Regional Development Agencies). Le port détient une participation dans un certain nombre d'entreprises et de fondations¹. Ces participations lui permettent d'avoir une influence et un contrôle sur les activités (dans la prise de décision, la formulation et le suivi). L'autorité portuaire de Rotterdam gère, exploite et développe le port et la zone industrielle et est responsable du maintien de la sécurité et du bon déroulement de toutes les expéditions (Port of Rotterdam, 2022).

Trois bureaux se chargent de la stratégie urbaine en matière de développement durable: 1) Le Bureau de développement urbain (Stadsontwikkeling en néerlandais) est responsable de la formulation et de la mise en œuvre de la vision, de la stratégie et des programmes politiques pour l'environnement urbain. Il s'occupe de l'entretien et la restauration des caractéristiques urbaines telles que les espaces verts, les parcs, les paysages de rues et aquatiques et de tous les autres équipements du paysage urbain (par exemple, le mobilier urbain). Ce bureau supervise la mise en œuvre des programmes et des plans de développement urbain. 2). Le bureau de planification de la durabilité est responsable de la formulation des stratégies et des programmes pour la durabilité autour de la planification énergétique, la qualité de l'air et la pollution sonore. Le bureau de planification de la durabilité est chargé d'informer et de conseiller le bureau du développement urbain et le bureau d'adaptation climatique. 3) Le bureau d'adaptation climatique est chargé de la formulation des stratégies pour protéger la ville de Rotterdam des impacts du changement climatique. Il est également responsable de la mise à jour des plans d'adaptation climatique en s'assurant de l'assimilation des nouvelles connaissances scientifiques sur les impacts du changement climatique. Le Bureau d'adaptation au climat gère également les questions relatives à la gestion des eaux côtières de la ville (Frantzeskaki & Tilie, 2014).

Le ROMs (Regional Development Agencies) ou (Regionale Ontwikkelingsmaatschappijen en Néerlandais) ont pour mission de stimuler l'économie de leur régions. Il regroupe 9 agences de développement régional (RDA). C'est une organisation à but non lucratif. Ses objectifs sont de dynamiser l'économie et l'emploi local en stimulant l'innovation et les investissements dont l'économie circulaire à travers la mise en relation des acteurs. La RDA dans la province de

¹ [Participation dans les entreprises et les fondations](#)

Rotterdam s'appelle « InnovationQuarter ». Elle soutient les entreprises ayant des projets innovants et peut aussi investir dans les entreprises et les startups.

Les acteurs impliqués dans la gouvernance montrent que celle-ci y est collective avec des rôles bien déterminés pour chaque acteur. Cependant, les informations recueillies ne permettent pas de connaître l'évolution de cette gouvernance. Aussi, la répartition des rôles entre ces acteurs ne semble pas être directement liée à l'adoption de l'économie circulaire.

En termes de communication, le port de Rotterdam regroupe sur son site institutionnel toutes les informations relatives à son fonctionnement comme les rapports annuels et les différents rapports sur les transformations opérées dans le port et plus généralement dans la ville (Port de Rotterdam, 2022). Ces rapports regroupent toutes les activités du port en général avec peu de document traitant spécifiquement de l'économie circulaire.

Le site contient aussi un onglet « Press » qui permet d'avoir dans un seul espace les contacts utiles du port par thème et ainsi que les nouvelles qui paraissent dans les revues de presse de la ville mais aussi à l'international qui concernent les ports. Enfin un onglet « News » permet de prendre connaissance des événements organisés dans le port ou par le port avec une banque de vidéos qui résume en quelques minutes le contenu des rapports mais aussi des images qui avec les informations clés du port.

En plus du site internet, le port dispose d'outils :

- « PortXchange² » est une plateforme collaborative permettant à toutes les parties prenantes (entreprises maritimes, terminaux du port et prestataires de services) d'échanger des informations standardisées sur les escales en incluant les types de déchets transportés pour une meilleure prise en charge du port.
- Le système « pronto³ » permet d'obtenir un aperçu en temps réel des places d'amarrage et des capacités de manutention disponibles. Cet outil est surtout utilisé par les navires avant leur arrivée dans le port de Rotterdam.

L'économie circulaire pourrait profiter de la présence de ces outils, par exemple PortXchange permet de connaître en avance la quantité et le type de déchets d'un navire avant son arrivée,

² [PortXchange](#)

³ [Pronto](#)

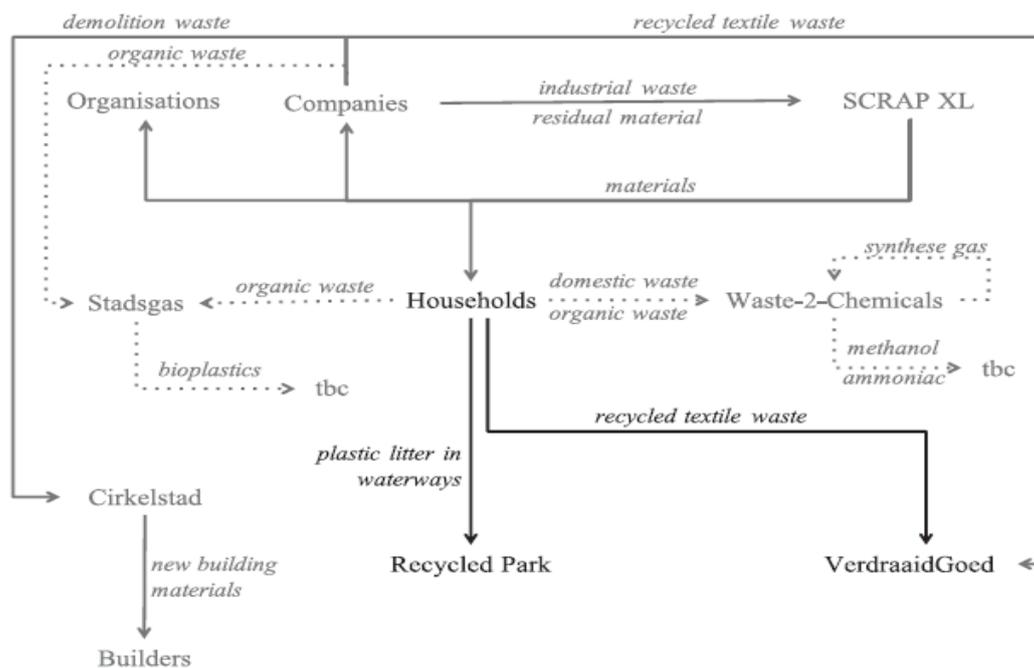
mais ces outils ont surtout été développés pour améliorer et optimiser les activités au sein du port.

III.1.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Rotterdam

Ecologie industrielle

Une symbiose industrielle constituée de flux organisés d'écologie industrielle s'est développée depuis 1994 dans le port de Rotterdam grâce à l'action conjointe du port, de la ville de Rotterdam et ses trois bureaux (Baas, 1998; Baas & Boons, 2004; Frantzeskaki et al., 2017) (voir figure 3).

Figure 3 – La symbiose industrielle de Rotterdam



Source : Steenmans (2021)

Cette symbiose utilise tous les types de déchets locaux (ménagers et industriels) comme co-produits. Les lignes continues indiquent les activités déjà en place, les déchets résiduels et industriels des entreprises sont réutilisés par SCRAP XL⁴ (entreprise spécialisée dans la vente et la transformation de co-produits) pour la fabrication de produits comme des matériels de bureau dont la majeure partie est vendue à la population locale, aux entreprises et aux

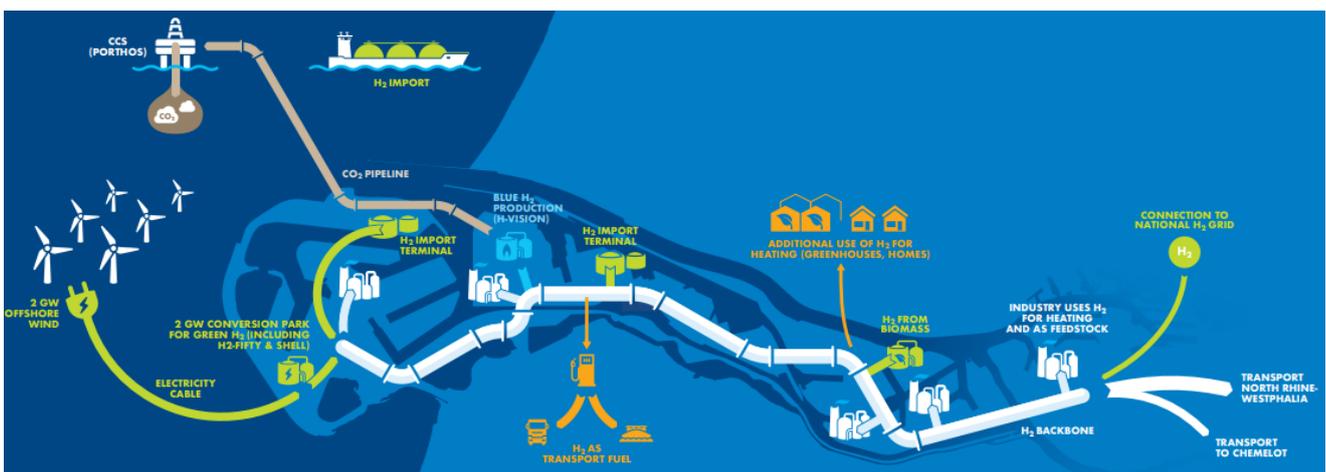
⁴ [SCRAP XL](#)

institutions locales. Les déchets textiles de la population et des entreprises sont acheminés vers VerdraaidGoed⁵ qui les transforme en papier ou emballages. Cette symbiose est en cours de transformation avec de nouveaux projets qui viennent s’y ajouter (représenter par les lignes discontinues). Un projet d’utilisation des déchets organiques avec Stadsgas⁶ est en cours pour la fabrication de bioplastiques. Les déchets des ménages qui sont actuellement envoyés dans des centres de recyclage seront partiellement utilisés pour la fabrication d’ammoniac, de méthanol ou encore de gaz de synthèse grâce au projet Waste-2-Chemicals⁷ dont le permis d’exploitation a été déposé en fin 2021.

Cette symbiose industrielle s’appuie sur la stratégie de transition énergétique du port qui vise à diversifier son approvisionnement. Cela se traduit par des projets éoliens, solaires et basés sur la biomasse. A cet égard, deux centrales à biomasses sont installées pour remplacer le gaz fossile à partir de matières premières renouvelables (comme les résidus de bois industriels) issues des entreprises du port (Port of Rotterdam, 2022). L’entreprise Vertoro dont la bioraffinerie est en cours de construction, prévoit de transformer les résidus de bois industriels comme la sciure en éthanol cellulosique (capacité de production de 50 000 tonnes), et du pétrole brut à base de lignine (environ 125 000 tonnes)⁸.

Elle se développe aussi grâce à un réseau hydrogène qui devrait être opérationnel en 2023. Ce réseau est synthétisé dans la figure 4.

Figure 4 - Réseau hydrogène – Port Rotterdam



Source : Port de Rotterdam (2021)

⁵ [VerdraaidGoed](#)

⁶ [Stadsgas](#)

⁷ [Waste-to-Chemicals](#)

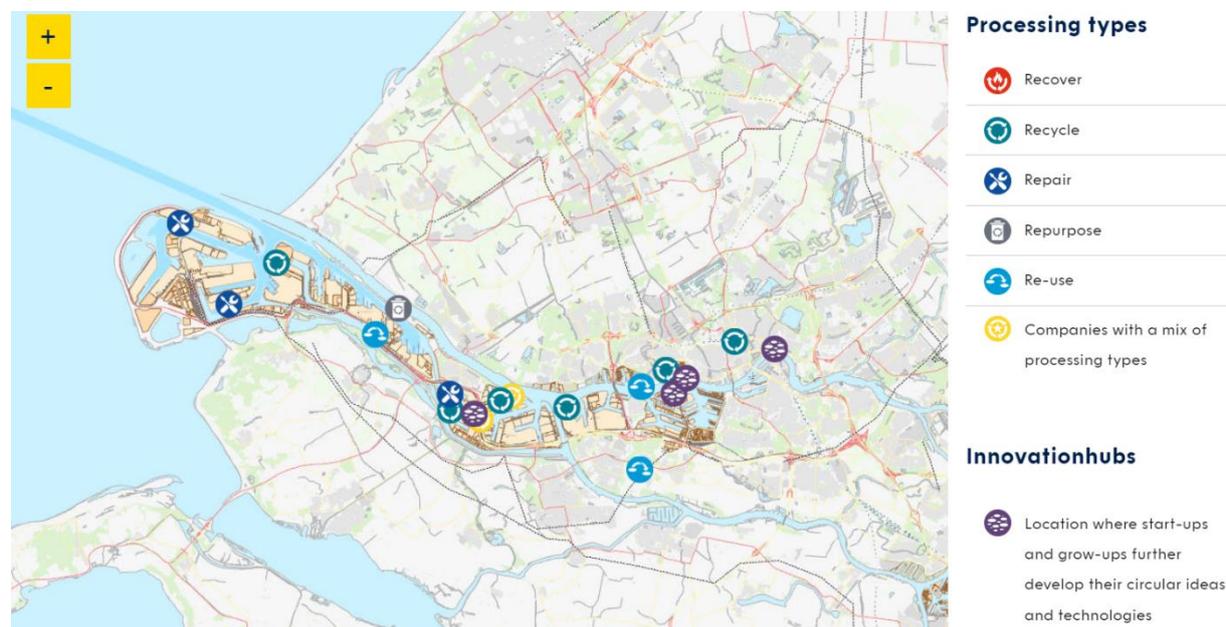
⁸ [Vertoro Biofuel Rotterdam](#)

Ce réseau d'hydrogène sera alimenté par un parc éolien offshore produisant 2GW d'énergie et permettra de produire de l'hydrogène avec une partie qui sera exportée et une autre réutilisée par les entreprises locales et pour le chauffage urbain. Le CO₂ issu de cette production sera quant à lui transporté, puis stocké à 20km des côtes (2,5M tonnes par an pendant 15 ans), 3km sous la mer grâce au projet Porthos⁹¹⁰ (projet opérationnel en 2024). Ce CO₂ pourra ensuite être valorisé dans l'industrie chimique pour la production d'urée (substance très utilisée en agriculture comme engrais azoté), pour produire des médicaments, des polycarbonates, qui est une matière plastique très performante (verres optiques, CD et DVD, lentilles). Katendrecht covestry, une entreprise chimique du port de Rotterdam est l'une des entreprises pionnières dans la transformation du CO₂ en plastique (Notteboom et al., 2020) et des polyméthanés (mousses, caoutchouc etc.). La valorisation du CO₂ peut aussi être biologique par la photosynthèse comme les micro-algues dont la croissance nécessite d'importantes quantités de CO₂.

Recyclage

Le port de Rotterdam est aussi impliqué dans le recyclage (voir figure 5).

Figure 5 – Infrastructures de recyclage dans le port de Rotterdam



Source : Port de Rotterdam (2022)

⁹ [Porthos CO₂ transport and storage](#)

¹⁰ [Projet d'intérêt commun de l'Union Européenne](#)

Ces infrastructures sont réparties sur l'ensemble du port, ce qui permet aux entreprises, d'avoir accès à un centre à proximité et aux grandes entreprises en place ou aux startups innovantes de développer de nouvelles idées et technologies.

Ainsi, différents projets de recyclage sont aussi en cours développement dans le port :

- L'entreprise Xycle¹¹ (multinationale dans le recyclage de produits chimiques) a débuté en 2022 la construction d'une usine de recyclage de déchets plastiques avec une capacité de 20 000 tonnes par année (Port de Rotterdam, 2022).
- L'entreprise TES¹² (Multinationale dans le recyclage de batteries) y construit la première usine de recyclage de batteries lithium-ion. La première phase du projet sera opérationnelle en fin 2022 et permettra à l'usine de traiter 10 000 tonnes de batteries. Le cobalt, le nickel et le lithium seront récupérés comme matières premières pour les nouvelles batteries (Port Technology, 2022).
- La startup Gidara Energy¹³ créée en 2019 en collaboration avec le port de Rotterdam construit une usine de transformation des déchets non recyclables en méthanol. L'usine appelé Advanced Methanol Rotterdam (AMR)¹⁴ sera opérationnelle en 2025.

III.1.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

Pour réaliser sa transition vers l'économie circulaire, le port de Rotterdam a procédé à des aménagements de son espace portuaire en intégrant des zones spécialisées et des pôles d'innovation (voir figure 5). Le port concentre surtout ses efforts dans des projets d'extension des infrastructures (centres de récupération, recyclage, réparation et de réutilisation) suivant sa stratégie des 5R (Recover, Recycle, Repair, Repurpose, Re-use) pour réduire la production de déchets et des eaux usées (Gravagnuolo et al., 2019).

Le port aménage une zone appelée Maasvlakte 2 (Van den Berg & De Langen, 2015 ; Port of Rotterdam, 2022) dans laquelle se trouvent deux terminaux modernes, où sont manutentionnés des porte-conteneurs et où sont assemblés les pieux de fondation géants des nouveaux parcs

¹¹ [Xycle](#)

¹² [TES](#)

¹³ [Gidara Energy](#)

¹⁴ [Advanced Methanol Rotterdam](#)

éoliens offshore. A terme, 1000 hectares seront disponibles pour accueillir des industries innovantes et durables.

Le port possède un réseau de transport diversifié conséquent (routes, voix ferroviaire). Il investit dans son réseau de pipelines (1500km de long) reliant le port et les différentes entreprises qui y sont localisées. Une grande partie des vracs liquides qui circulent dans le port, notamment le pétrole et des produits chimiques et de gaz industriels¹⁵ passent par ce réseau de pipelines.

L'extension du port se traduit aussi par des aménagements pour améliorer l'accessibilité par voie maritime. Pour cela, les voies maritimes de la Nieuwe Waterweg et le Botlek sont creusées pour permettre à de plus gros navires avec des tirants d'eau de 15m de pouvoir poursuivre leur navigation sans décharger leurs cargaisons dans des bateaux plus petits. En termes d'économie circulaire, cet aménagement permet des économies d'énergie liées au transbordement des marchandises.

Le port a aussi construit le « Rotterdam Food Hub » d'une superficie de 60ha, ce hub propose des installations communes mutualisées (déjà opérationnelles) comme des entrepôts de stockage frigorifiques, des quais et des services de transports avec des avantages comme le contrôle d'accès et de douane qui peuvent être partagés efficacement entre les entreprises du hub (Port de Rotterdam, 2022).

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire (Innovations développées)

Les moyens mis en œuvre par le port, la ville et les entreprises ont permis d'obtenir des résultats sous formes d'innovations (Notteboom et al., 2020). L'analyse détaillée des innovations développées nécessiterait un travail de terrain plus conséquent. Certaines innovations mises en avant par les acteurs sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port de Rotterdam en termes d'innovations

| Port | Produits nouveaux ou améliorés | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail |
|------------------|---------------------------------------|---|--|--|
| Rotterdam | Oui | Non défini | Non défini | Oui |

¹⁵ [Réseau de pipelines](#)

| | | | | |
|--|---|--|--|----------------------------|
| | Neste MY Renewable Diesel Neste RE | | | Navigate Rail incubator |
|--|---|--|--|----------------------------|

En termes de produits nouveaux ou améliorés, l'entreprise « Neste ¹⁶ » (Multinationale dans la production de carburants renouvelables inscrite dans les démarches d'économie circulaire et de recyclage) a par exemple introduit deux nouveaux produits :

- Neste MY Renewable Diesel qui permettra à terme de remplacer les énergies fossiles et réduire les émissions de gaz jusqu'à 90% grâce à son « Diesel renouvelable » appelé (HVO) qui convient à tout type de moteur diesel.
- Neste RE qui est une nouvelle matière première pour la production de plastiques qui est entièrement composée de matières premières renouvelables et recyclées. Avec une qualité identique au plastique fabriqué à partir de matières premières conventionnelles.

En termes de nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail, le port de Rotterdam dispose de « Navigate¹⁷ » qui est un logiciel spécialement conçu pour les entreprises qui souhaitent utiliser le transport de conteneurs de manière plus autonome pour leur chaîne d'approvisionnement. Le port a aussi développé le « Rail incubator¹⁸ » pour aider les opérateurs à mettre en place de nouvelles connexions ferroviaires depuis/vers l'arrière-pays de Rotterdam. L'incubateur se concentre sur les régions en croissance et consiste en un soutien financier et marketing.

III.1.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

L'adoption d'activités d'économie circulaire dans le port de Rotterdam a permis la réduction des impacts sur l'environnement.

Les archives disponibles du port de Rotterdam montrent que dans les années 1990, le port dégageait plus de 20 millions de tonnes de CO₂ et ce volume a augmenté de plus de 30 millions

¹⁶ [Entreprise Neste](#)

¹⁷ [Navigate](#) donne un aperçu complet des connexions les plus efficaces via Rotterdam par voie maritime profonde, maritime courte, ferroviaire ou par barge. Le planificateur de dépôts vides a été intégré pour repositionner vos conteneurs vides. De plus, Navigate comprend un annuaire des entreprises actives dans et autour du port de Rotterdam.

¹⁸ [Rail incubator](#)

jusqu'en 2016 à cause des projets d'extension du port et des entreprises. En revanche, sur la période de 2016-2020, les émissions de CO₂ ont été réduites de 27% et de 12% pour l'année 2020. En 2021 par exemple, les centrales électriques de Rotterdam ont réduit leurs émissions de carbone de 1,9 million tonnes, soit 21%. Cette diminution est possible grâce à la production d'électricité à partir de sources renouvelables (solaire, éolienne et biomasse). En 2022, le port a pu baisser ses émissions, pour atteindre le niveau enregistré en 1990 (Port de Rotterdam, 2022).

L'année record de Rotterdam en termes d'émissions de carbone a été 2016. C'est à cette époque que de nouvelles centrales à charbon ont été mises en service, tandis que celles existantes sont restées opérationnelles. Les entreprises dans le port de Rotterdam étaient responsables de 16% des émissions de CO₂ dans l'ensemble des Pays-Bas avant 2016, contre 13.5% des émissions de CO₂ en 2020. Par exemple, l'entreprise Neste produit du biodiesel à partir de 100% de matières premières renouvelables ce qui réduit ses émissions de gaz à effet de serre par rapport au diesel fossile de 75% à 95% (Neste, 2022). Cette entreprise est en train de construire une nouvelle unité de production opérationnelle en 2026 avec un investissement de 1,9 milliard d'euros. Les émissions de NO_x (oxydes d'azote) ont baissé entre 2015 (21 620 tonnes) et 2017 (19 430 tonnes). Les émissions d'oxyde de soufre (SO_x) ont baissé entre 2010 (17 090 tonnes) et 2017 (12 730 tonnes) (DELFT, 2020).

Gestion des déchets

En termes de déchets ménagers, Rotterdam produit plus de 270 000 tonnes de déchets par an (Elzen, 2021) avec 40% de déchets organiques, 12% de plastiques et de métaux, 27% de déchets résiduels, 12% de papiers et de cartons, 4% de textiles, et 4% de verres. Le tri de ces déchets débute au sein chaque foyer puis les déchets triés sont réutilisés par des entreprises de la symbiose industrielle (voir figure 1). La quantité des déchets industriels n'est pas clairement quantifiée dans le port de Rotterdam, néanmoins, une partie de ces déchets est valorisée par l'entreprise SCRAP XL puis revendue essentiellement sur le marché local. Le port a réduit ses émissions de substances extrêmement préoccupantes dans les eaux de surface entre 2000 (4 738kg) et 2017 (636 kg). Le volume de déchets générés par les bateaux cargo dans le port de Rotterdam a augmenté entre 2005 (73 185 m³) et 2017 (369 667 m³) (DELFT, 2020).

En conclusion, le port de Rotterdam adopte des activités d'économie circulaire autour de la transition énergétique et l'adoption d'outils numériques permettant l'optimisation de ses

activités. La transition du port vers l'économie circulaire s'appuie sur une symbiose industrielle constituée autour du recyclage et de la réutilisation de déchets industriels et ménagers et d'autres activités de recyclage. Elle est en partie motivée par des raisons externes telles que le plan de décarbonation en Europe à l'horizon 2050 que le port mobilise régulièrement dans ses communications. On constate que le schéma de transition projeté par le port est grandement inspiré par les objectifs de réductions des émissions de carbone. L'objectif étant de se mettre en conformité par rapport aux futures réglementations et attentes de l'Union européenne tout en gardant sa place de premier port européen.

La stratégie du port pour rester le premier port d'Europe est l'adoption d'outils numériques pour devenir le premier « smart port », ses efforts sont orientés vers la mise en place d'outils, surtout numériques qui permettent d'optimiser les actions du port pour le gain d'efficacité. Elle met aussi l'accent sur le développement d'innovations de la part des entreprises en place et de nouvelles startups. Dans ce processus de transformation qui est en cours, le port établit des relations de collaboration avec d'autres ports du Range Nord Européen, cette collaboration se traduit par des projets au niveau international avec par exemple le transport et de stockage de CO₂ en collaboration avec les ports de North Sea et d'Anvers.

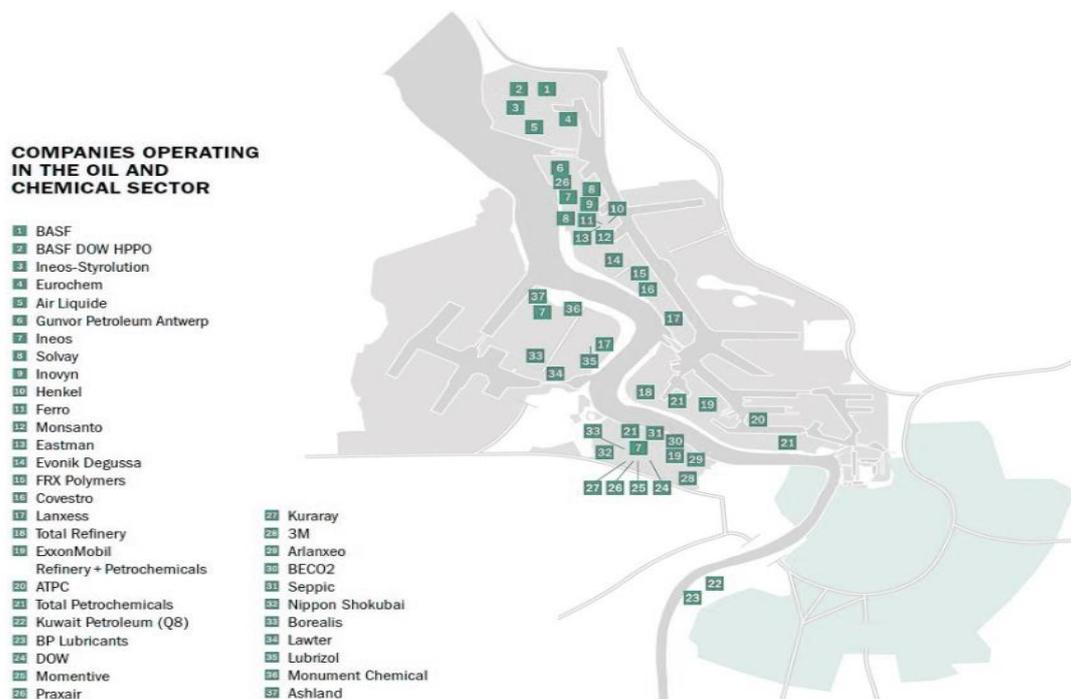
III.2. Le port d'Anvers

III.2.1. Présentation du port

Le port d'Anvers est le 1^{er} port de Belgique et le 2^{ème} port européen en termes de trafic maritime. C'est un port de commerce polyvalent avec la superficie la plus importante dans notre classement. Le port d'Anvers a pour ambition d'être le principal port leader en matière de valeur ajoutée durable grâce à la collaboration entre la logistique, le département maritime du port et l'industrie pour développer de nouveaux services portuaires (Ballini, 2017).

Le port d'Anvers est surtout connu pour son industrie pétrolière et chimique constituées de plus de 30 entreprises actives, toutes situées dans la zone portuaire, 2 raffineries dans le top 10 mondial, 4 vapocraqueurs (installation industrielle servant à fabriquer principalement de l'éthylène et du propylène à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta ou des alcanes légers) et plus de 7 millions de m³ de solutions tierces de stockage de liquides (voir figure 6).

Figure 6 - Les entreprises chimiques et pétrolières du port d'Anvers



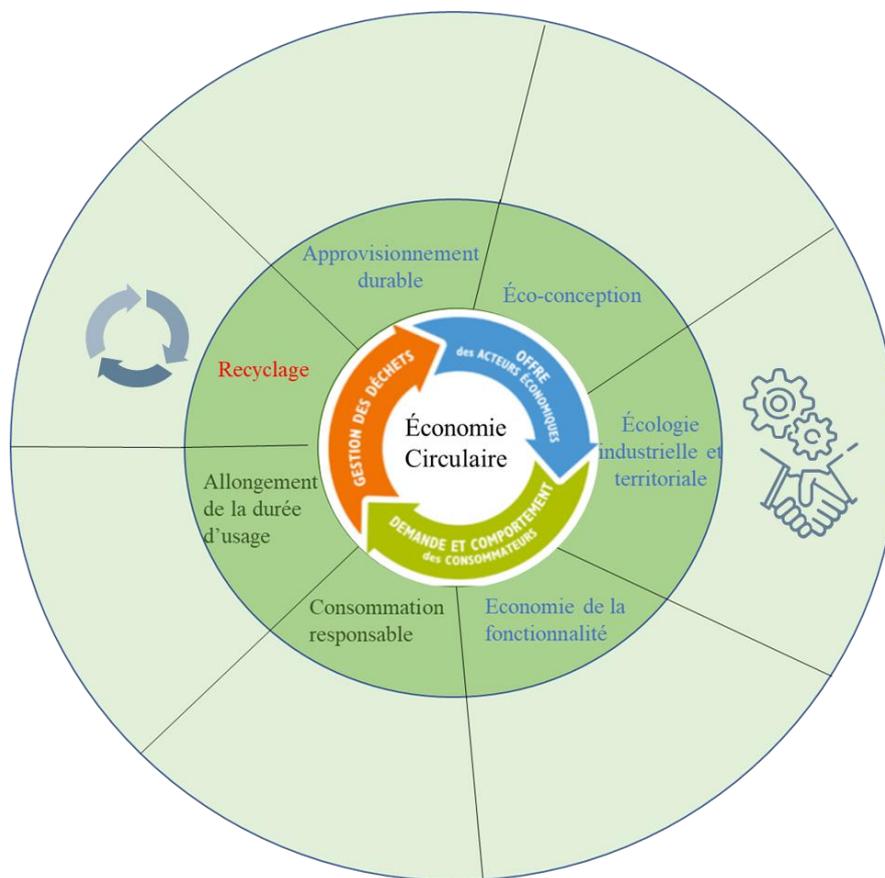
Source : Business in Antwerp (2022)

La figure 6 montre que les entreprises présentes sont réparties dans les environs immédiats du port et profitent des solutions de stockages disponibles.

III.2.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

La stratégie d'économie circulaire du port d'Anvers se base autour de l'écologie industrielle et le recyclage de déchets (voir figure 7). D'après Haezendonck and Van den Berghe (2020), il y aurait 65 initiatives de projets d'économie circulaire à Anvers dont 28 initiées par le port pour un budget total des subventions publiques de 193 954 287 euros. Le port d'Anvers développe l'économie circulaire grâce à des projets qui touchent la construction d'infrastructures, l'énergie et la mobilité, le traitement des déchets, le recyclage du plastique, l'agroalimentaire et le bien-être des citoyens (Gravagnuolo et al., 2019).

Figure 7 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port d'Anvers



Le port d'Anvers ambitionne de devenir un cluster de chaînes logistiques circulaires autour des déchets et des produits en fin de vie, pour être ensuite réutiliser dans des activités d'écologie industrielle et de recyclage.

Le port d'Anvers mise aussi sur l'importation d'hydrogène et le captage du CO₂ pour atteindre la neutralité carbone. L'une des stratégies du port pour atteindre son objectif est le projet « CO₂TransPorts » commun avec les ports de Rotterdam et de North Sea Port. Le 22 Avril

2022, le port a fusionné avec le port de Zeebrugge pour devenir le port d'Anvers-Bruges, qui est un important centre de commerce de l'énergie doté d'un terminal de GNL¹⁹.

La gouvernance du port est essentiellement gérée par sept acteurs impliqués dans les activités d'économie circulaire :

- 1) L'Autorité Portuaire d'Anvers (APA) est entièrement détenue par la municipalité d'Anvers. L'APA gère et entretient les docks, les ponts, les écluses, les quais, les murs de quai et les terrains (van den Oord et al., 2020).
- 2) Maatschappij Linkerscheldeover ou MLSO²⁰ (Left Bank Corporation en anglais) est responsable de la politique foncière dans la zone portuaire sur la rive gauche de l'Escaut. Il a la possibilité d'acheter des terrains et des bâtiments. Une distinction est faite entre la zone maritime et la zone industrielle, qui est de la compétence de MLSO.
- 3) Alfaport Voka est une association née de l'intégration d'Alfaport Antwerp, la fédération des entreprises portuaires et logistiques du port, et de la Chambre de commerce Anvers-Wase en 2014. C'est une plateforme pour les entreprises et associations professionnelles du port d'Anvers qui travaille autour de l'accessibilité, des économies d'échelle dans le port d'Anvers²¹.
- 4) Natuurpunt est une association indépendante de bénévoles (133 000 membres) qui protège la nature vulnérable et menacée en Flandre. L'association gère 500 réserves naturelles différentes d'une superficie totale de plus de 26 000 hectares.
- 5) La ville d'Anvers est depuis 2001 une administration qui gère les décisions sur tout ce qui est d'intérêt communal incluant les projets de développement durable.
- 6) VITO²² est un organisme de recherche indépendant qui aide le port dans ses décisions stratégiques en matière d'économie circulaire. VITO réalise des recherches sur les principales zones portuaires et l'arrière-pays dans la région de Rotterdam, Dunkerque, Zeebrugge et Hambourg pour permettre au port d'Anvers d'approfondir sa connaissance en matière d'économie circulaire et ce, afin de faire des choix plus éclairés pour le développement de l'infrastructure de son NextGen district²³ et ses activités de Recyclage des produits chimiques.

¹⁹ [LeMonde 2022](#)

²⁰ [MLSO](#)

²¹ [Alfaport Voka](#)

²² [Laboratoire de recherche VITO](#)

²³ [NextGen District](#)

- 7) Le Beacon²⁴ d'Anvers (dont l'autorité portuaire est l'un des investisseurs) est une organisation à but non-lucratif qui réunit les principaux fournisseurs de technologies dans le domaine de l'Internet des objets, pour la création et le développement de start-ups et de la recherche scientifique. Elle apporte des solutions pour relever les défis des villes, ports et industries incluant l'économie circulaire.

En termes de communication, le site internet du port d'Anvers-Bruges est divisé en trois grandes parties : les informations sur le port, les informations sur les expéditions et l'industrie à Anvers. Le port possède un onglet sur le climat et la transition dans lequel une page est dédiée à l'économie circulaire et ses principaux projets.

Des rapports de durabilité des autorités portuaires sont communiqués et permettent aux parties prenantes (les entreprises, l'Etat et les institutions locales) de progresser sur le plan technique et d'améliorer leurs performances environnementales.

Le port a implémenté le forum « Marine Energy Transition » (consortium entre Petrosport²⁵ et le Port d'Anvers-Bruges) pour promouvoir l'utilisation de combustibles non fossiles dans le transport maritime.

III.2.3. Axe 2 Activités d'économie circulaire dans le port d'Anvers

Ecologie industrielle

Dans le port d'Anvers, l'écologie industrielle se déploie principalement autour d'un réseau de chaleur (ECLUSE) construit à partir des déchets ménagers, industriels et de boues, auquel s'ajoutent des projets de captage du CO₂ et de recyclage des déchets.

Le réseau de chaleur ECLUSE²⁶ est le résultat de la collaboration entre MLSO, Water-link (entreprise de distribution d'eau potable depuis 1880), Indaver²⁷ (entreprise de traitement des déchets), SLECO²⁸ (Entreprise de traitement des boues et déchets non récupérables), Fluvius²⁹ (entreprise fournisseur d'énergie) et FINEG (Holding de financement pour la vente d'électricité et de gaz naturel) (ECLUSE, 2022).

²⁴ [Le Beacon](#)

²⁵ [Petrosport](#)

²⁶ [ECLUSE](#)

²⁷ [Indaver](#)

²⁸ [SLECO](#)

²⁹ [Fluvius](#)

Le projet ECLUSE a été initié en 2014 avec l'aide du gouvernement néerlandais et est entré en activité en 2019 (Voir figure 8)

Figure 8 – Le réseau de chaleur ECLUSE³⁰ du port d'Anvers



Source : ELCUSE (2022)

L'ECLUSE permet aux entreprises du port d'Anvers qui se raccordent à son réseau de remplacer entièrement ou partiellement leurs chaudières à gaz étant donné qu'une seule centrale fournit la vapeur. Les entreprises ont la garantie d'un approvisionnement énergétique rentable à long terme et peuvent ainsi acheter de la chaleur en fonction de leurs besoins.

SLECO et Indaver traitent plus d'un million de tonnes de déchets par an. Ces déchets se composent de déchets ménagers, de déchets industriels et de boues. Auparavant, la vapeur dégagée lors de l'incinération était transformée en électricité par trois turbines et injectée dans le réseau électrique, ce qui suffisait à couvrir les besoins en électricité de 170 000 ménages. Une partie seulement de la vapeur était fournie directement à une entreprise voisine, Ineos Phenol. Aujourd'hui, la vapeur est principalement injectée dans le réseau ECLUSE-steam network pour répondre à la demande de vapeur de 5 entreprises : Ineos Phenol (qui est le premier producteur de Phénol et d'Acétone au monde), ADPO (qui est une entreprise de stockage), LANXESS Belgium (qui produit et commercialise des intermédiaires chimiques, des additifs et des matières plastiques), Monument Chemical (qui produit des solvants et intermédiaires chimiques) et Ashland Specialties Belgium (producteur de solvants et de produits chimiques comme des acrylates ou des émulsifiants). Tandis que le reste est converti

³⁰ [Développement de l'ECLUSE](#)

en électricité. Il est à noter qu'environ la moitié des déchets qui sont traités dans ces usines sont bio-organiques. Par conséquent, la moitié de l'énergie récupérée peut être considérée comme renouvelable.

Une autre activité d'écologie industrielle est le Réseau Catalisti³¹, composé d'entreprises de chimie et de plastique qui valorisent les flux de déchets (déchets chimiques, CO₂, plastique etc.) pour la réduction des coûts et la fabrication de produits chimiques. Ce réseau porte plusieurs projets autour de 4 thèmes³² : chaînes de valeur (5 projets en cours), amélioration des processus et transformations (6 projets en cours), circularité et efficacité des ressources (14 projets) et produits durables (11 projets).

Le port d'Anvers vise à diminuer sa consommation d'énergies fossiles, sa stratégie pour y parvenir se base sur des initiatives internes, mais aussi externes. Les initiatives internes prennent la forme de recyclage et l'adoption d'énergie verte comme l'éolienne et l'hydrogène vert. Un projet de deux usines pour recycler et produire de l'hydrogène vert a d'ailleurs fait l'objet d'un investissement de 400 millions d'euros ; elles seront implantées dans un nouveau district dédié à l'économie circulaire (NextGen District, voir ci-dessous). Le port collabore aussi avec des partenaires internationaux (Rotterdam et North Sea Port) pour la construction d'un réseau hydrogène (CO₂Transport).

D'autres projets sont aussi en cours de développement³³ :

- Projet Antwerp@c lancé en 2019 est une initiative de sept entreprises et de l'autorité portuaire d'Anvers qui vise à réduire les émissions de CO₂ de moitié d'ici 2030, avec des applications de captage et utilisation du CO₂ grâce à des pipelines qui transporteront le CO₂ dans des centres de stockage à Anvers avant d'être redistribuer à l'aide de pipelines ou de navires de stockage.
- Le projet « Antwerp Recycling Hub » explore le potentiel de la création d'un cluster de recyclage de plastique.
- Le projet « Plastics Recycling Hub³⁴ » qui regroupe 22 partenaires dont le Port d'Anvers est un projet qui a débuté en novembre 2021 et qui devrait être complété en juillet 2023.

³¹ [Réseau Catalisti](#)

³² [Les projets du réseau Catalisti](#)

³³ [Les projets d'économie circulaire du port d'Anvers](#)

³⁴ [Plastics Recycling Hub](#)

Ce projet va étudier à quelles étapes les matériaux contenant du plastique peuvent servir d'intrants dans des processus de recyclage innovants, leur échelle et la manière dont elles peuvent être collectées et transportées. Il a pour but également d'identifier les synergies entre les pré-chaînes des flux de déchets sélectionnés, par exemple en ce qui concerne les infrastructures, les installations, le processus de déclassement et les acteurs (logistiques) impliqués.

Recyclage

Le recyclage dans le port de Anvers-Bruges est aussi réalisé par des entreprises spécialisées³⁵ pour lesquelles la provenance des déchets et l'utilisation des produits finis ne sont pas précisées comme par exemple :

- Antwerp Recycling Company est une entreprise créée en 1990 qui travaille dans le secteur de la récupération et recyclage des déchets de construction et de démolition.
- L'entreprise « High 5 Recycling Group » en opération depuis 2013 recycle tout type de verre à Anvers et Charleroi (Belgique).
- L'entreprise « Belgian Scrap Terminal » recycle les métaux non ferreux.

III.2.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

Le port a construit des installations de soutage de GNL (navire à navire, camion à navire, barge à navire) pour soutenir la transition vers le GNL comme carburant pour les navires (Notteboom et al., 2020).

Dans l'objectif de devenir un cluster de chaînes logistiques circulaires pour les entreprises, le port est en train de :

- Construire une nouvelle zone industrielle consacrée à la mise en œuvre de solutions circulaires appelée NextGen District. D'une surface de 88ha, cette zone est dédiée aux entreprises ayant des projets d'économie circulaire (Zasiadko, 2022). D'ici 2025, cette nouvelle zone accueillera deux nouvelles usines, l'une pour la production d'hydrogène vert et l'autre pour le traitement des eaux.

³⁵ Recherche google « [Entreprises de recyclage à Anvers](#) ». 19 entreprises recensées.

- Planifier l'installation d'une alimentation à quai pour des navires de haute mer.
- Planifier la mise en œuvre de critères verts dans la procédure de mise en concession des terminaux (phases de pré-appel d'offres, de sélection et de post-appel d'offres).
- Exploiter des écluses maritimes à l'aide de l'énergie hydraulique.

Au sein du cluster chimique d'Anvers, les opérations industrielles et de stockage en citernes indépendantes sont reliées entre elles par 57 pipelines de produits différents, soit 1000 km de canalisations qui représentent près de 90 % de l'ensemble du transport de marchandises liquides dans le port (Port d'Anvers, 2022). La société nationale belge de pipelines NMP (Nationale Maatschappij der Pijpleidingen) a été rachetée par le port d'Anvers en 2017, obtenant ainsi 720km de pipelines pour être utilisés au service de la transition énergétique. Ce réseau de pipelines est géré par le port d'Anvers-Bruges et est en phase d'extension.

En termes de ressources financières, Haezendonck et al. (2020) estiment que les initiatives d'économie circulaire ont bénéficié de 193 954 287 euros de subventions publiques pour Anvers et que le montant pour Zeebrugge reste indéterminé. Ce montant a été investi dans l'énergie et le recyclage.

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire (Innovations développées)

Quelques exemples de résultats en termes d'innovation sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port d'Anvers

| Port | Produits nouveaux ou améliorés | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail |
|----------------------|--|--|--|--|
| | Oui | Oui | | Oui |
| Anvers-Bruges | Tapis et matelas à base de déchets industriels | Navette de passagers à l'hydrogène ACCTS DIGICHEM PIF | Non défini | PortXL Nxtport ATOM1 |

| | | | | |
|--|--|---------|--|--|
| | | SUCCeSS | | |
|--|--|---------|--|--|

Les produits nouveaux ou améliorés ont été fabriqués par le réseau Catalisti. Ce sont des tapis et matelas fabriqués à partir des déchets post-industriels de PUR et des fibres plastiques. Le PUR (polyuréthane) est utilisé comme matériau d'isolation des murs et des panneaux dans les bâtiments industriels et les entrepôts frigorifiques.

En termes de procédés de production nouveaux ou améliorés, grâce aux moyens mis en œuvre par le port, la compagnie maritime CMB³⁶ et GoodFuels³⁷, la première navette de passagers certifiée utilisant de l'hydrogène comme biocarburant a été créée. Le réseau Catalisti a développé le procédé ACCTS pour la capture, le transport et le stockage du carbone dans le cluster chimique du port d'Anvers, le procédé DIGICHEM pour la digitalisation dans les industries chimiques et dans le secteur du plastique, le procédé PIF (Particules In Flow) pour développement de procédés continus de cristallisation dans le domaine pharmaceutique, le procédé SUCCeSS (Supercritical Solutions for Sidestream Valorisation) pour une meilleure valorisation des flux.

En termes de nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail, le port d'Anvers dispose de :

- PortXL³⁸ qui est un hub pour le développement des startups dans les secteurs de la logistique, du transport maritime et de l'énergie verte. Son objectif est d'encourager les entreprises dans les territoires portuaires et surtout les startups à faire de la recherche.
- NxtPort³⁹ qui est une plateforme collaborative qui permet de partager rapidement des informations entre les parties prenantes du port. Elle permet aussi la création d'applications commerciales à partir des données existantes.
- ATOM1 est une « knowledge platform » autour des flux dans l'industrie chimique, Elle étudie la faisabilité d'une installation de production pilote flexible.

³⁶ [CMB](#)

³⁷ [GoodFuels](#)

³⁸ [PortXL](#)

³⁹ [NxtPort](#)

III.2.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

Les activités d'économie circulaire ont permis des réductions d'émission de gaz à effet de serre. L'ECLUSE qui centralise la production de vapeur et d'énergie pour 5 entreprises du port a permis de réduire les émissions de CO₂ de 100 000 tonnes par an depuis 2019 (ECLUSE, 2022). L'étude de faisabilité du projet Antwerp@C faite en 2021 montre une réduction allant jusqu'à 50% des émissions de CO₂ pour le port d'Anvers. Indaver qui enregistrait une émission de CO₂ de plus de 5,5 millions de tonnes en 1990 a enregistré une réduction de 20% en 2016 et prévoit une réduction de 40% d'ici 2030 (European Environmental Agency, Trends and projections, 2017). Pour les émissions de NO_x dans le port, on constate une diminution entre 2010 (22 900 tonnes) et 2017 (19 700 tonnes). Pour l'oxyde de sulfure (SO_x), une diminution des émissions est aussi constatée entre 2010 (14000 tonnes) et 2017 (10 000 tonnes) (DELFT, 2020).

Gestion des déchets

La ville d'Anvers dispose d'un système de collecte souterrain utilisé par 10% des ménages. Il permet la collecte des déchets résiduels, du papier, du verre et des biodéchets. La ville d'Anvers qui compte plus de 500 000 habitants recycle 70% de leurs déchets⁴⁰ (WINPOL, 2022). L'ECLUSE transforme chaque année plus de 1 000 000 tonnes de déchets en vapeur et en énergie. Les derniers résultats publiés en 2018 de l'entreprise Indaver montrent que celle-ci a traité plus de 4,8 millions de tonnes de déchets ménagers et industriels, produit 1,3 million de tonnes de vapeur à partir de déchets, ce qui représente l'équivalent en énergie de 257 800 ménages.

En conclusion, la transition vers l'économie circulaire est initiée par le port qui veut faire d'Anvers un cluster de chaînes logistiques circulaires. Les activités d'économie circulaire se multiplient basées sur le réseau de chaleur, le réseau de recyclage et la transition énergétique. Ces activités sont relativement récentes (milieu des années 2010) mais sont fortement soutenues par les acteurs locaux qui cherchent également à développer l'innovation des entreprises locales. Pour se faire, le port d'Anvers aménage ses infrastructures (le district NextGen) pour accueillir exclusivement des activités d'économie circulaire mais aussi adopte des outils numériques pour optimiser ses activités. Le port d'Anvers a fusionné avec le port de Zeebrugge

⁴⁰ [Waste management](#)

qui est un important centre de commerce de l'énergie doté d'un terminal de GNL. Cette fusion stratégique renforce les moyens mis en œuvre par le port d'Anvers pour la mise en place de sa stratégie d'économie circulaire.

III.3. Le port de Hambourg

III.3.1. Présentation du port

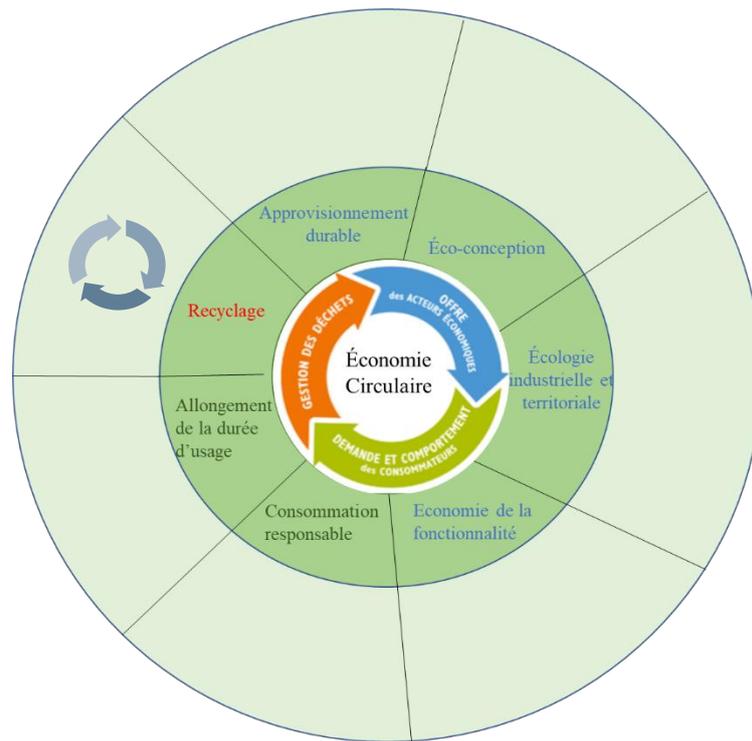
Le port de Hambourg est situé le long du fleuve Elbe, à environ 110 kilomètres de son embouchure sur la mer du Nord. Il est également relié à la Scandinavie et à la mer Baltique par le canal de Kiel. C'est est le troisième plus grand port de la gamme Hambourg - Le Havre avec une part de marché de plus de 10% en 2018 (Port de Rotterdam, 2019). Le port de Hambourg est le plus grand port d'Allemagne. Les vracs sont le type de fret le plus transporté, bien que d'autres types de marchandises soient également traités. Le port joue également un rôle crucial dans la logistique d'approvisionnement et d'élimination des déchets pour l'industrie et de la région métropolitaine. Il possède d'excellentes liaisons ferroviaires. Environ 2 000 liaisons ferroviaires sont proposées chaque semaine entre Hambourg et l'arrière-pays européen (Port d'Hambourg, 2022).

Hambourg est la plus grande ville industrielle d'Allemagne. Son essor en tant que pôle industriel s'est appuyé sur la construction navale. De grands chantiers navals et de nombreuse entreprises de tailles petites et moyennes ont été les moteurs du progrès industriel. Hambourg est l'un des principaux sites mondiaux pour l'industrie de l'aviation civile après Seattle et Toulouse, avec plus de 300 petites et moyennes entreprises. Airbus par exemple exploite trois sites dans la région métropolitaine. En plus de ces industries dans la construction navale et aéronautique, Hambourg possède un tissu économique diversifié avec par exemple les entreprises Aurubis qui est l'une des fonderies de cuivre (entreprise allemande qui est le plus gros producteur de cuivre en Europe et le deuxième dans le monde), Montblanc qui fabrique des instruments d'écriture et de ses accessoires, des entreprises dans les produits de bien être comme Beiersdorf AG et ses marques mondiales Nivea et Tesa, Eppendorf AG, fabricant d'équipements de laboratoire Philips Medical Systems, Olympus Medical Systems, et Sysmex (Ville de Hambourg, 2022).

III.3.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

En Allemagne, les politiques nationales encouragent les entreprises à adopter des pratiques d'économie circulaire. Le pilier de l'économie circulaire que l'on rencontre le plus dans le port de Hambourg est le recyclage (Voir figure 9).

Figure 9 - Les piliers de l'économie circulaire dans le port de Hambourg



Le recyclage y est promu dans le cadre de projets spécifiques. Pourtant, contrairement aux ports de Rotterdam et d'Anvers, les activités de recyclage ne semblent pas donner lieu à une symbiose industrielle organisée, constituée de flux multiples et de déchets réutilisés par d'autres industries comme matières premières. Seules quelques boucles d'écologie industrielle ressortent de notre analyse malgré la présence d'un tissu industriel dense.

En termes de stratégie, le port de Hambourg a pour slogan : « Agir efficacement, créer de la valeur » (Ville de Hambourg, 2022) sans avoir un impact négatif sur le bilan de CO₂. Le développement durable tel qu'il est perçu par le port implique tout aussi bien le port que la ville, avec des efforts pour la réduction des émissions de CO₂, la réduction de la consommation d'énergie fossile ainsi que la protection de la nature.

Comme on peut observer dans les documents officiels de l'Autorité Portuaire de Hambourg (APH), l'ambition générale de l'APH est de faire du port un « Smart port » (Lobo-Guerrero & Stobbe, 2016).

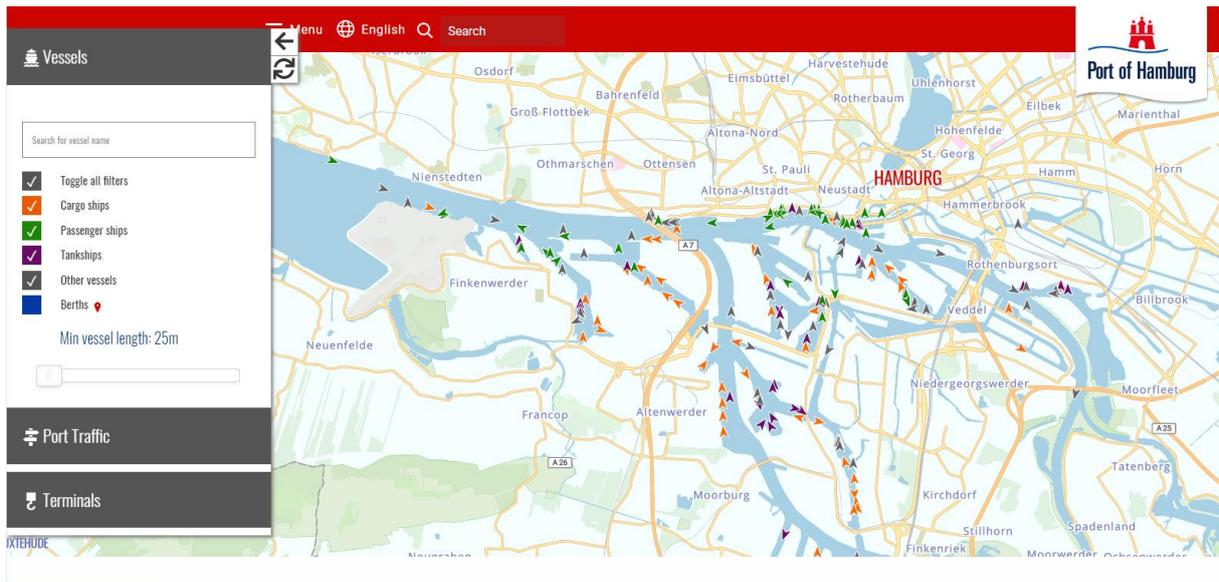
Les acteurs de la gouvernance du port de Hambourg sont les suivants : le port de Hambourg, la ville de Hambourg et Hamburg IDA (Industrial Development Agency).

- Le port de Hambourg gère ses actifs commerciaux (le port, les infrastructures ferroviaires et les wagons), ses actifs publics (terrains, infrastructures publiques en bord de mer, infrastructures de traitement et d'élimination en bord de mer) et les services autour de l'accès au port et la gestion des navires (Port d'Hambourg, 2022).
- La Ville libre et hanséatique de Hambourg est responsable des questions liées au développement de la ville incluant les projets de recyclage (Port d'Hambourg, 2022).
- Hamburg IDA est une agence de développement qui travaille avec la ville et les entreprises de Hambourg pour fournir des moyens financiers pour la construction de nouvelles installations et à l'expansion des entreprises existantes.

En termes de communication, tout comme le port de Rotterdam et d'Anvers, le port d'Hambourg dispose d'un site internet complet qui permet d'obtenir toutes les informations concernant le port avec un espace pour l'obtention des rapports du port. Le site est divisé en plusieurs parties, mais ne dispose pas d'une rubrique spécifique pour l'économie circulaire :

- La page principale permet d'accéder aux dernières nouvelles concernant le port, à la librairie d'informations, aux événements avec les contacts utiles, mais aussi des statistiques du port et le magazine « Port of Hamburg magazine », gratuit et publié tous les trois mois.
- La partie « Shipping and transportation » est dotée de deux outils de communication : le « liner services » qui permet de trouver les services logistiques à Hambourg et dans le reste du monde grâce à une carte interactive ; le « Ship Movements » pour connaître les arrivées des navires.
- La partie « port and services » permet d'obtenir les informations sur les terminaux du port et les contacts utiles du port.
- La dernière partie est « Interactiv Port » est une carte virtuelle du port où on peut voir les déplacements en temps réel des navires (Voir figure 10). L'outil est aussi doté de la fonction « webcam » qui permet une visite en vidéo du port et une partie plus technique pour connaître le niveau des eaux.

Figure 10 - Outils numériques « Interactiv Port » - Port de Hambourg



III.3.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Hambourg

Recyclage

En termes de recyclage, le port de Hambourg a soutenu la création d'une unité de recyclage. REMONDIS⁴¹ créée en 2016, est une usine de recyclage de PET (Polyéthylène Téréphtalate) provenant des industries et des ménages à Hambourg. Le PET est une matière plastique principalement utilisée pour la fabrication de bouteilles, flacons, pots, films et feuilles, fibres, etc. Elle peut produire jusqu'à 20 000 tonnes de flocons à partir de bouteilles de boisson en plastique usagé. L'usine de recyclage du PET comprend principalement trois sections individuelles : la zone de tri, le broyeur humide et une zone de lavage. Les activités de recyclage du PET à Hambourg font partie des services de Rhenus Recycling GmbH⁴², une filiale détenue conjointement par Rhenus et REMONDIS. Cette joint-venture, dirigée par les deux sociétés sœurs a fondé Rhenus PET Recycling GmbH pour regrouper et unir ses compétences en matière de recyclage de bouteilles en PET sous un même toit. Le travail de planification technique de la nouvelle usine de recyclage a également été le fruit d'un effort conjoint de Rhenus et REMONDIS. Une des particularités de cette usine, par exemple, est la façon dont l'eau de process de l'étape de lavage à chaud est traitée afin qu'elle puisse être réutilisée, réduisant ainsi les volumes d'eaux usées au minimum absolu.

⁴¹ [REMONDIS Recycling](#)

⁴² [Rhenus Recycling](#)

Le port de Hambourg compte d'autres entreprises spécialisées⁴³ dans le recyclage, comme par exemple :

- L'entreprise « Phosphorus Recycling Hamburg » recycle les boues d'épuration pour obtenir des cendres riches en phosphore utilisés dans la fabrication de détergents.
- L'entreprise ISR Recycling recycle la ferraille issue des voitures à Hambourg.
- L'entreprise ERKO Recycling recycle les déchets de construction dans le port de Hambourg.

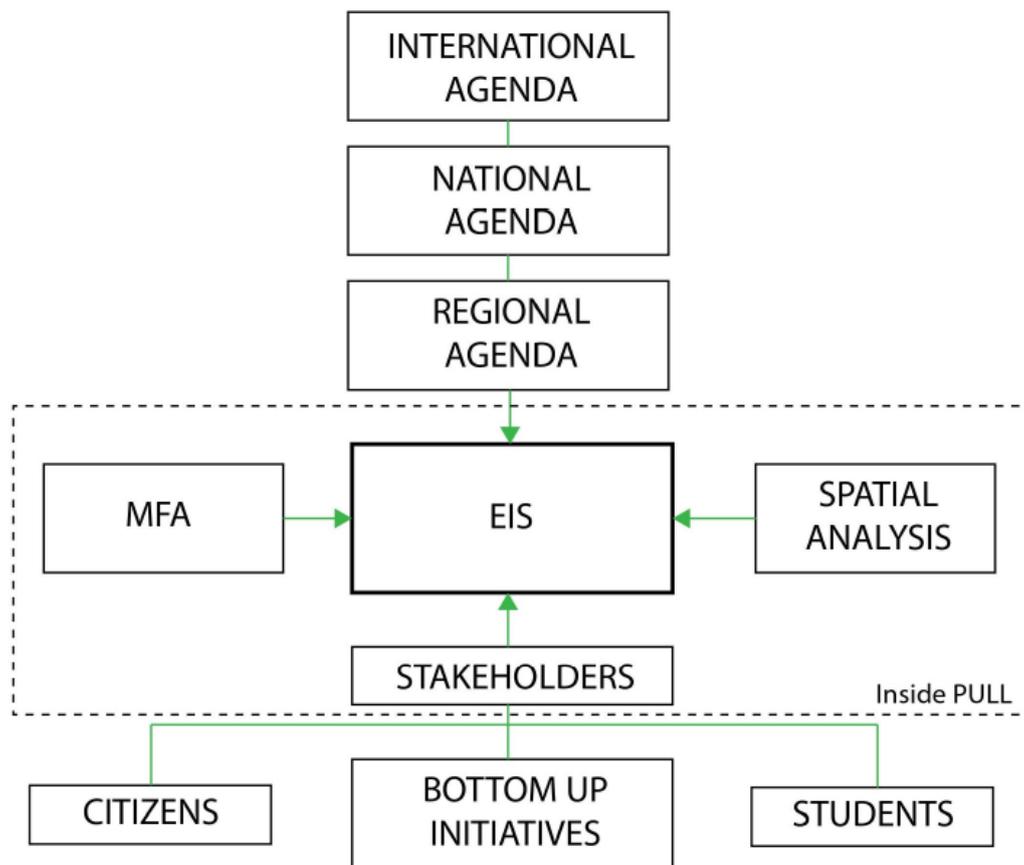
Ecologie industrielle

Notre recherche n'aboutit pas à la mise en évidence d'une organisation systématique de l'activité d'économie circulaire dans le port de Hambourg. Cependant, une boucle d'écologie industrielle peut être mise en avant, celle du système de chauffage. Le port récupère la chaleur de la station d'épuration voisine de Köhlbrandthöft pour le chauffage de son terminal Tollerort. Comme les autres ports, Hambourg cherche à diminuer son empreinte carbone en développant des projets de développement d'énergie renouvelable comme l'hydrogène.

Le port de Hambourg cherche aussi à développer des éco-innovations à travers par exemple le projet « Research & Innovation Action project » REPAIR (REsource Management in Peri-urban Areas: Going Beyond Urban Metabolism) qui s'est déroulé entre 2017 et 2019. Le processus de création des éco-innovations (innovation en lien avec le développement durable) de ce living lab met en avant la collaboration des parties prenantes à chaque étape de l'élaboration de solutions éco-innovantes (Obersteg et al. (2021). Le processus de co-design prend en considération une logique « bottom-up » dans laquelle la population locale et l'université contribuent à l'émergence d'éco-innovations (voir figure 11). Celles-ci sont formulées en fonction du contexte international, national et de l'agenda des autorités locales, en prenant en compte les flux disponibles, la faisabilité et le point de vue de la population locale et de l'université. L'université joue le rôle d'aide à la conception et à la prise de décision.

⁴³ Recherche google « [Listes des entreprises de recyclage dans le port de Hambourg](#) » 21 entreprises recensées

Figure 11 - Processus de co-design pour le développement de solutions d'éco-innovation –
Port de Hambourg



Source : Russo et al. (2019) ;

Les éco-innovations du projet REPAIR sont présentées dans la section « résultats obtenus » en termes d'économie circulaire.

III.3.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

Les ressources disponibles dans le port de Hambourg sont surtout des infrastructures mais dont l'utilisation n'est pas exclusive pour l'économie circulaire. Contrairement aux ports de Rotterdam et d'Anvers, Hambourg ne repose pas sur un réseau de pipelines pour le transport des flux. Le port utilise principalement son réseau ferroviaire. Avec plus de 48,5 millions de tonnes transportées par rail en 2021, Hambourg est le premier port ferroviaire d'Europe avec ses 300km de rail qui permet à plus de 200 trains de marchandises de circuler par jour (Port de

Hambourg, 2022). Le réseau ferroviaire étant le moyen principal de circulation des flux, les ressources s'orientent vers la modernisation des rails. L'un des projets du port pour améliorer la circulation ferroviaire est le « New Kattwyk bridge » qui est un point de connexion central dans le port. Ce pont levant au-dessus du sud de l'Elbe est en service continu depuis près de 50 ans (construit en 1973). Avec la nouvelle construction prévue, le trafic ferroviaire sera déplacé et le pont Kattwyk sera considérablement soulagé. Le projet de nouveau pont ferroviaire Kattwyk (NBK) améliore la fluidité du trafic dans le port.

Le chenal de l'Elbe est aussi approfondi pour que le port puisse accueillir des navires avec un mètre de tirant d'eau de plus. Il est aussi élargi à certains endroits et un point de rencontre spécial sera aménagé pour faciliter le trafic en sens inverse et éviter les temps d'attente⁴⁴. Les voies ferroviaires et l'aménagement du chenal de l'Elbe s'inscrivent surtout dans l'amélioration de la circulation des flux et ne s'insère pas spécifiquement dans un projet d'économie circulaire.

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire (Innovations développées)

Les innovations relevées pour le port de Hambourg concernent surtout le recyclage et quelques exemples issus du programme REPAIR sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port de Hambourg

| Port | Produits nouveaux ou améliorés | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail |
|-----------------|---------------------------------------|---|--|--|
| Hambourg | Non défini | Oui | Oui | Oui |
| | | Flow organic waste ZRE | Quarter Service Center Educationale Composting program | Waste Avoidance & Separation |

En termes de procédés de production nouveaux ou améliorés, le « Flow organic waste » est un système qui permet de récupérer les déchets alimentaires et de les transformer en compost pour

⁴⁴ [Port de Hambourg](#)

les jardins des habitants. Le ZRE (centre des ressources et d'énergie) est un centre de séparation et de traitement des déchets municipaux, déchets biologiques et de jardin des ménages, déchets ligneux et biomasse. Le processus de fermentation crée du biométhane qui est utilisé pour produire de la chaleur qui sera livrée au système de chauffage urbain et de l'électricité qui sera intégrée au réseau électrique. Ce projet est en cours et l'unité de valorisation sera opérationnelle en 2024⁴⁵.

En termes de prestations de services / nouvelles ou améliorées, le centre de service du quartier ou « Quarter Service Center » est un espace qui permet de se familiariser avec le tri et la réutilisation des déchets. Les « Educational Composting programs » sont des espaces de compostage dans les écoles primaires pour l'éducation des enfants dès le plus jeune âge.

En termes de nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail, l'application mobile « Waste Avoidance & Separation » a été créée par les étudiants des universités à Hambourg et soutenu par les autorités locales. Cette application se base sur le partage d'informations, son point fort est que le contenu est alimenté par l'incitation et la participation des citoyens pour mieux trier les déchets.

III.3.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

Concernant les émissions de CO₂ dans le port de Hambourg, le rapport publié par DELFT (2020) indique une absence de données entre la période comprise entre 2010 et 2018. Les données disponibles ne permettent pas non plus d'avoir des informations précises sur les émissions. Le port indique cependant que les camions de transport des marchandises dans le port de Hambourg émettent environ 35 000 tonnes de CO₂ par an. Aucune estimation de la réduction ou de l'augmentation n'est possible à cause du manque d'information.

Concernant les émissions d'oxydes d'azote (NOx), on constate une augmentation des émissions entre 2015 (51 090 tonnes) et 2018 (65 680 tonnes). Concernant l'oxyde de soufre (SOx), une réduction significative a été enregistrée entre 2015 (1 009 000 tonnes) et 2018 (387 000 tonnes) (DELFT, 2020).

⁴⁵ [Hambourg trends](#)

Gestion des déchets

Pour les déchets des navires, 13 pétroliers d'une capacité de transport d'environ 61 503m³, dont trois pétroliers pour le transport de liquides hautement inflammables sont disponibles pour l'élimination des déchets solides et liquides au bord de l'eau. Le port estime qu'environ 45 000 mètres cubes de résidus huileux provenant de l'exploitation des navires sont éliminés chaque année. Aucune donnée n'est disponible pour les déchets industriels.

Concernant les déchets ménagers, les dernières données disponibles sur le site de la ville d'Hambourg indiquent les chiffres de 2011 à 2014. L'année 2011 correspond au lancement de la campagne de recyclage à Hambourg impliquant notamment un meilleur tri des déchets. A Hambourg, un habitant produit environ 460kg de déchet par an, en 2011, environ 160kg sur les 460kg sont recyclables et en 2014, presque 200kg de déchets sont recyclables, un meilleur tri permet d'augmenter la quantité des déchets valorisables (Ville de Hambourg, 2016).

En conclusion, le port de Hambourg peut être considéré comme un port particulier car c'est le seul port de notre liste à ne pas mobiliser directement le terme d'économie circulaire. Des activités se mettent toutefois en place, autour du recyclage de différents types de déchets et de boucles d'écologie industrielle destinées à alimenter un réseau de chaleur.

III.4. Le port d'Amsterdam

III.4.1. Présentation du port

Le port d'Amsterdam est l'une des plus grandes plates-formes logistiques du monde (DELFT, 2020). Avec un trafic maritime annuel de plus de 105 millions de tonnes de marchandises (Benchmark du Port d'Anvers, 2020), C'est le quatrième plus grand port maritime du Range Nord Européen. Sa position stratégique et centrale en Europe le rend facilement accessible et assure d'excellentes connexions avec tous les principaux marchés européens.

C'est un port de commerce dont les principaux produits transbordés sont l'essence, le charbon et d'autres produits comme le cacao. Ces produits arrivent en vrac, puis ils sont traités et transportés dans l'« hinterland » ou arrière-pays.

C'est aussi un port de plaisance pour les navires de croisière : plus de 1 500 navires de croisière ont visité Amsterdam en 2013 (DELFT, 2020).

Le port d'Amsterdam possède un tissu économique de plus de 1400 entreprises (de Langen et al., 2020) réparties dans l'industrie de l'agroalimentaire, l'automobile, l'électronique, la chimie dont une trentaine d'entreprises⁴⁶ plus spécifiquement actives dans les domaines de l'économie biosourcée, du recyclage de l'économie circulaire (Port of Amsterdam, 2022).

III.4.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

Le port d'Amsterdam base sa stratégie de développement autour de la transition énergétique et de l'économie circulaire (de Langen et al., 2020). Le pilier de l'économie circulaire qui ressort le plus est le recyclage (voir figure 12).

⁴⁶ [Liste des entreprises dans le port d'Amsterdam](#)

Figure 12- Les piliers de l'économie circulaire dans le port d'Amsterdam



l'autorité portuaire, la ville et l'agence de développement sont en charge de de gouvernance de l'économie circulaire.

Cette dernière « Rom InWest ⁴⁷ » est en charge du développement régional. Elle stimule la mise en place de nouvelles technologies et l'innovation et encourage le développement des entreprises et startups grâce à des investissements. À cette fin, ROM InWest gère deux fonds : le fonds PME de 60 millions d'euros et le fonds de transition avec un capital de 100 millions d'euros.

Le port d'Amsterdam gère ses infrastructures. Pour aider les entreprises à innover, le port a créé le centre d'innovation, Prodock en 2016. Ce centre permet aux entreprises et startups de tester et développer de nouveaux produits, services et processus destinés à être commercialisés dans la zone portuaire d'Amsterdam.

⁴⁷ [Rom invest](#)

En termes de communication, le port d'Amsterdam dispose d'un site internet qui peut se diviser en trois parties :

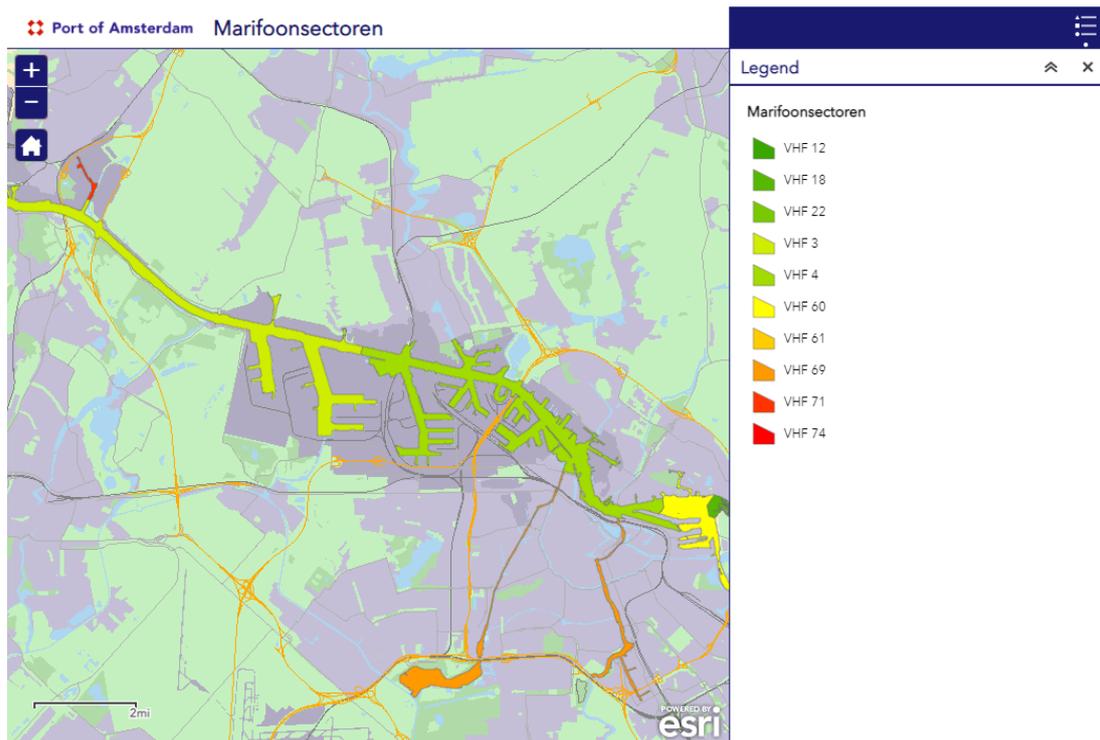
- La partie « Shipping » contient toutes les informations utiles pour les entreprises et les navires avec une partie dédiée pour les navires de croisière.
- Une partie « Business » dédiée aux entreprises et investisseurs.
- Une partie « Discover » pour visiter le port qui contient aussi un onglet sur l'économie circulaire dans le port avec une visite vidéo par webcam.

Le port dispose aussi d'outils qui sont accessibles sur son site internet :

- Le « Yacht ports North Sea Canal area » est une carte interactive qui permet aux bateaux de localiser les places d'amarrage dans le port.
- « MyPort » digitalise tous les services du port pour permettre aux clients de gagner du temps. Cet outil nécessite des identifiants pour y avoir accès.
- « VHF channels on the map » est une carte interactive qui permet de connaître les fréquences à utiliser pour les communications radio suivant la localisation (voir figure 14).

Figure 13 - VHF channels on the map – Port d'Amsterdam

VHF channels on the map



La carte permet de connaître la meilleure fréquence à utiliser dans chaque zone du port avec des fréquences d'urgences.

III.4.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaires dans le port d'Amsterdam

Recyclage

Les activités d'économie circulaire à Amsterdam sont concentrées sur le recyclage. de Langen et al. (2020) divisent les activités de recyclage dans le port en cinq catégories de produits : 1) matières plastiques et du caoutchouc, 2) déchets de démolition, 3) résidus alimentaires et agricoles, 4) métaux et 5) déchets généraux.

Le tableau 6 présente les principales entreprises spécialisées dans le recyclage et l'utilisation de co-produits comme matières premières.

Tableau 6 - Entreprises « circulaires » principales du port d'Amsterdam

| Nom de l'entreprise | Activité de l'entreprise |
|---------------------------------------|---|
| AEB Amsterdam | Spécialisée dans le traitement et l'incinération des déchets et dispose d'une unité de séparation des déchets |
| Argent Energy | Groupe d'entreprises de logistique spécialisé dans la collecte, le traitement et la valorisation des flux de déchets organiques. |
| Avantium Holding B.V. | Spécialisée dans le développement de procédés et de produits chimiques durables. |
| Bin2Barrel | Spécialisée dans la transformation de matières plastiques en biodiesel à faible teneur en soufre |
| Biodiesel Amsterdam | Produit du biodiesel à partir de graisses et d'huiles usagées. La capacité annuelle de l'entreprise s'élève à environ 125 millions de litres |
| Biomassacentrale van AEB | Transforme chaque année environ 100 000 tonnes d'élagages et de déchets de bois en énergie pour la ville d'Amsterdam. |
| H. Blom & Zonen B.V. | Recyclage de toutes sortes d'acier et de ferraille en conteneurs |
| Bnext | Recyclage des déchets de construction et de démolition |
| Chaincraft Amsterdam B.V. | Transforme les résidus organiques tels que les déchets alimentaires, les résidus agricoles, les déchets solides municipaux ou les eaux usées pour créer des produits biochimiques |
| European Metal Recycling (EMR) BV | Recyclage de la ferraille |
| GBN-AGR | Recyclage de gazon artificiel |
| Granuband B.V. | Collecte et recyclage des pneus de voiture |
| HKS Metals B.V. | Recyclage des métaux ferreux et non ferreux. |
| ICL Fertilizers Europe C.V. | Recyclage des résidus phosphatés |
| Icopower B.V. / Renewi Nederland B.V. | Traitement des déchets industriels de la région. |

| | |
|---------------------------------------|--|
| INB Sustainable Energy B.V. | Centrale électrique à biomasse |
| Natural Powered Speed Products (NPSP) | Fabrication de bio-composites composés de fibres naturels comme le lin. |
| Orgaworld Nederland B.V. | Traitement des flux de déchets organiques. |
| PARO Amsterdam BV | Collecte les déchets liés à la construction et sépare les matériaux réutilisables des déchets résiduels. |
| Plastic Recycling Amsterdam (PRA) | Recyclage des déchets plastiques |
| Quatra | Collecte et traitement des huiles de cuisson usagées et des déchets organiques. Les graisses et les déchets sont collectés auprès de plus de 35 000 établissements de restauration, industries, clubs et pubs dans la région |
| Renewi Nederland B.V. | Collecte les déchets des entreprises et les déchets de démolition privés. |
| The Waste Transformers | Recyclage des déchets alimentaires commerciaux (300 à 3000kg de déchets par jour) |
| Waternet | Traitement des eaux industriels |
| INB Sustainable Energy | Centrale électrique à biomasse |

Source : Port d'Amsterdam (2022)

Ecologie industrielle

Mise à part quelques boucles d'écologie industrielle associant les entreprises du tableau 6, une symbiose industrielle organisée n'a pas été identifiée dans le port d'Amsterdam.

III.4.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

En termes de ressources, le port d'Amsterdam aménage actuellement une zone de 20ha appelée Biopark qui disposera d'un quai en eau profonde et de terminaux facilement accessibles pour le stockage et le transport des matières premières et des produits. Cette zone est dédiée aux

entreprises productrices de biocarburants et possède les infrastructures nécessaires (pipelines) pour permettre aux entreprises du Biopark de s'échanger leurs flux résiduels.

Le port met aussi à disposition des entreprises, entrepreneurs et startups, une équipe de spécialistes tout au long du processus d'établissement.

Le port aménage et investit dans des infrastructures de stockage et d'énergie afin d'attirer et faciliter la mise en place des projets d'économie circulaire.

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire (Innovations développées)

Quelques exemples d'innovations relevées pour le port d'Amsterdam sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour le port d'Amsterdam en termes d'innovations développées

| Port | Produits nouveaux ou améliorés | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail |
|------------------|--|---|--|--|
| | Oui | Oui | Oui | |
| Amsterdam | Biocarburant Plastique de haute qualité entièrement recyclable Produits biochimiques Matériau de construction Granulés combustible Biocomposites Engrais naturel liquide | Orgaworld Nederland Séparation (MDS) | Prodock Equipe de spécialistes dédiée | Non défini |

Les entreprises indiquées dans le tableau 6 ont introduit des produits nouveaux ou améliorés qui sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8 - Innovation de produits dans le port d'Amsterdam

| Nom de l'entreprise | Produits nouveaux |
|---------------------------------------|---|
| Argent Energy | Biodiesel, biogaz, biofuel, bioglycérine et bio-engrais à partir de déchets organiques |
| Avantium Holding B.V. | Plastique de haute qualité entièrement recyclable à partir de sucres industriels d'origine végétale |
| Bin2Barrel | Gazole à faible teneur en soufre à partir de matières plastiques |
| Biodiesel Amsterdam | Biodiesel à partir de graisses et d'huiles usagées |
| Chaincraft Amsterdam B.V. | Produits biochimiques comme des lubrifiants à partir des déchets alimentaires et résidus agricoles. |
| Granuband B.V. | Dalles de terrain de jeu, dalles de terrasse et en granulés pour terrains de sport avec gazon artificiel à partir de pneus usagés |
| ICL Fertilizers Europe C.V. | Engrais phosphatés à partir de résidus phosphatés |
| Icopower B.V. / Renewi Nederland B.V. | Granulés combustibles à partir des déchets industriels |
| Natural Powered Speed Products (NPSP) | Bio composites constitués de fibres naturelles telles que le lin, le chanvre et la cellulose, qui confèrent au matériau résistance et rigidité. |
| Quatra | Biodiesel à partir des huiles de cuisson |
| The Waste Transformers | Engrais naturel liquide à partir des déchets alimentaires |

En termes de procédés de production nouveaux ou améliorés, l'entreprise Orgaworld Nederland B.V a mis au point des techniques qui transforment efficacement les déchets (engrais agricoles, des substituts d'engrais artificiels) en énergie et en produits biosourcés. L'entreprise Plastic Recycling Amsterdam (PRA) a mis au point le procédé « Séparation » ou (MDS). Cette technologie augmente considérablement l'efficacité du recyclage des flux de déchets plastiques mixtes.

En termes de prestations de services / nouvelles ou améliorées, le centre d'innovation Prodock offre de nouvelles prestations d'accompagnement pour les entreprises et les startups. Il constitue un atout pour stimuler l'innovation des entreprises.

III.4.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

En termes d'émission de CO₂, le port d'Amsterdam a connu une baisse entre 2010 (5 906 000 tonnes) et 2017 (5 441 000 tonnes). En 2017, 3 400 000 tonnes ont été émises par le secteur de l'énergie et 1 600 000 tonnes par l'élimination des déchets (DELFT, 2020). Le secteur de l'énergie reste le plus polluant du port. En 2017, Amsterdam a réduit de 210 000 tonnes les émissions de CO₂ liée à la chaleur résiduelle.

L'entreprise INB Sustainable Energy et sa centrale à biomasse émet 90 000 tonnes de CO₂ en moins par an comparé à une centrale thermique à flamme.

Concernant les émissions d'oxydes d'azote (NOx), le port a enregistré une réduction entre 2015 (4070 tonnes) et 2017 (3060 tonnes). Les émissions d'oxyde de soufre (SOx) ont aussi baissé entre 2010 (750 tonnes) et 2017 (310 tonnes) (DELFT, 2020).

Gestion des déchets

Comme les autres ports retenus, aucune donnée globale précise sur les déchets industriels n'est disponible, bien que plusieurs entreprises d'économie circulaire recyclent et transforment ce type de déchet.

L'entreprise Bin2Barrel a réduit considérablement ses émissions de CO₂, tant lors du recyclage que lors de la combustion du diesel. Le diesel produit par Bin2Barrel est utilisé dans le secteur du transport maritime. Chaque année, environ 20 000 tonnes de plastiques sont transformées en environ 19 millions de litres de diesel (Port d'Amsterdam, 2022).

Concernant les déchets ménagers, des données sont disponibles pour 2013 (Ville d'Amsterdam, 2014). La quantité totale des déchets ménagers à Amsterdam s'élevait à 324 302 tonnes en 2013 soit 406kg/personne avec 18% des déchets ménagers recyclés. Les déchets ménagers sont constitués de 44% de papiers et de cartons, 35% de verre, 2% de plastique et 19% de déchets dangereux comme par exemple les déchets d'équipements électriques et électroniques.

Le port d'Amsterdam développe l'économie circulaire à travers le recyclage et quelques boucles d'écologie industrielle. Les terrains disponibles sont moins importants par rapport aux autres ports, ce qui limite certainement le développement de nouvelles activités d'économie circulaire. Cependant, il existe plusieurs entreprises spécialisées dans le recyclage ayant introduit des innovations.

III.5. Conclusion sur la présentation des activités d'économie circulaire dans les quatre plus grands ports du range Nord Européen

Les ports de Rotterdam, Anvers, Hambourg et Amsterdam sont les quatre plus grands ports du Range Nord Européen. L'économie circulaire apparaît le plus souvent dans les stratégies de la communication de ces ports avec pour objectif de réduire la pollution et d'être un levier de développement et d'attractivité économique. Pourtant, les activités d'économie circulaire ne sont pas mises en place de manière homogène selon les ports (plus conséquentes à Rotterdam et Anvers). Elles se concentrent principalement sur deux piliers : le recyclage et l'écologie industrielle (les co-produits deviennent la matière première des réseaux de chaleur, d'ampleur plus ou moins importante).

En termes de ressources mobilisées pour le développement économique, les informations disponibles portent sur les aménagements et les infrastructures.

Les ressources financières dédiées à l'économie circulaire ne sont pas systématiquement communiquées, ce qui ne permet pas de connaître avec précision les évolutions des investissements dans les projets d'économie circulaire.

Tous les ports semblent miser sur le développement de l'innovation (ou éco-innovation) associée à l'économie circulaire. Par le biais de pôles d'innovation, de living labs ou de parcs dédiés, l'accent est mis sur le développement de différentes formes d'innovations (produits, procédés, organisation). En termes de résultats toutefois, peu d'innovations ont été recensées ; les informations restant parcellaires à ce stade.

IV. Présentation des activités d'économie circulaire dans les trois ports du range Nord Européen similaires à Dunkerque

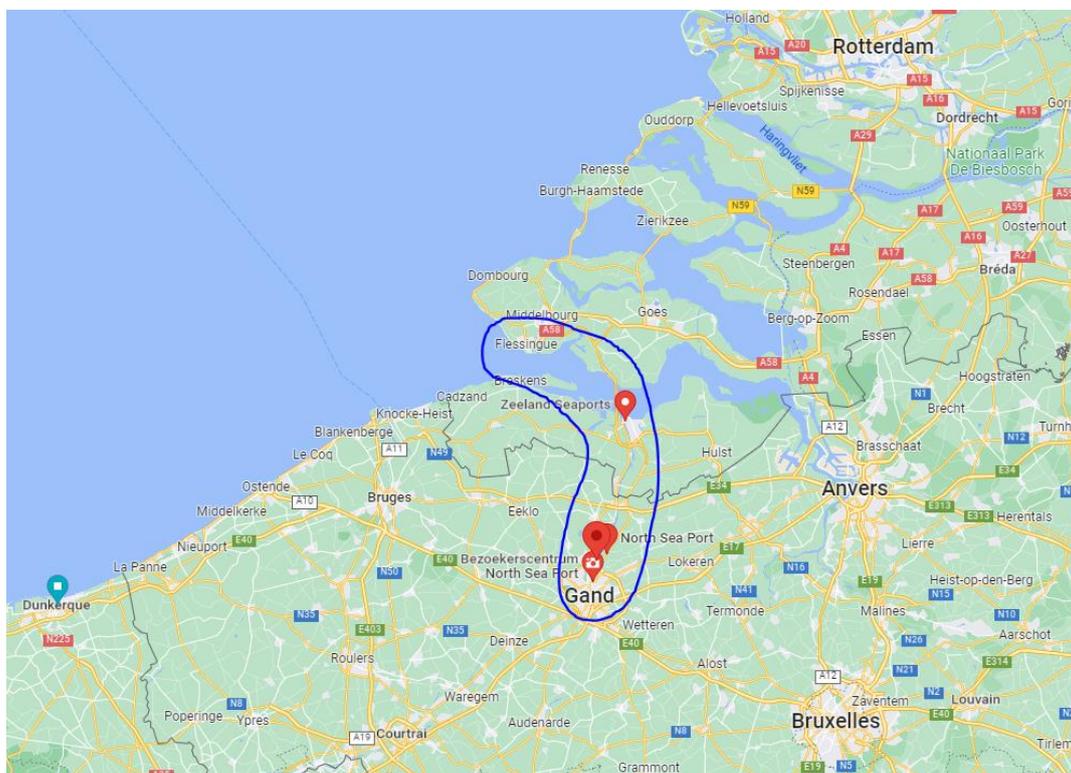
Cette quatrième partie présente les activités d'économie circulaire pour North Sea Port, le port de Brême et le port du Havre dont la superficie et le trafic maritime sont proches de ceux de Dunkerque.

IV.1. North Sea Port

IV.1.1. Présentation du port

North Sea Port, officiellement constitué le 29 juin 2018, est le résultat de la fusion de deux ports et totalise une superficie de 9 100ha (Merckx & Neyts, 2019). Le premier, Zeeland Seaports, regroupant les ports néerlandais de Vlissingen, Borsele et Terneuzen, se situe dans la province maritime de Zélande au Sud-Ouest des Pays-Bas à 101km du port de Rotterdam et 53km Sud-Est du port d'Anvers. Le deuxième port, celui de Gand se trouve quant à lui en Belgique, à l'extrémité Sud du canal Grand-Terneuzen (Voir figure 14).

Figure 14 - North Sea Port



La fusion des deux ports a été motivée par les gains d'efficacité, les économies d'échelle tout en réduisant les coûts opérationnels des entreprises comme par exemple des tarifs portuaires plus bas et de plus grandes opportunités de combiner les flux de marchandises. Par cette fusion, de nouvelles liaisons de transports⁴⁸ ont été développées :

- La création d'une nouvelle connexion de navigation intérieure en direction d'Anvers.
- Les services hebdomadaires d'une liaison ferroviaire déjà existante vers le nord de l'Italie ont été étendus aux services de week-end.
- La création d'une liaison ferroviaire directe avec la Chine.

North Sea Port est un port polyvalent dont l'activité principale concerne:

- Les vrac solides qui représentent près de la moitié du transbordement des produits du port (48,4%),
- Les vrac liquides qui représentent 28,2% des produits qui passent par le port,
- Les marchandises diverses qui représentent 15,4% des produits qui transbordent dans le port (North Sea Port, 2022).

Le port compte plus de 850 entreprises⁴⁹. Dans la partie de Zeeland, aux Pays Bas, le port est connu pour son industrie chimique réunissant plus de 25 000 employés avec la présence des principaux leaders du secteur comme Dow, Yara et ICL-IP. L'industrie de l'agroalimentaire y est aussi très présente, les Pays-Bas étant les deuxièmes derrière les Etats-Unis en termes d'exportation de produits agricoles dans le monde⁵⁰. On y retrouve aussi une forte présence du secteur de l'énergie renouvelable offshore et onshore. La partie belge (Gand) est surtout caractérisée par l'industrie automobile (exemple : Volvo, Honda) ; sidérurgique (exemple : ArcelorMittal) chimique et papetière.

⁴⁸ [Nouvelles liaisons de transport](#)

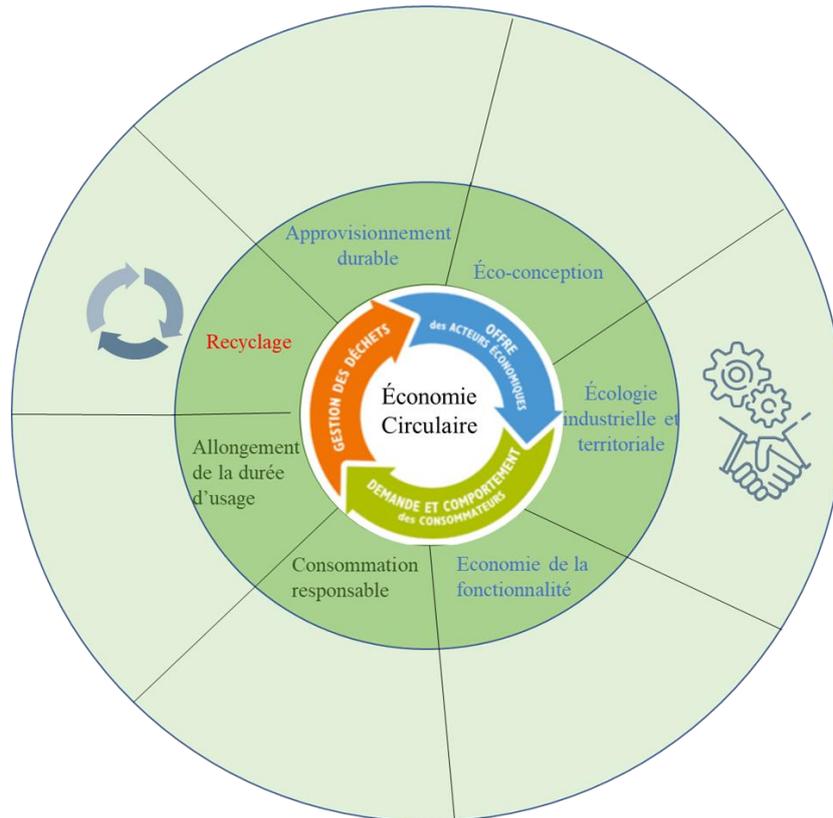
⁴⁹ [Liste des entreprises à North Sea Port](#)

⁵⁰ [Impuls Zeeland – Agrifood Business](#)

IV.1.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

La stratégie de North Sea Port en termes d'économie circulaire se base surtout sur deux piliers : l'écologie industrielle et le recyclage (voir figure 15). Haezendonck et Van den Berghe (2020) recensent 18 activités d'économie circulaire pertinentes à North Sea Port, dont six liées à l'énergie, sept au recyclage et cinq à l'orchestration de nouveaux flux de marchandises.

Figure 15 - Les piliers de l'économie circulaire à North Sea Port



Concernant la gouvernance de l'économie circulaire, North Sea Port est composé d'une holding et de deux sociétés portuaires. Elle compte huit actionnaires publics. Du côté néerlandais, il s'agit de la province de Zélande (25%) et des municipalités de Borsele, Terneuzen et Vlissingen (8,33% chacune). Du côté flamand, il s'agit de la ville de Gand (48,52%), des communes d'Evergem (0,03%) et de Zelzate (0,005%) et de la province de Flandre orientale (1,444%). Un organisme de surveillance composé des deux groupes d'actionnaires (en néerlandais, toezichthoudend orgaan ou TZO) définit les axes stratégiques tandis que la mise en œuvre des projets est réalisée séparément dans les deux régions, flamande et néerlandaise.

Aux Pays-Bas et plus précisément à Terneuzen, l'agence de développement (ROMs ou Regional Development Agencies) « Impuls Zeeland⁵¹ » appuie les entrepreneurs grâce à des financements et des conseils dans le développement des projets innovants. Cette agence accompagne également les entreprises pour s'implanter sur le territoire.

En termes de communication, North Sea Port dispose d'un site internet qui se divise en quatre grandes parties :

Une partie pour les entreprises et entrepreneurs appelée « Doing business » regroupe toutes les informations concernant les infrastructures disponibles avec des outils interactifs comme :

- « Companies guide » permet de rechercher toutes les entreprises de North Sea Port.
- « Liner Services » permet de connaître les infrastructures disponibles sur l'ensemble du port comme les installations de stockage .
- Un troisième outil permet de localiser les terrains disponibles à North Sea Port (voir figure 20).

Une deuxième partie du site est dédiée aux navires et est appelée « Shipping » avec plusieurs outils comme :

- Enigma+ permet aux navires qui arrivent et partent par le port de s'enregistrer électroniquement. Cet outil nécessite un compte utilisateur pour son accès.
- Lockplanning permet de gérer le complexe d'écluses de Terneuzen
- Arrivals and departures permet d'avoir des informations précises sur les départs et arrivés des navires.

Une troisième partie dédiée au développement durable avec plusieurs sections :

- Economie circulaire présente les flux de déchets et le recyclage,
- Energies renouvelables (éolien, solaire, biocarburants, biomasses, recyclage de CO₂),
- Hydrogène regroupe toutes les informations sur les projets d'hydrogène développés,

⁵¹ [Impuls Zeeland](#)

- « Mobility and multimodality » présente le rôle du port et de ses infrastructures dans l'accès à l'arrière pays,
- Data permet d'accéder à des informations sur le port incluant les outils mises à disposition par le port,
- Collaboration avec les parties prenantes présente les projets et les initiatives du port pour l'économie circulaire.

La quatrième partie du site est dédiée au tourisme.

Le port utilise aussi un outil de communication appelé Intelligent IoT platform⁵² développé par l'entreprise Boomi (entreprise de développement de solutions numériques). Cet outil centralise, rationalise et modernise les enregistrements des cargos, la sécurité mais surtout l'efficacité opérationnelle.

⁵² [Intelligent IoT platform](#)

IV.1.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire à North Sea Port

Ecologie industrielle

L'écologie industrielle à North Sea Port se base principalement sur la valorisation de trois co-produits : le CO₂, la chaleur et l'eau chaude qui sont réutilisés tant dans la partie néerlandaise que dans sa partie belge.

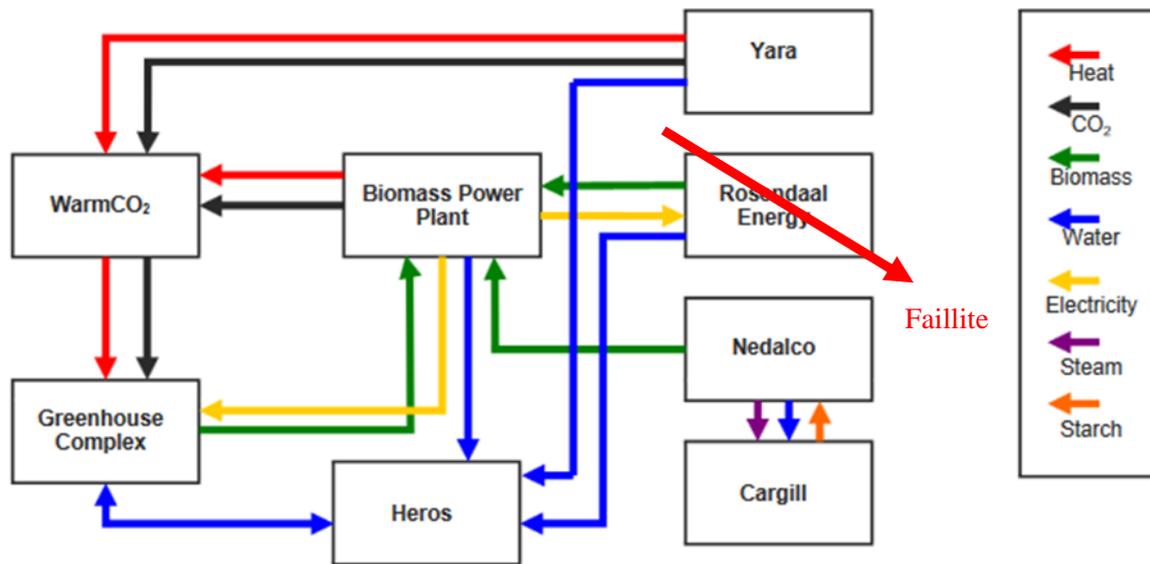
La partie néerlandaise de North Sea Port compte trois projets concrets d'écologie industrielle : le biopark de Terneuzen, le Zeeland industrial symbiosis et la boucle d'écologie industrielle entre Lamb Weston/Meijer et Wiskerke Onions.

1) Le biopark de Terneuzen

C'est un parc agro-industriel⁵³ créé aux Pays-Bas en février 2007 dans la zone du canal Gand-Terneuzen (Nuhoff-Isakhanyan, Wubben, Omta, & Pascucci, 2016). Il s'inscrit dans une volonté de développer une durabilité agro-industrielle à long terme. Il est constitué de plusieurs entreprises (voir figure 16) et de partenaires comme la municipalité de Terneuzen, l'université des sciences appliquées de Zélande ainsi que deux bureaux de conseil : Blonk Sustainability (Bureau international en matière de durabilité des systèmes alimentaires) et Van de Bunt Consultancy (le plus ancien cabinet indépendant de conseil en organisation des Pays-Bas). Ce biopark utilise le CO₂ et la chaleur fatale pour la production de fertilisants et réchauffer des serres de production agricole.

⁵³ [Biopark de Terneuzen](#)

Figure 16 – Le biopark de Terneuzen et les synergies entre les entreprises partenaires – North Sea Port



Source : Biopark Terneuzen (Site internet du cluster)

La chaleur fatale et le CO₂ de Yara Sluiskil (complexe pétrochimique) et de l'usine de biomasse sont transportés vers WarmCO₂ pour être traités avant d'être envoyés dans le « greenhouse » (Serre pour la culture de légumes comme l'aubergine). La biomasse issue de la serre et de Nedalco (entreprise de production de bio-éthanol racheté en 2011 par Cargill⁵⁴) est transportée à son tour vers l'usine de biomasse pour la production d'électricité. L'eau industrielle des entreprises du biopark est transportée vers l'entreprise Heros Sluiskil (entreprises faisant de l'épuration d'eaux usées dans le biopark) pour être traitée et utilisée par le « greenhouse ». La vapeur et l'eau industrielle produites par Nedalco (producteurs d'éthanol (alcool éthylique) d'origine agricole) sont réutilisées par Cargill (producteur de produits alimentaires) et l'amidon (Starch) produit par Cargill sera à son tour réutilisé par Nedalco.

Le biopark de Terneuzen a faiblement évolué depuis sa création, le seul changement notable constaté est la faillite de Rosendaal Energy en 2009⁵⁵ et sa dissolution en 2015 en raison de son insolvabilité⁵⁶.

⁵⁴ [Acquisition Nedalco](#)

⁵⁵ [Faillite Rosendaal Energy](#)

⁵⁶ [Dissolution Rosendaal Energy](#)

2) Zeeland Hydrogen Symbiosis

Smart Delta Resources a créé en 2016 la symbiose industrielle appelé Zeeland Hydrogen symbiosis⁵⁷ entre Dow Benelux⁵⁸, Yara Sluiskil⁵⁹ et ICL IP⁶⁰ pour l'échange de 4 500 tonnes d'hydrogène par des réseaux de pipelines. DOW Benelux transfère l'hydrogène dont il n'a pas l'utilité à l'aide de l'entreprise Gasunie Transport Services (12km de long) vers Yara et ICL pour servir de co-produits dans l'objectif de réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES.

3) Boucle d'écologie industrielle entre Lamb Weston/Meijer et Wiskerke Onions aux Pays-Bas

L'entreprise Lamb Weston/Meijer (LWM) numéro 2 mondial de la transformation de pommes de terre génère de la chaleur durant la cuisson de celles-ci. Une seconde entreprise Wiskerke Onions (JWK) leader mondial dans le commerce d'oignons, a besoin d'une grande source de chaleur pour les sécher et réutilise ainsi la chaleur résiduelle de LWM.

En partageant cette chaleur, JWK réduit sa consommation de gaz de 600.000 à 800.000m³ par année mais aussi une réduction d'émission de CO₂ de plus de 800 tonnes par an.

La partie belge compte un projet concret sous la forme d'une boucle d'écologie industrielle.

Depuis 2016, l'eau chaude de Stora Enso (entreprise de papier) est envoyée via un réseau de pipelines sous le canal Gand-Terneuzen vers Volvo (constructeur automobile suédois) situé à 2 kilomètres⁶¹. Cette eau chaude est utilisée par Volvo pour garder les bâtiments et les cabines de peinture à la bonne température. L'eau est ensuite renvoyée à Stora Enso pour être réutilisée dans sa chaîne de production. Grâce à cela, l'usine automobile peut arrêter un certain nombre de chaudières à gaz et réduire ses émissions de CO₂ de 15 000 tonnes par an (ce qui représente environ 40% des émissions de CO₂ de l'entreprise).

Des projets sont aussi en cours de réalisations dans la partie belge du port. Ces projets impliquent surtout ArcelorMittal Belgium.

⁵⁷ [Zeeland industrial symbiosis](#)

⁵⁸ [Dow Benelux](#)

⁵⁹ [Yara Sluiskil](#)

⁶⁰ [ICL IP](#)

⁶¹ [Portnews Stora Enso et Volvo](#)

ArcelorMittal Belgium (entreprise sidérurgique) qui se situe dans la partie belge de North Sea Port, à la frontière entre la Belgique et les Pays-Bas développe actuellement trois projets d'écologie industrielle. Le premier projet en cours de développement implique Dow Chemical (multinationale américaine qui est spécialisée dans le domaine de la fabrication et de la distribution de produits chimiques présent aux Pays-Bas), Tata Steel (entreprise indienne spécialisée dans la sidérurgie présent en Belgique) et l'université de Gand. Le projet « Steel2Chemicals project » qui a passé les études de faisabilités techniques et économiques projette de convertir le CO₂ issu des gaz résiduels d'ArcelorMittal Belgium pour produire du Naphta (liquide transparent utilisé dans la pétrochimie) qui serait à son tour utilisé par DOW Chemical pour la fabrication de produits chimiques (Haezendonck & Van den Berghe, 2020). Une partie du CO₂ sera utilisé par Tata Steel comme source de carbone dans le processus de fabrication de l'acier. Ce naphta synthétique pourra remplacer (en partie) la demande de naphta fossile utilisé pour produire, par exemple, de l'éthylène, une composante chimique majeure et des matières premières pour la fabrication d plastiques.

Le deuxième projet d'écologie industrielle d'ArcelorMittal Belgium est la construction de Steelanol⁶² qui est une unité composée de bioréacteurs qui transformeront les gaz industriels captés au cours du processus de fabrication de l'acier en éthanol. La construction de l'usine est en cours de finalisation avec l'arrivée en 2021 de ses quatre bioréacteurs et la construction du réseau de pipelines. La mise en service et la première production étant estimées pour la fin 2022. Le procédé mis en œuvre pour l'usine peut non seulement utiliser les gaz résiduels issus des méthodes actuelles de production d'acier, mais il est également flexible ; il peut s'adapter à la transition de l'industrie vers les futures technologies de production d'acier avec un apport accru d'hydrogène vert. Cela permet à cette application de recyclage du carbone d'évoluer en fonction des résidus et des flux de déchets disponibles.

Le troisième projet (en cours d'étude de faisabilité) implique ArcelorMittal Belgium, Fluxys (entreprise de transport et de stockage) et North Sea Port. Le projet vise à développer une infrastructure clé, capable d'accueillir une chaîne CCU. Le projet qui porte le nom de Ghent Carbon Hub est un hub en libre accès pour transporter et liquéfier du CO₂ provenant d'émetteurs divers, servir de zone de stockage tampon et charger le CO₂ liquéfié sur des navires pour un

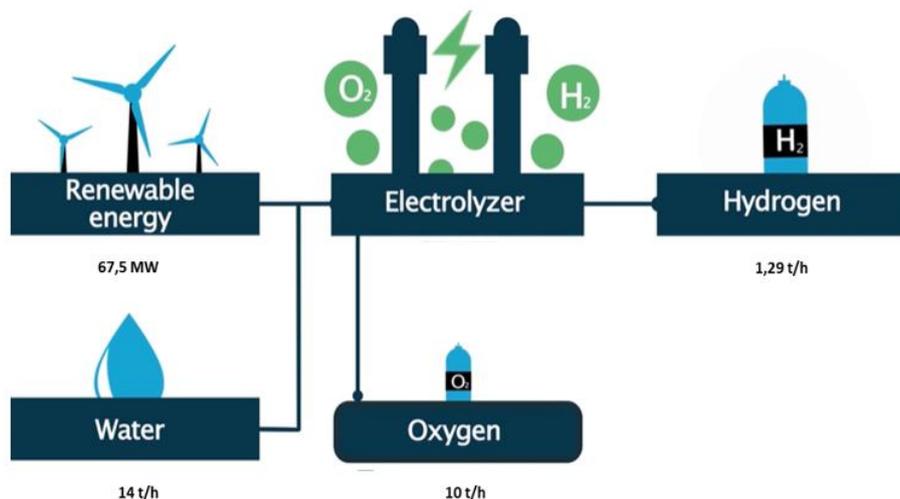
⁶² [Steelanol Project](#)

stockage ultérieur. La mise en service est prévue pour 2027. Le Ghent Carbon Hub aura une capacité permettant le traitement de 6 millions de tonnes de CO₂ par an, ce qui correspond à environ 15% des émissions de CO₂ de l'industrie belge.

Dans sa transition énergétique, North Sea Port diversifie son approvisionnement (North Sea Port, 2022) :

- Les 50 éoliennes offshore à Vlissingen et les 100 éoliennes dans le port génèrent au total 280 mégawatts par an, ce qui équivaut à la consommation annuelle de 180 000 ménages.
- A Gand, Vlissingen et Terneuzen, les panneaux solaires génèrent un total de 110 mégawatts, ce qui correspond à la consommation annuelle de 28 000 ménages.
- Des entreprises situées dans la partie gantoise de la zone portuaire produisent des biocarburants
- L'hydrogène avec par exemple le projet North-C-Hydrogène⁶³ (voir figure 17).

Figure 17 – North-C-Hydrogène - North Sea Port



Source : North-C-Hydrogène

Grâce aux éoliennes en place, une usine d'électrolyse sur le site d'ENGIE (entreprise productrice d'énergie) à Gand fractionne l'eau en hydrogène et en oxygène qui seront utilisés localement

⁶³ [North C Hydrogène](#)

dans l'industrie sidérurgique et chimique. En 2019, North Sea Port en collaboration avec le port de Rotterdam et d'Anvers étudient le déploiement d'une infrastructure de pipelines à grande échelle pour le transport et l'échange de CO₂, d'hydrogène, de naphta synthétique et de chaleur entre les ports (projet « CO2TransPorts »).

Recyclage

North Sea port considère les déchets comme une matière première potentielle. Il encourage les entreprises à produire moins de déchets, mais aussi à les échanger et à les recycler. Stora Enso par exemple produit chaque année plus de 500 000 tonnes de papier journal et de papier magazine à partir de papier 100% recyclable ou de vieux papiers⁶⁴. L'entreprise Beelen (Entreprise de collecte de déchets et de recyclage situé à Terneuzen) recycle 99,45% des déchets de démolition provenant de sites de rénovation industrielle le long du canal Gand-terneuzen ⁶⁵. Les informations recueillies sur le site du port montrent que les voitures, wagons de train et navires démantelés sont transformés en ferraille réutilisée par l'industrie sidérurgique.

IV.1.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

Dans l'objectif de développer de nouvelles activités d'économie circulaire, certaines entreprises en collaboration avec des universités et des agences de développement se sont regroupées autour de clusters : Smart Delta Resources (SDR) et Cleantech cluster de Gand.

Smart Delta Resources (SDR)⁶⁶ regroupe une quinzaine d'entreprises néerlandaises et flamandes à forte consommation d'énergie et de ressources qui recherchent des moyens pour réduire l'utilisation de l'énergie et des matières premières. SDR soutient les initiatives des nouvelles entreprises et les entreprises en transition vers l'économie circulaire.

Ses objectifs sont de :

- Identifier les opportunités pour l'échange d'énergie et de matières,
- Développer des projets d'économie circulaire,

⁶⁴ [Recyclage papier Stora Enso](#)

⁶⁵ [Beelen Recycling](#)

⁶⁶ [Smart Delta Resources](#)

- Trouver des opportunités de collaboration en symbiose avec des entreprises qui ne font pas encore partie du regroupement,
- Attirer de nouvelles activités dans la région

Le Cleantech cluster de Gand⁶⁷ créé en 2016, regroupe six partenaires⁶⁸ qui cherchent à optimiser l'utilisation des ressources naturelles et à minimiser leur impact sur l'environnement.

Ses objectifs sont :

- La valorisation des innovations.
- Le développement de nouvelles compétences.
- Le financement, la mise en réseau et la promotion.
- Le recrutement sur mesure pour les entreprises.

En plus des clusters qui développent les activités d'économie circulaire, une installation pilote indépendante appelé « Bio Base Europe Pilot⁶⁹ » ou BBEPP a été inaugurée en 2010 à North Sea Port. C'est une unité de production à disposition des entreprises qui développe des procédés à moindre coût qui pourront être réutilisés à des échelles commerciales et fabrique des produits tests pour servir de démonstrateur ou pour tester le produit fini sur le marché. BBEPP a conduit plus de 450 projets pour environ 150 startups, PME et grandes entreprises entre 2013 et 2020⁷⁰.

North Sea Port met aussi à disposition 700ha de terrains reliés aux infrastructures routières, aux quais et aux pipelines pour inciter les entreprises à s'installer dans le port (North Sea Port, 2022). Pour maximiser les échanges de flux, le port a également mis en place des réseaux étendus de pipelines.

En termes de ressources financières, Haezendonck et Van Den Berghe (2020) estiment le budget des subventions publiques pour l'économie circulaire à environ 100 millions d'euros pour le projet hydrogène et 160 millions d'euros pour l'usine de Steelanol qui transforme le CO₂ d'ArcelorMittal en éthanol.

⁶⁷ [Cleantech Cluster de Gand](#)

⁶⁸ [Partenaires du Cleantech de Gand](#)

⁶⁹ [Bio Based Europ Pilot Plant](#)

⁷⁰ [Projets de Bio Based Europ Pilot Plant](#)

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire (Innovations développées)

Quelques innovations identifiées en matière d'économie circulaire à North Sea Port sont présentées dans le tableau 9.

Tableau 9 - Résultats d'économie circulaire obtenus pour North Sea Port

| Port | Produits nouveaux ou améliorés | Procédés de production nouveaux ou améliorés | Prestations de services / nouvelles ou améliorées | Nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail |
|-----------------------|---|---|--|--|
| North Sea Port | Oui | Oui | Non défini | Oui |
| | 1.Produits issus du CO et CO ₂ 2.LeanSHIPS 3.FASTWATER | 1.Technologie VORTEX 2.SUPER-DRY REFORMING 3.Augmentation de l'efficacité du procédé d'électrolyse 4.Carbon4PUR 5.CAPRA 6.CO2PERATE 7.BioSferA 8.BIOCON-CO2 9.AMARANTHUS 1+ 2 + 3 10.Smart Gas | | Zeeland Hydrogen symbiosis |

Les biens nouveaux ou améliorés sont des produits chimiques issus de la transformation du CO et du CO₂. Le naphtha synthétique est le premier produit obtenu après la transformation du CO, elle peut ensuite être utilisée comme matière première pour la fabrication de détergents, encres, solvants ou encore des polymères (les polymères sont utilisés dans la fabrication du shampoing par exemple).

Le mélange d'hydrogène (H₂) et CO₂ ou CO permet d'obtenir des produits à base de méthanol ou des dérivés du méthanol comme biocarburants :

- LeanSHIPS : méthanol vert comme alternative aux carburants fossiles, notamment pour les navires et le transport lourd (UGent, projet H2020),
- FASTWATER : développement de moteurs pour les e-carburants maritimes (UGent - Anglo Belgian Corporation, projet H2020).

Les procédés de production nouveaux ou améliorés ont été développés pour séparer l'H₂ de l'eau (H₂O), puis pour combiner l'H₂ séparé au CO₂ et / ou CO :

- Technologie VORTEX : intensification du processus de capture du CO₂ par des technologies d'adsorption/absorption⁷¹ (UGent, projet Moonshot CAPTIN),
- SUPER-DRY REFORMING : pré-conversion du CO₂ en CO (Buelens et al., 2017) (Buelens et al., 2017) en collaboration avec l'université de Gand (UGent),
- Augmentation de l'efficacité du procédé d'électrolyse.
- Carbon4PUR : synthèse de polyuréthanes à partir de mélanges CO/CO₂ dans les effluents gazeux (UGent - ArcelorMittal, projet H2020),
- CAPRA : procédé permettant de mélanger le CO à l'H₂ pour obtenir de l'éthanol puis des huiles riches (UGent - ArcelorMittal),
- CO2PERATE : procédé qui assure la conversion des produits à forte valeur ajoutée à partir du formiate (qui est type de sel produit par la combinaison d'acide avec une base comme par exemple un alcool) (UGent et projet BBEPP ou Bio Bas Europe Pilot Plant),
- BioSferA : production de biocarburants à partir de la fermentation du gaz de synthèse pour l'aviation et la marine (BBEPP, projet H2020),
- BIOCON-CO2 : Procédés biotechnologiques basés sur la Conversion du CO₂ de l'industrie sidérurgique en produits de base pour la chimie et les plastiques (BBEPP - Engie - ArcelorMittal, projet H2020),
- AMARANTHUS 1+ 2 + 3 : Conversion de CO/H₂ en produits chimiques à forte valeur ajoutée (acétate, éthanol, isobutène) : Sous-traitant de BBEPP dans les recherches financées par l'ADEME française et l'ISPT néerlandaise, respectivement.

Un autre procédé de production nouveau ou amélioré a été identifié. Smart Gas permet de combiner et séparer les gaz de l'industrie chimique et de l'énergie. Ce procédé a pour avantage

⁷¹ L'absorption est un phénomène de remplissage d'un corps par un autre, comme une éponge qui se remplit d'eau. L'eau reste prisonnière du fait des forces de capillarité. L'adsorption est un processus physique ou chimique qui fixe des molécules à la surface d'un solide, comme les filtres à charbon actif qui servent à piéger les vapeurs de friture.

d'émettre moins de GES lors du processus de séparation. Les entreprises impliquées dans le projet développent ainsi des opportunités pour l'échange d'énergie et de matières premières.

Les informations disponibles ne permettent pas de déterminer si des prestations de services / nouvelles ou améliorées et nouvelles méthodes commerciales ont été introduites durant les dernières années.

Concernant les nouvelles formes / outils (sites collaboratifs / plateformes) d'organisation de travail, Smart Delta Resources a créé le Zeeland Industrial Symbiosis.

IV.1.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

Le couplage de chaleur résiduelle entre Lamb Weston/Meijer (LWM) et Wiskerke Onions (JWK) permet une réduction de la consommation de gaz de 600.000 à 800.000m³ par année, mais aussi une réduction d'émission de CO₂ de plus de 800 tonnes par an.

Zeeland Hydrogen symbiosis permet d'échanger 4 500 tonnes d'hydrogène par des réseaux de pipelines, ce qui représente 320 camions en moins sur les routes de Zélande et une réduction des émissions de de CO₂ de 20 000 à 40 000 tonnes depuis 2018. Cette symbiose a aussi permis:

- De réduire la consommation d'énergie de 0,15 pétajoules par an, ce qui correspond à la consommation de gaz de 3000 foyers.
- L'utilisation de pipelines a permis de réduire de 70% à 80% le transport par voie routière d'hydrogène vers ICL avec une réduction de 10 000 tonnes de CO₂ en 2018.

Pour la partie néerlandaise de North Sea Port (Zeeland), les données disponibles pour les émissions de CO₂ montrent une réduction des émissions entre 2010 (14 538 000 tonnes) et 2017 (10 908 000 tonnes). Pour les émissions de d'oxyde de soufre (SOx), Zeeland connaît une diminution entre 2010 (3 820 tonnes) et 2017 (2 250 tonnes) (DELFT, 2020). Cependant, la partie néerlandaise de NSP enregistre une augmentation des émissions d'oxyde d'azote (NOx) entre 2015 (5 260 tonnes) et 2017 (5 420 tonnes). Les émissions de gaz dépendent du type d'activité de l'entreprise.

Dans la partie belge (Gand), Alco Bio Fuel⁷² (bio-raffinerie opérationnel depuis 2016) récupère et purifie 100 000 tonnes de CO₂ chaque année. Le manque de données ne nous permet pas de connaître les évolutions des émissions des autres substances acidifiantes (SO_x et le NO_x).

L'échange d'eau chaude entre Stora Enso et Volvo a permis d'arrêter des chaudières à gaz et ainsi réduire les émissions de CO₂ de Volvo de 15 000 tonnes par an soit 40% d'émissions en moins. L'ensemble du réseau de pipelines de North Sea Port permet de transporter entre 15 à 16 millions de produits par an, ce qui diminue les émissions liées au transport par voie routière (North Sea Port, 2022).

Gestion des déchets

La gestion des déchets a permis à Zeeland de réduire sa quantité de substances extrêmement préoccupantes dans les eaux de surface ou SVHC (ce sont des substances ou des groupes de substances chimiques pouvant causer des effets néfastes sur l'homme et / ou l'environnement) entre 2000 (1 355kg) et 2017 (223 kg). Le volume déchets générés par les bateaux dans le port de Zeeland a beaucoup augmenté entre 2005 (4 871m³) et 2018 (15 576 m³) (DELFT, 2020). North Sea Port recycle la ferraille, le papier, le CO, le CO₂, les plastiques. Cependant, l'absence de données ne permet pas de quantifier l'évolution du volume de déchets recyclés ou incinérés. Pour la partie de Gand, les données disponibles concernent les déchets ménagers pour l'année 2017 (Gand, 2020). Avec 76 374 tonnes de déchets solides, le taux de recyclage avoisine les 77%.

En conclusion, North Sea Port oriente ses activités d'économie circulaire vers l'optimisation de la consommation d'énergie et l'utilisation des co-produits en privilégiant l'écologie industrielle et le recyclage. D'après Haezendonck et Van den Berghe (2020), la transition vers l'économie circulaire devient plus mature et commence à s'étendre au-delà des zones portuaires avec des relations avec d'autres ports comme Rotterdam et Anvers. North Sea Port se présente comme un nœud central pour les chaînes d'approvisionnement circulaires dont les flux sont livrés puis transformés en nouveaux produits, l'autorité portuaire y joue un rôle clé car elle stimule le développement des activités circulaires (Mańkowska et al., 2020).

⁷² [Alco bio fuel](#)

La fusion des ports permettent à North Sea Port d'apparaître comme une plateforme d'expérimentation et de mise en œuvre d'une stratégie d'économie circulaire et de décarbonation diversifiée.

IV.2. Port de Brême

IV.2.1. Présentation du port

Le port de Brême⁷³ est situé au nord-ouest de l'Allemagne. Sur les rives de la Weser, à environ 70 kilomètres à l'intérieur des terres de la Mer du Nord, c'est le 6^{ème} port du Range Nord Européen et est l'un des ports et centres industriels les plus importants d'Allemagne. Il s'étend des terminaux de Brême et de Bremerhaven⁷⁴. La partie du port du côté de Bremerhaven est spécialisée dans l'industrie automobile, l'agroalimentaire, tandis que la partie de Bremen-City est spécialisée dans les marchandises conventionnelles⁷⁵ en vrac.

Le port de Brême possède une industrie diversifiée répartie dans l'aérospatiale, l'alimentation, l'automobile, la navigation et la production d'acier. Bremen compte une cinquantaine d'entreprises comme par exemple Mercedes-Benz (automobile), Airbus (aéronautique), BLG Logistics Group (fournisseur de services portuaires et logistiques), ArcelorMittal (Sidérurgie et métallurgie) et Atlas Elektronik (technologie de pointe maritime)⁷⁶.

IV.2.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

Le port de Brême connaît une baisse démographique qui a pour conséquence une réduction du potentiel de main-d'œuvre. Pour faire face à ces défis, le port adapte sa stratégie de développement durable reliant les intérêts économiques, écologiques et sociaux afin d'assurer sa viabilité future. Aucun pilier de l'économie circulaire n'est mis en évidence dans la communication officielle dans le port de Brême.

Les activités d'économie circulaire dans le port sont encore à des stades d'études de faisabilité. L'objectif sur le long terme du port est de créer une chaîne d'approvisionnement entièrement durable incluant le transport maritime, la manutention portuaire et le transport dans l'arrière-pays (Bremenports, 2022).

Concernant la gouvernance de l'économie circulaire, aucune structure n'a été identifiée dans le port car les activités d'économie circulaire sont encore à un état embryonnaire.

⁷³ [Le port de Brême](#)

⁷⁴ [WPSP](#)

⁷⁵ Les marchandises conventionnelles se définissent comme l'ensemble des marchandises transportées à nu ou avec des emballages légers, sans conditionnement particulier autre que des emballages ponctuels

⁷⁶ [Major companies in Bremen](#)

En termes de communication, le port de Brême dispose d'un site internet avec toutes les informations utiles du port. Un onglet appelé « Magazine » permet d'avoir des informations sur les projets du port comme les travaux d'aménagements en cours. Bien qu'un onglet « Développement durable » soit présent, le contenu reste général avec par exemple la vulnérabilité des ports face aux changements climatiques sans information sur le port concerné.

IV.2.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port de Brême

Notre recherche n'aboutit pas à la mise en évidence d'une organisation systématique de l'activité d'économie circulaire dans le port de Brême et aucune boucle d'écologie industrielle ne semble être en place.

L'économie circulaire y est encore à un stade très embryonnaire ⁷⁷ avec deux études de faisabilités⁷⁸ :

- Un projet d'étude est en cours pour cartographier les matériaux utilisés dans la construction et l'entretien, avec pour objectif de connaître les types de déchets produits pour une future valorisation.
- Un autre projet est la proposition de formations relatives à la réutilisation et au recyclage des ressources pour les salariés du port.

Le 3^{ème} meeting sur les sédiments en économie circulaire en 2019 a permis de présenter la gestion des matériaux de dragage du port de Brême et de mettre en avant le procédé de traitement des bassins de déshydratation⁷⁹.

IV.2.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

En termes de développement économique, les constructions dans le port ne sont pas en lien avec l'économie circulaire et concernent surtout la construction de barrages contre les inondations et la construction d'un nouveau terminal (Port de Brême, 2022).

⁷⁷ [Activité d'économie circulaire port de Brême](#)

⁷⁸ [Etude autour de l'économie circulaire](#)

⁷⁹ [3rd meeting WG Sediments in Circular Economy: 23-24 October 2019](#)

Les résultats obtenus en terme d'économie circulaire

Le port de Brême est le port dont les activités d'économie circulaire sont les moins avancées de notre liste. L'absence d'éco-innovation pour le port de Brême est expliquée par l'absence d'activités d'économie circulaire.

IV.2.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

Le manque d'activité d'économie circulaire dans le port ne permet pas d'identifier une quelconque réduction des émissions de GES.

Gestion des déchets

Une étude en cours répertorie les différents types de déchets dans le port pour une valorisation future.

IV.3. Port du Havre

IV.3.1. Présentation du port

Le Grand Port Maritime du Havre (GPMH) est le 7^{ème} port du Range Nord Européen et 2^{ème} port français. C'est le premier port pour le transit des conteneurs en 2019⁸⁰ (Statistiques et développement durable, 2021) Situé en Seine-Maritime, il s'étend sur plusieurs communes à l'Est de l'estuaire de la Seine en France. C'est un port de commerce mais aussi de plaisance et de pêche.

L'ordonnance du 1^{er} juin 2021 basée sur l'article 130 de la loi du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités crée le grand port fluvio-maritime de l'axe Seine appelé HAROPA. Il est constitué des ports du Havre, de Rouen et de Paris (HAROPA, 2022). Cette fusion a surtout pour objectif de reconquérir des parts de marché dans la compétition européenne.

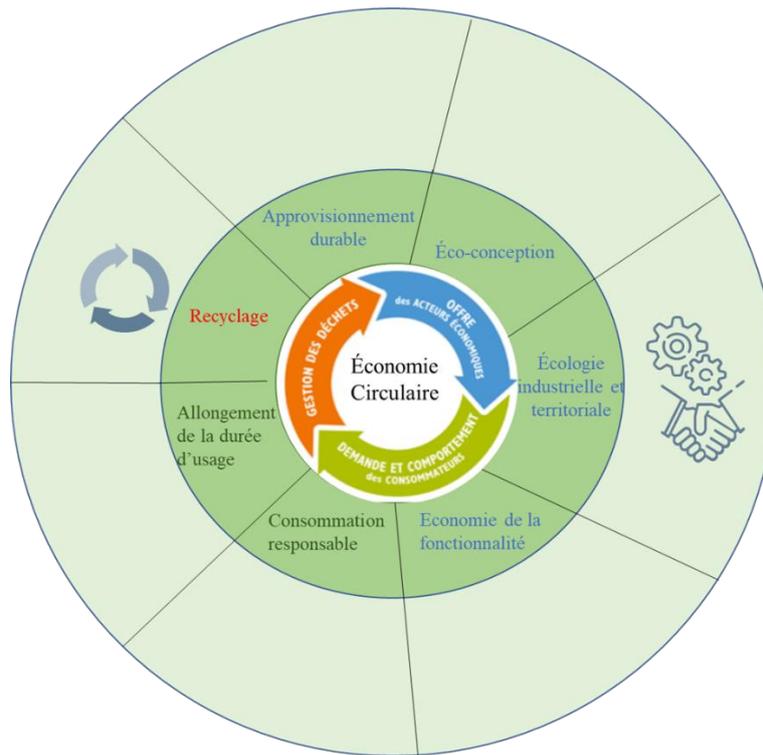
Le port du Havre possède un tissu industriel diversifié avec la plus grande plateforme chimique de France, avec plus de 250 entreprises industrielles dans la chimie, la pétrochimie, l'énergie, l'automobile, l'aéronautique ou encore les cosmétiques.

IV.3.2. Axe 1 : Stratégie, gouvernance et communication

Le port du Havre base sa stratégie autour de l'écologie industrielle et du recyclage (voir figure 19).

Figure 18 – Les piliers de l'économie circulaire dans le port du Havre

⁸⁰ [Statistique du ministère de la transition écologique](#)



Dès 2007, les démarches d'écologie industrielle et de recyclage se sont inscrits dans la stratégie du port pour renforcer la compétitivité de la zone industrialo-portuaire (ZIP) du Havre ⁸¹.

Concernant la gouvernance, le port du Havre gère ses infrastructures et travaille en collaboration avec l'association SYNERZIP-LH⁸² qui concourt à l'attractivité de la Zone Industrielle et Portuaire du Havre. La Communauté d'Agglomération havraise (CODAH) et la ville du Havre gèrent l'espace communautaire. Le Havre Développement⁸³ (agence de développement économique) prospecte, conseille et accompagne les entreprises dans leur projet d'implantation, d'investissement.

En termes de communication, le Havre dispose d'un site internet qu'il partage avec le port de Rouen et le port de Paris. Le site permet d'obtenir des informations sur les ports et un onglet d'information présente les derniers projets du port, notamment par le biais d'une newsletter et du magazine HAROPA port⁸⁴.

⁸¹ [Economie circulaire le Havre](#)

⁸² [Synerzip-LH](#)

⁸³ [Le Havre Développement](#)

⁸⁴ [HAROPA Port](#)

IV.3.3. Axe 2 : Activités d'économie circulaire dans le port du Havre

Ecologie industrielle

Le port a réalisé plusieurs études pour développer ses activités d'économie circulaire :

- 2007 : Réalisation d'une étude interne « Pôle déchets » sur la circonscription du Havre,
- 2008 : Réalisation d'une étude des flux sortants de la ZIP (cartographie des gisements, identification des synergies et des opportunités de valorisation),
- 2011 : Identification de la ZIP du GPMH comme territoire pilote dans le cadre de la démarche d'écologie industrielle initiée à l'échelle de l'estuaire de la Seine,
- En 2014 : Le projet de toile industrielle® a été lancé sur le territoire de l'Estuaire de la Seine⁸⁵,
- 2014-2015 : Etude « Ecologie industrielle sur le territoire d'HAROPA » avec un diagnostic des synergies potentielles (analyse de flux de matières et d'énergie).

L'écologie industrielle dans le port du Havre prend la forme d'un réseau de chaleur. SEDIBEX⁸⁶, qui est l'une des plus grosses usines d'incinération et de valorisation de déchets industriels en Europe assure le traitement des déchets de plus de 450 entreprises industrielles majoritairement normandes. C'est aussi un site de valorisation énergétique permettant de récupérer 300 000 tonnes de vapeur de qualité industrielle par an et 9,5 millions de kWh électriques. L'entreprise alimente un réseau de plus de 6 km avec 230 000 tonnes de vapeur pour les entreprises LUBRIZOL⁸⁷ qui fabrique des additifs et des lubrifiants, ERAMET⁸⁸ qui transforme les ressources minérales, OMNOVA⁸⁹ qui produit des polymères synthétiques comme le latex, le caoutchouc. RENAULT et TSN⁹⁰ qui créent des produits chimiques liquides et pulvérulents.

Un projet de chaudière biomasse (59,5 MW) appelé BIOSYNERGY 76 Seine Normandie (SUEZ)⁹¹ est à l'étude avec une mise en marche pour l'horizon 2025 sur la zone industrialo-

⁸⁵ [Toile industrielle sur le territoire de l'Estuaire de la Seine](#)

⁸⁶ [SEDIBEX](#)

⁸⁷ [Lubrizol](#)

⁸⁸ [Eramet](#)

⁸⁹ [Omnova](#)

⁹⁰ [TSN](#)

⁹¹ [Biosynergy 76](#)

portuaire du Havre. Cette chaudière récupère les déchets de bois pour produire de la chaleur au niveau local.

Recyclage

Il existe deux centres de recyclage : Havre Sud et Havre Nord. Ils permettent de recycler les déchets comme les bouteilles de gaz, les cartons, les batteries, métaux etc.

Le port du Havre compte d'autres entreprises spécialisées dans le recyclage comme par exemple :

- L'usine de régénération des huiles moteur usagées appelé OSILUB⁹², a été mise en service en 2013. L'usine a une capacité de traitement de 120 000 tonnes par an (rendement 75%) et dispose d'une plateforme multimodale (ferroviaire, fluviale et maritime).
- L'usine de fabrication de carburants appelé ESTENER⁹³ mise en service en 2013, récupère les huiles alimentaires usagées et graisses animales pour la fabrication de carburants, avec une capacité de 75 000 tonnes par an (rendement 96%).

IV.3.4. Axe 3 : Développement économique

Les ressources mobilisées pour le développement économique

En termes de ressources mobilisées, le Havre dispose de toiles industrielles inspirées de la démarche initiée et développée par l'agence d'urbanisme et de développement de la région Flandre-Dunkerque (AGUR). Les informations disponibles ne permettent pas de déterminer les infrastructures, et moyens financiers dédiés à l'économie circulaire.

Les résultats obtenus en termes d'économie circulaire

En termes de résultats obtenus, aucune innovation issue des activités d'économie circulaire n'a été clairement identifiée.

⁹² [Osilub](#)

⁹³ [Estener](#)

IV.3.5. Axe 4 : Impacts environnementaux

Réduction des émissions de GES

En termes d'émissions de CO₂, les données sont disponibles sont insuffisantes pour avoir une estimation des émissions de GES. DELFT (2022) indique environ une réduction des émissions de GES de 10 000 000 tonnes pour l'année 2016 et aucune donnée pour les autres années.

Gestion des déchets

Le plan d'action « Ambition Zéro gâchis⁹⁴ » du Havre Seine Métropole indique que 455 tonnes de déchets ménagers sont collectés chaque jour dont 84% sont orientés vers des usines de valorisations. 20 000 tonnes de déchets organiques sont compostées pour servir d'engrais naturel et 14 021 tonnes de déchets plastiques sont recyclés pour devenir de nouveaux emballages, des tuyaux ou encore des trottinettes.

⁹⁴ [Ambition Zéro Gâchis](#)

IV.4. Conclusion sur la présentation des activités d'économie circulaire dans les trois ports du range Nord Européen similaires à Dunkerque.

North Sea Port, le port de Brême et du Havre sont les trois ports qui se rapprochent le plus de Dunkerque en termes de superficie et de trafic maritime. Les piliers de l'économie circulaire les plus présents sont l'écologie industrielle et le recyclage pour North Sea Port et le port du Havre. Suivant les informations disponibles, le port de Brême ne se positionne sur aucun des piliers de l'économie circulaire car le port est encore en phase d'études des flux de son territoire et ne possède aucun projet actif.

Les similitudes entre Dunkerque et North Sea Port concernant le trafic maritime et la superficie ainsi que le développement conséquent d'initiatives en matière d'économie circulaire à North Sea Port soulignent l'intérêt à étudier plus en détails les activités de ce port. Nous chercherons dans une phase ultérieure à déterminer l'état de développement d'un écosystème d'innovation circulaire. Cette étude permettra de comparer les stratégies mise en œuvre à Dunkerque et North Sea Port et de faire apparaître leurs atouts respectifs.

V. Conclusion générale

La transition vers l'économie circulaire se met en place dans les différents ports du Range Nord Européen que nous avons retenu mais leur niveau de maturité diffèrent. Chaque port étudié a une stratégie concernant l'économie circulaire, les piliers qui ressortent le plus sont l'écologie industrielle et le recyclage à l'exception du port de Brême qui semble se situer à un stade embryonnaire dans le développement d'activités d'économie circulaire.

La gouvernance dans les ports est généralement composée de l'autorité portuaire, de la ville ainsi que des agences de développement.

En termes de communication, tous les ports disposent de sites internet modernes qui regroupent les informations utiles incluant les événements passés et à venir et des outils collaboratifs directement accessibles.

Rotterdam, Anvers, North Sea Port et Le Havre ont développé des symbioses industrielles caractérisées par des flux variés et organisés de mutualisation et de substitution. Ces symbioses industrielles se situent néanmoins à des niveaux de maturité différents. Les flux principaux sont les déchets ménagers et industriels, la chaleur fatale, le CO₂, l'hydrogène et la vapeur/eau chaude.

Les autres ports étudiés sont caractérisés par quelques boucles d'écologie industrielle ainsi que des activités de recyclage autour du plastique et des déchets ménagers.

En termes de ressources mobilisées pour le développement économique, les ports aménagent leurs infrastructures et développent des solutions pour pouvoir accueillir des activités d'économie circulaire.

Les ports misent sur l'innovation développée de manière endogène sur leur territoire. Ces innovations sont soit introduites par les grandes entreprises en place, les entreprises de tailles plus modestes et leur coopération avec les universités au sein de pôle de développement, parcs, living labs. Ces éléments paraissent déterminants dans leur stratégie d'Economie circulaire et de décarbonation. Cela paraît être un point fondamental dans la mesure où par le biais des projets d'économie circulaire et de décarbonation, les ports ne seraient plus uniquement des espaces d'expérimentation d'innovation produites ailleurs mais de développement d'innovations technologiques et organisationnelles nouvelles. Pour étudier cette hypothèse plus en détails, la suite de ce travail sera consacrée à l'étude approfondie, basée sur une série d'entretiens avec les acteurs publics et privés de North Sea Port. La comparaison de nos résultats avec le cas de Dunkerque (permettra de renforcer notre analyse portant sur la

construction d'écosystèmes d'innovations circulaires dans les territoires industrialo-portuaires
(Rapport Impec N°2., 2022).

Références

- Baas, L. (1998). Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience. *Journal of Cleaner Production*, 6(3-4), 189-197.
- Baas, L. W., & Boons, F. A. (2004). An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 1073-1085.
- Ballini, F. (2017). The role of port cities in circular economies: An overview. *Proceedings of the Life Below Water*.
- Beyer, A., & Lacoste, R. (2017). La transition écologique des territoires urbano-portuaires. *Revue d'Economie Regionale Urbaine*(5), 857-880.
- Brooks, M. R., & Pallis, A. A. (2012). Port governance. *The Blackwell companion to maritime economics*, 491-516.
- Buelens, L., Galvita, V., Poelman, H., & Marin, G. (2017). Super-dry reforming of CH₄. 2017 AIChE Annual Meeting (AIChE),
- Carpenter, A., Lozano, R., Sammalisto, K., & Astner, L. (2018). Securing a port's future through Circular Economy: Experiences from the Port of Gävle in contributing to sustainability. *Marine pollution bulletin*, 128, 539-547.
- Carrière, J.-P. (2018). La région, une échelle pertinente pour la «mise en territoire» de l'économie circulaire? Réflexions à partir du cas français. *Lucrările Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir"*, 46(1), 3-22.
- de Langen, P. W., Sornn-Friese, H., & Hallworth, J. (2020). The role of port development companies in transitioning the port business ecosystem; the case of port of Amsterdam's circular activities. *Sustainability*, 12(11), 4397.
- DELFT. (2020). Benchmark for seaport sustainability - The environmental performance of Dutch and international seaports.
- Dermine-Brulot, S., Junqua, G., & Zuideau, B. (2017). Écologie industrielle et territoriale à l'heure de la transition écologique et sociale de l'économie. *Revue d'Economie Regionale Urbaine*(5), 771-796.
- Elzen, D. v. d. (2021). Rotterdam's Residential Waste Solutions.
- Frantzeskaki, N., Broto, V. C., Coenen, L., & Loorbach, D. (2017). Urban sustainability transitions: The dynamics and opportunities of sustainability transitions in cities. In *Urban sustainability transitions* (pp. 1-20). Routledge.

- Frantzeskaki, N., & Tilie, N. (2014). The dynamics of urban ecosystem governance in Rotterdam, The Netherlands. *Ambio*, 43(4), 542-555.
- Frémont, A., & Soppé, M. (2017). Northern European range: shipping line concentration and port hierarchy. In *Ports, cities, and global supply chains* (pp. 121-136). Routledge.
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M., & Fusco Girard, L. (2019). Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability*, 11(13), 3512.
- Haezendonck, E., & Van den Berghe, K. (2020). Patterns of circular transition: what is the circular economy maturity of Belgian ports? *Sustainability*, 12(21), 9269.
- HAMBURG, Port (2005). Focus of dynamic growth markets—Prospects and development potential for the Port of Hamburg. Free and Hanseatic City of Hamburg, Ministry of Economics and Labour, Hamburg Port Authority.
- ISEMAR. (2021). Range Nord, leadership européen et diversité fonctionnelle. Note de Synthèse ISEMAR n°234 – Octobre.
- Karimpour, R., Ballini, F., & Ölcer, A. I. (2019). Circular economy approach to facilitate the transition of the port cities into self-sustainable energy ports—A case study in Copenhagen-Malmö Port (CMP). *WMU Journal of Maritime Affairs*, 18(2), 225-247.
- Lobo-Guerrero, L., & Stobbe, A. (2016). Knots, Port Authorities and Governance: Knotting Together the Port of Hamburg. *Global Society*, 30(3), 430-444.
- Mańkowska, M., Kotowska, I., & Pluciński, M. (2020). Seaports as nodal points of circular supply chains: Opportunities and challenges for secondary ports. *Sustainability*, 12(9), 3926.
- Manning, S. (2008). Customizing clusters: on the role of western multinational corporations in the formation of science and engineering clusters in emerging economies. *Economic development quarterly*, 22(4), 316-323.
- Mat, N. (2015). Dynamiques de transition dans les territoires portuaires: apport de l'écologie industrielle et territoriale aux processus d'adaptation vers une société bas-carbone Saint-Etienne, EMSE].
- Mat, N., Cerceau, J., Lopez-Ferber, M., & Junqua, G. (2017). Complexity as a means of resilience in metropolitan port areas: Application to the Aix-Marseille case study in France. *Journal of Cleaner Production*, 145, 159-171.
- Merckx, J., & Neyts, D. (2019). De Vlaamse havens-Feiten, statistieken en indicatoren voor 2016.

- Molavi, A., Lim, G. J., & Race, B. (2020). A framework for building a smart port and smart port index. *International journal of sustainable transportation*, 14(9), 686-700.
- Niang, A., Bourdin, S., & Torre, A. (2020). L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 11(1).
- Notteboom, T., van der Lugt, L., van Saase, N., Sel, S., & Neyens, K. (2020). The role of seaports in green supply chain management: Initiatives, attitudes, and perspectives in Rotterdam, Antwerp, North Sea Port, and Zeebrugge. *Sustainability*, 12(4), 1688.
- Obersteg, A., Arlati, A., & Lopes, A. (2021). D5.7 Eco-innovative Solutions Hamburg.
- Porter, M. E. (1998). *Clusters and the new economics of competition* (Vol. 76). Harvard Business Review Boston.
- Rapport Impec n°1, *Le Rôle des Ports dans L'Économie Circulaire. Construction d'un Tableau de Bord d'Indicateurs*, ISI/Lab.RII, ULCO, 2020.
- Rapport Impec N°2, *Vers la construction d'écosystèmes d'innovation circulaires*, ISI/Lab.RII, ULCO, 2022.
- Rajabi, A., Saryazdi, A. K., Belfkih, A., & Duvallet, C. (2018). Towards smart port: an application of AIS data. 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Rotterdam, P. o. (2018). Organisation. <https://www.portofrotterdam.com/en/about-port-authority/our-organisation>.
- Russo, M., Amenta, L., Attademo, A., Cerreta, M., & Formato, E. (2019). D 5.1: PULLs Handbook.
- Steenmans, K. (2021). Do property rights in waste and by-products matter for promoting reuse, recycling and recovery? Lessons learnt from northwestern Europe. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100030.
- Van den Berg, R., & De Langen, P. W. (2015). Towards an 'inland terminal centred' value proposition. *Maritime Policy & Management*, 42(5), 499-515.
- van den Oord, S., Vanlaer, N., Marynissen, H., Bruggemans, B., Van Roey, J., Albers, S., Cambré, B., & Kenis, P. (2020). Network of networks: preliminary lessons from the Antwerp Port Authority on crisis management and network governance to deal with the COVID-19 pandemic. *Public Administration Review*, 80(5), 880-894.

Veyssière, S., Laperche, B., & Blanquart, C. (2021). Territorial development process based on the circular economy: a systematic literature review. *European Planning Studies*.
<https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1873917>

Zasiadko, M. (2022). Port of Antwerp-Bruges on the way to circular economy.
<https://intermodalnews.eu/2022/06/16/port-of-antwerp-bruges-on-the-way-to-circular-economy/>

Annexe

Annexe 1 - Les quatre axes du tableau de bord d'indicateurs IMPPEC

