



Ouest.Tribune

# RAPPORT DE STAGE INDIVIDUEL

4<sup>ème</sup> année

Période de stage : 19/04/2021 – 17/08/2021

## Concevoir et développer des projets portuaires selon la « Green & Smart port » attitude

Tuteurs entreprise Artelia :

Osanne Paireau,  
Jean-François De Calonne,  
Sébastien Ledoux

6 Rue de Lorraine,  
38130 Échirolles

Philomène Pagès

[Etudiante]

Polytech Tours

DAE - UIT

2020-2021

Tuteur académique :

Abdel Illah Hamdouch



## REMERCIEMENTS

En premier lieu je tiens à remercier, pour leurs suivis et leurs confiances, mes trois tuteurs de stage : Mme. Osanne Paireau, directrice de projet dans l'entité Maritime & Ports d'ARTELIA ; M. Jean-François De Calonne, économiste des transports, appliquant son expertise dans l'équipe de Stratégie et Etudes Amonts ; ainsi que, M. Sébastien Ledoux, directeur de projets. Ils ont pu apporter chacun leur propre vision sur le stage ce qui a permis de l'enrichir tant dans les tâches à réaliser que pour l'interprétation des résultats.

Je saisis cette occasion pour adresser mes remerciements à M Abdel Illah Hamdouch, professeur à Polytech Tours et tuteur académique de ce stage, pour la relecture de ce rapport, ainsi que pour la qualité de son enseignement sur la stratégie des territoires qui m'a permis d'avoir une lecture globale des enjeux portuaires.

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Etienne Cunge, expert environnement et développement durable à Artelia avec qui j'ai travaillé sur l'outil CarbonEval durant deux semaines consécutives. Je suis très reconnaissante pour sa disponibilité ainsi que pour les échanges très instructifs sur la méthode à utiliser pour intégrer l'environnement dans les projets professionnels.

Je remercie également M. François Hacques qui m'a été d'une grande aide via ses compétences dans le génie civil pour mon travail sur CarbonEval.

Je remercie M. Jérémy Judic, M. Jean Lecorat, M. David Chotard, M. Jacques Chansavang, Mme. Anne Laure Solnon, M. Alexis Goupil, M. Jérôme Mercier ainsi que M. Sébastien Horgue, tous collaborateurs d'Artelia, qui ont pu me consacrer du temps dans le cadre d'entretiens organisés pour échanger sur leur travail, leur vision extérieure sur le sujet du stage, ainsi que leur motivation pour travailler sur ce sujet à l'avenir via des synergies entre les équipes d'Artelia. Ces échanges m'ont permis d'acquérir des connaissances sur la vie d'entreprise et sur des domaines d'activités variés.

Je souhaiterais enfin remercier profondément toute l'équipe maritime pour l'accueil chaleureux et en particulier Mme Agnès Diasparra pour sa gentillesse. Le geste d'intégration qu'elle a développé envers les autres stagiaires et à moi-même m'a permis d'enrichir mon expérience sur le plan social. Nos déjeunés récurrents nous ont donné l'opportunité de faire connaissance avec une grande partie de l'équipe maritime.

# SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>1</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>3</b>
<b>1. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. PRÉSENTATION DE LA MISSION .....</b>	<b>6</b>
2.1. Définitions.....	6
2.2. Les enjeux du stage .....	7
2.3. Les objectifs de l'entité Maritime & Ports d'ARTELIA.....	8
<b>3. DÉROULÉ DE LA MISSION .....</b>	<b>9</b>
3.1. Méthodologie de travail .....	9
3.2. Identification des enjeux portuaires .....	10
3.3. Etats des lieux de plusieurs grands ports maritimes .....	13
3.4. Identification des compétences internes.....	17
3.5. Croisement des résultats .....	18
3.6. Perspectives de développement.....	20
3.7. Cas pratique quantitatif : Adaptation outil carbone.....	22
<b>4. CONCLUSION ET RETOUR REFLEXIF SUR L'EXPÉRIENCE.....</b>	<b>29</b>
4.1. Réflexions personnelles.....	29
4.2. Livrables .....	31
<b>RÉFÉRENCES DU RAPPORT .....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>32</b>
1- Exemple : Synthèse de la fiche établie pour le port de Nantes .....	33
2- Tableur des enjeux portuaires .....	35
3- Cartes mentales – Compétences internes .....	39
4- Outil carbonEval-Mar .....	43

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Organigramme circulaire du groupe ARTELIA .....	4
Figure 2: Organisation matricielle d'EAMO .....	5
Figure 3 : Schéma de l'environnement portuaire.....	7
Figure 4 : De nouveaux enjeux pour le port – Source : Cluster Maritime Français .....	8
Figure 5 : Déroulement de la mission.....	9
Figure 6 : Déroulement de la missions - Identification des enjeux portuaires .....	10
Figure 7 : Identification des enjeux portuaires « Green & Smart » .....	12
Figure 8 : Déroulement de la mission - Etat des lieux des ports.....	13
Figure 9 : Carte du port du GPM de Nantes-Saint Nazaire – Source : site internet du GPM Nantes-Saint Nazaire [3] .....	15
Figure 10 : Localisation des milieux naturels du site portuaire Donge-Est - Source : Plan de gestion de Donges-Est [4].....	16
Figure 11 : Déroulement de la mission - Identification des compétences internes .....	17
Figure 12 : Déroulement de la mission - Croisement des compétences .....	18
Figure 13 : Méthode de hiérarchisation des services à privilégier .....	19
Figure 14 : Déroulement de la mission - Identification des axes de développement .....	20
Figure 15 : Matrice hiérarchisant les services à privilégier .....	20
Figure 16 : Structure d'une digue à talus – Source : [7] .....	23
Figure 17 : Blocs artificiels pour ouvrages maritimes – Source : [7] .....	23
Figure 18 : Synthèse analyse ACCROPODE™ CEM I / Enrochement .....	27
Figure 19 : Synthèse analyse ACCROPODE™ CEM III B / Enrochements.....	28
 Tableau 1 : Analyse émissions CO2e - Fabrication et extraction des matériaux.....	 26

# 1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

J'ai effectué mon stage de 4<sup>ème</sup> année au sein du groupe Artelia, au sein du site basé à Echirolles. Née de la fusion de Coteba et Sogreah en 2010, Artelia est un groupe de conseil, d'ingénierie et de management qui regroupe plus de 6000 collaborateurs présents en Europe, Afrique, Moyen-Orient, Asie, ainsi qu'en Amérique. La taille importante du groupe permet d'offrir un large éventail de compétences répondant à des projets issus de secteurs multiples. Cette pluridisciplinarité représente un atout majeur pour le groupe car l'expertise pour un unique projet nécessite une agrégation de plusieurs compétences distinctes.

Le groupe exerce ses compétences dans 9 domaines d'activité :

- le maritime,
- le bâtiment,
- l'industrie,
- l'eau,
- le multi-sites (intervention simultanée sur plusieurs sites),
- l'environnement,
- l'énergie,
- le transport,
- la ville,

Pour traiter ces domaines d'activité, la ressource humaine et leurs compétences sont regroupées dans 9 Buisines Unit (BU) qui regroupent chacun plusieurs domaines d'activité (voir [Figure 1 – Organigramme circulaire du groupe ARTELIA](#)) :

- Asie, Inde & Amériques
- Bâtiments Ile-de-France
- Bâtiments Régions & Equipements
- Eau & Afrique Moyen-Orient
- Europe & Retail
- Industrie
- Mobilités & Infrastructures
- Villes & Territoires
- Nordics

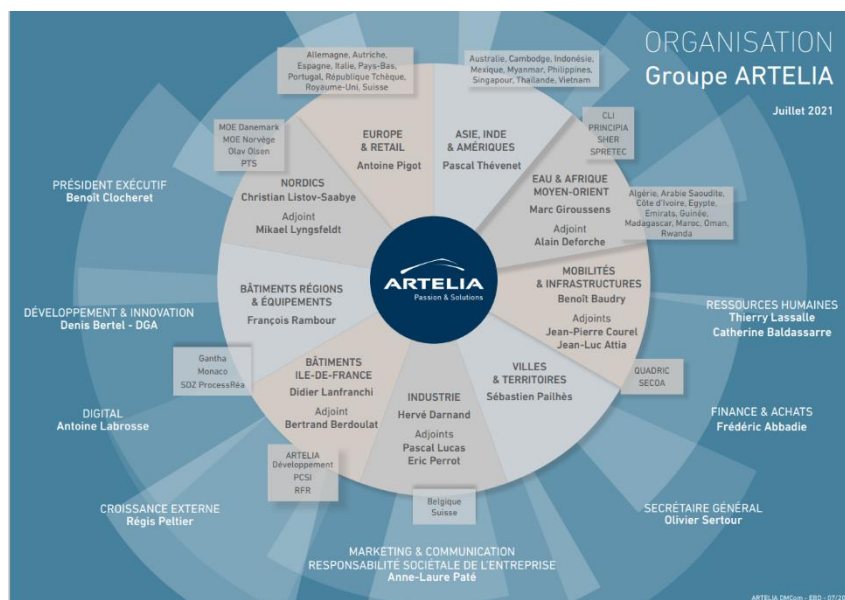


Figure 1: Organigramme circulaire du groupe ARTELIA

Mon stage s'est déroulé au sein du BU Eau & Afrique Moyen-Orient (EAMO). Ce BU travaille sur 4 domaines d'activité : l'Eau, l'Energie, le Maritime et l'Environnement. EAMO est organisé de façon matricielle hiérarchisée selon des « compétences » et des « activités » (voir [Figure 2 - Organisation matricielle d'EAMO](#)). Un collaborateur peut soit appartenir à une compétence, soit à une activité, soit à l'une et l'autre à la fois.

Appartenir à une compétence revient à travailler sur des sujets techniques. Cette expertise technique peut ainsi être appliquée au développement d'outils internes de dimensionnement, ou à des projets de conception d'ouvrage ou d'aménagement du littoral. Appartenir à une activité revient principalement à la direction de projet. Dans cette situation, le collaborateur manipule plusieurs compétences techniques tout en ayant une vision plus globale de l'ensemble des enjeux commerciaux pour Artelia.

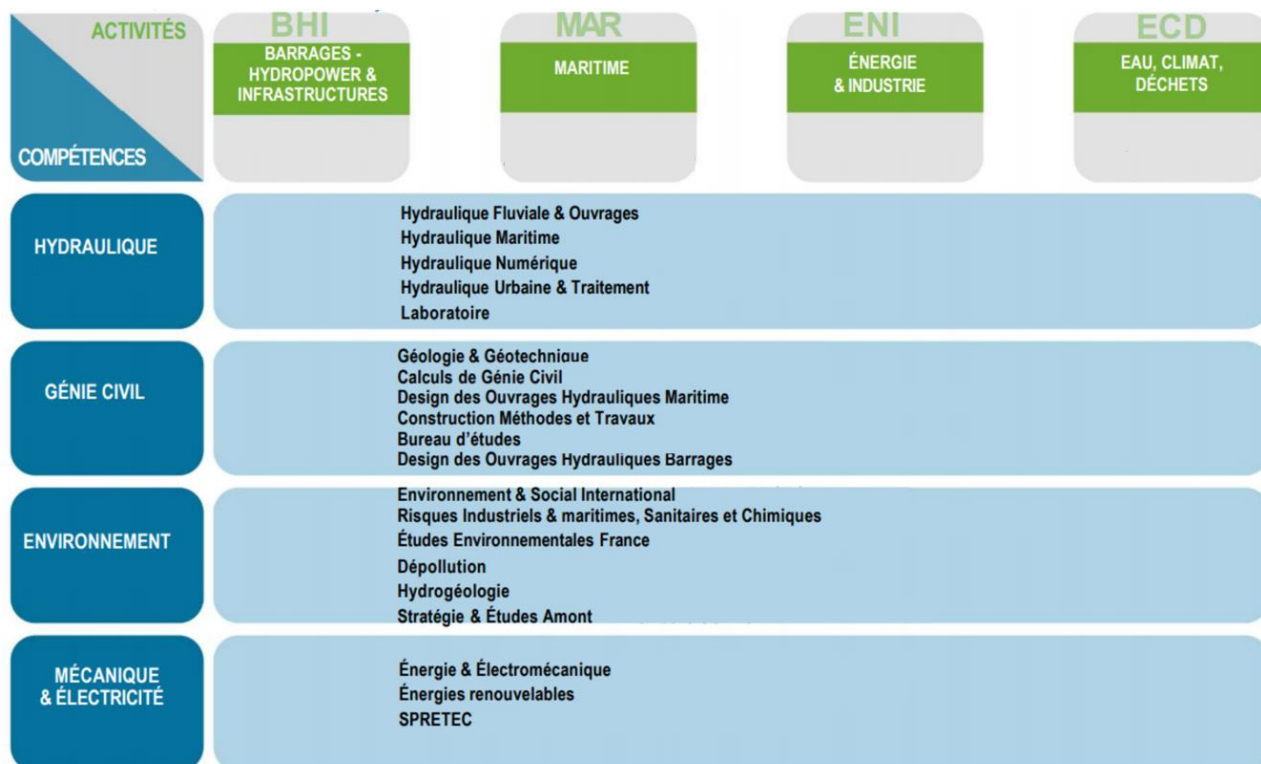


Figure 2: Organisation matricielle d'EAMO

C'est au sein de l'entité EAMO et dans le cadre de l'activité Maritime de celui-ci que s'est développé mon stage sur les « Green & Smart ports ». Le stage s'applique à l'ensemble de l'activité Maritime du BU car ces deux approches ne s'appliquent pas à une unique compétence technique mais à la stratégie globale de l'entité.



## 2. PRESENTATION DE LA MISSION

Le stage a pour but de revoir l'approche actuelle de conception portuaire en intégrant tous les nouveaux aspects environnementaux, énergétiques et territoriaux qui inspirent la démarche « Green » et « Smart ». L'objectif est d'identifier, sur la base d'un état des lieux des développements récents des ports et d'informations techniques complémentaires, une stratégie amont pour concevoir et développer des projets portuaires selon cette nouvelle approche « Green & Smart ».

Tout comme l'aménagement du territoire, cette démarche « Green & Smart » ports sollicite des compétences diverses et élargies intégrant l'écologie, l'économie, le social, l'énergie, le droit, etc.

Pour cette raison, il a été souhaité que le stage soit pris en charge par un profil d'ingénieur généraliste ayant une vision globale pluridisciplinaire des enjeux que cela implique, plutôt que par un ingénieur portuaire ayant un profil très technique sur un domaine particulier.

### 2.1. DEFINITIONS

Qu'entendons-nous par le « Green port » et le « Smart port » ? La première étape du travail a été d'étudier ce que regroupait ces deux approches. Tout au long du stage la compréhension du sujet a permis d'affiner la définition de ces nouvelles problématiques pour en venir au résultat suivant :

- Le « Green port » est un port au service de la performance environnementale. Cela se traduit par deux enjeux principaux :
  - la limitation de son impact sur le changement climatique, à la fois par des mesures d'atténuation en décarbonant l'activité du port, et par l'adaptation du territoire et des infrastructures au changement climatique
  - la participation à la préservation de l'environnement qui comprend les facteurs biotiques et abiotiques associés à celui-ci.
- Le « Smart port » est un port au service de l'efficacité et la performance dont l'application de technologies numériques permettent d'optimiser et de fluidifier la chaîne logistique. Par l'optimisation ou le monitoring, l'enjeu peut aussi être environnemental. Dans ce cas on retrouve une passerelle entre le « Green port » et le « Smart port ».

## 2.2. LES ENJEUX DU STAGE

Les compétences traditionnellement concernées par la conception et le développement portuaire intègrent les aspects d'hydrauliques maritimes, les aspects structurels et propres au génie-civil pour la conception des quais sur lesquels les navires amarrent et sont chargés/déchargés, ainsi que l'arrière-quai qui sert dans le cas des ports commerciaux de zone de stockage pour les marchandises en transit (voir [Figure 3 – Schéma de l'environnement portuaire](#)).

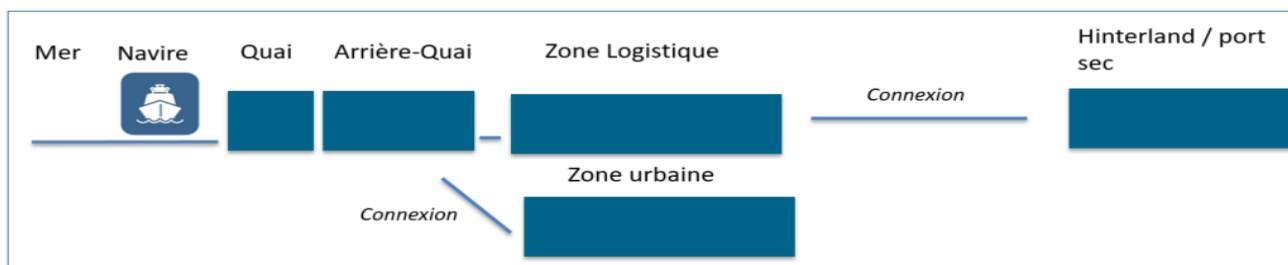


Figure 3 : Schéma de l'environnement portuaire

Or, aujourd'hui la démarche conceptuelle concernant les ports de commerce considère le port plus globalement comme une plateforme importante d'échanges commerciaux. L'aménagement du territoire s'y retrouve alors modifié.

L'activité économique que le port engendre a pour effet de développer une zone logistique composée d'entreprises juste derrière l'arrière-quai pour faciliter l'approvisionnement et l'export des marchandises. Ce regroupement représentant un potentiel de travail important, c'est une source d'attractivité pour les populations. Ainsi, en parallèle de la zone logistique, une zone urbaine se développe acculant le port maritime et le coupant d'espaces potentiels supplémentaires pour s'étendre. Le port se voit alors dans l'obligation de développer un port sec (ou hinterland) dans l'arrière-pays. Cette zone logistique permet ainsi de stocker des marchandises. Pour réduire la congestion dans la zone logistique et urbaine, l'hinterland est souvent relié par une voie ferroviaire et/ou fluviale mais une partie importante des marchandises transitent tout de même par voie routière.

L'impact du port sur les zones logistiques et urbaines ainsi que la pression qu'entraîne ces territoires sur le port, exige d'élargir le périmètre d'application de l'autorité portuaire. Cette proximité et le lien direct qui se développe entre ces trois territoires engendre de nouveaux enjeux à la fois économiques, sociétaux, environnementaux, énergétiques et réglementaires avec lesquels le port doit jongler. En effet, la demande croissante des autorités publiques et scientifiques, ainsi que de la population pour prendre en considération de manière plus stricte les impacts environnementaux engendrés par le système de commerce mondialisé, pousse les ports à s'aligner et réduire leurs impacts. Par ailleurs, l'espace portuaire représente un consommateur d'énergie important. Dans sa progression pour réduire la pression environnementale locale et internationale qu'il impose, la révision du système énergétique du port permet d'initier sa transition écologique dans un domaine ayant un poids important. Ces nouveaux enjeux n'appartenant plus exclusivement à l'activité hydraulique, des structures et du génie civil, nous observons que le périmètre d'application des domaines d'activité et des besoins du port sont élargis. C'est donc toute l'activité maritime, traditionnellement en relation étroite avec les ports, qui se voit dans l'obligation de développer de nouvelles compétences pour répondre à ces besoins. (voir [Figure 4 – De nouveaux enjeux pour le port](#)).





Figure 4 : De nouveaux enjeux pour le port – Source : Cluster Maritime Français

La prise en compte de ces nouveaux enjeux est également stimulée par plusieurs investissements européens et nationaux, notamment :

- le Green Deal du Programme européen Horizon 2020 (H2020). Cet appel à projet « *Building a low-carbon, climate resilient future: Research and innovation in support of the European Green Deal (H2020-LC-GD-2020)* » intègre un volet mobilités : « *LC-GD -5-1-2020 : Green airports and ports as multimodal hubs for sustainable and smart mobility* » (source : European Commission – *Founding and Tender opportunities*) pour inciter les ports à rendre les transports considérablement moins polluants.
- le plan de relance national français : ce plan de relance de 2020 prévoit quant à lui 175 millions d’euros afin de renforcer de la compétitivité économique des ports et accompagner leur transition écologique. (Plan de relance 2020, ref. [1]):

L’exemple de ces deux investissements récents montrent le poids de la demande publique pour développer des solutions « Green » et « Smart » dans les ports.

## 2.3. LES OBJECTIFS DE L’ENTITE MARITIME & PORTS D’ARTELIA

Par la définition de ces nouvelles approches « Green » et « Smart », nous constatons une diversification des enjeux portuaires. Ainsi, l’offre d’ingénierie maritime doit elle aussi évoluer pour répondre aux nouveaux besoins des ports. C’est dans ce contexte que ce déroule le stage sur les « Green & Smart ports ».

Tous les 5 ans des groupes de travail sont formés à Artelia pour mener un travail réflexif sur la stratégie commerciale de l’entité. C’est dans ce contexte qu’a été créé un groupe de travail au Maritime relatif au portuaire et aux chaînes de valeur associées pour réviser la stratégie interne à l’horizon 2025. Le stage entre donc dans la phase de consolidation de l’expertise du groupe de travail pour comprendre les nouveaux enjeux stratégiques sur lesquels Artelia doit se positionner. L’appropriation de ces nouveaux marchés est une initiative maritime mais qui nécessite le regroupement de compétences extérieures à l’entité pour développer des nouveaux axes de marchés. L’atout principal du groupe étant la multidisciplinarité des compétences internes, le travail consiste à faire émerger des synergies entre les équipes pour développer des nouveaux services d’ingénierie en lien avec l’aménagement des ports qui évolue.

### 3. DEROULE DE LA MISSION

#### 3.1. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthode de travail utilisée pour le stage a d'abord consisté à répertorier les nouvelles attentes et nouveaux enjeux des ports d'aujourd'hui et de demain afin d'identifier les 'nouveaux' services d'ingénierie à développer pour répondre aux démarches « Green & Smart ports ». L'approche est donc la *suivante (voir Figure 5 –Déroulement de la mission)* :

- Prise de connaissance et analyse de ces dites démarches « Green » & « Smart » dans un contexte d'aménagement territorial,
- Etat des lieux de plusieurs grands ports de commerce sur leurs perspectives de développement de ces axes,
- Identification et analyse des tendances majeures de développement portuaire au regard d'un territoire portuaire élargi : enjeux, leviers, démarches,
- Analyse des différents services d'ingénierie d'ARTELIA pouvant intervenir dans les nouveaux enjeux portuaires (entretien de collaborateurs de plusieurs équipes),
- Mise en parallèle et croisement des enjeux/leviers et des compétences. Travail préparatoire à une nouvelle « offre commerciale » qu'Artelia devra mettre en place,
- Exercice pratique d'adaptation d'un outil interne environnemental (CarbonEval) aux digues portuaires afin de tenter une conception plus 'bas carbone'. Cette approche quantitative du sujet est associée à la démarche « Green port » par les enjeux auxquels elle répond.

La méthode mise en œuvre repose sur l'identification des enjeux et leviers à prendre en compte afin de mener une approche « Green & Smart ports ». Afin de préciser le sujet, sa définition et son périmètre d'application, un travail bibliographique a permis l'état des lieux des moyens mis en œuvre par 7 ports commerciaux, ainsi que leurs perspectives à moyen et long termes. Les potentiels leviers dégagés ont été mis en parallèle avec les compétences au sein du Groupe Artelia. Ce croisement des compétences et leviers a permis de hiérarchiser des services d'ingénierie à développer par ordre de priorité.

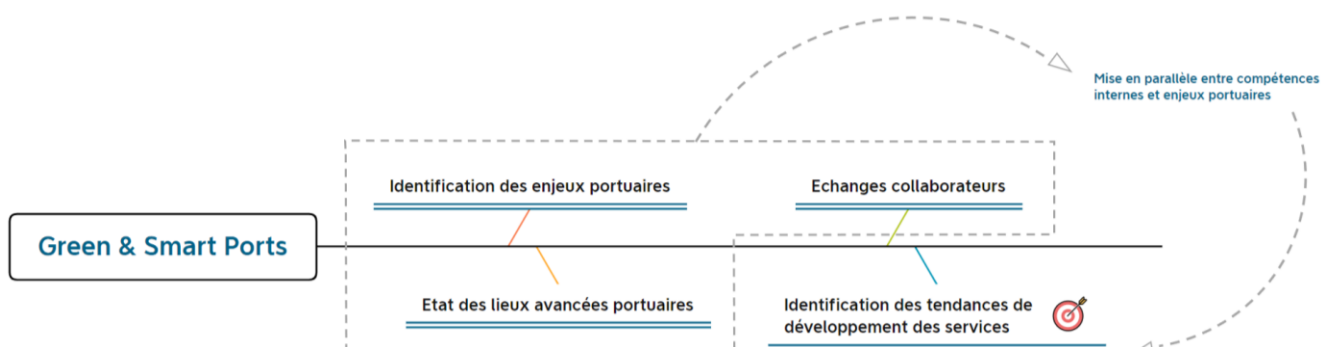


Figure 5 : Déroulement de la mission

### 3.2. IDENTIFICATION DES ENJEUX PORTUAIRES

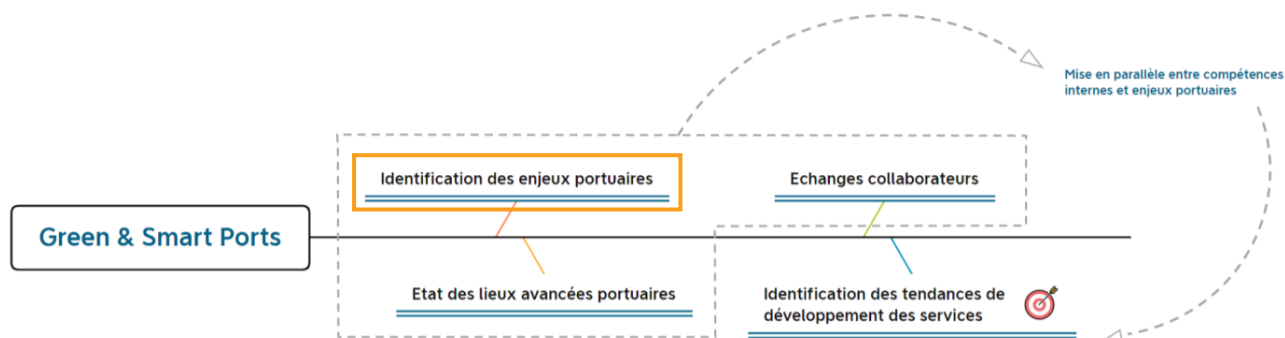


Figure 6 : Déroulement de la missions - Identification des enjeux portuaires

Cette première étape d'identification des enjeux portuaires a pour but l'appropriation et la compréhension globale du sujet de stage mais aussi la concrétisation des approches « Green » et « Smart » par l'identification d'actions associées à ces termes. En effet, ceux-ci sont fréquemment utilisés pour des raisons « commerciales » et d'affichage, mais de manière approximative et sans définition précise. Ce travail d'identification des enjeux a donc permis d'appréhender plus précisément ce dont on parle et de se familiariser avec le périmètre d'application de ces termes.

L'étude bibliographique des rapports des solutions techniques apportées par des entreprises participant aux Webinaire « Ports Durables » ainsi qu'au « Assises du Port du futur » de 2018, 2019 et 2020 organisées par le Cerema [2] [3] [4], couplée à des connaissances générales ont permis d'identifier les enjeux portuaires principaux associés aux approches « Green & Smart Port ».

Les connaissances qu'il a fallu exploitées afin d'analyser et mettre en évidence les principaux enjeux à prendre en compte pour initier une approche « Green & Smart port », s'appliquent à l'environnement (cadre naturel dans lequel le biotope vit et qui est protégé par l'écologie), l'écologique (analyse les impacts d'actions anthropiques sur l'écosystème), et aux enjeux climatiques. Ainsi, des connaissances sur des moyens à la fois énergétiques et d'aménagement du territoire existants ou pouvant réduire l'impact anthropique actuel ont pu être exploités afin d'identifier les leviers potentiels à développer. Les enjeux portuaires dégagés sont au nombre de 3 :

- la préservation de l'environnement,
- l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, et
- l'optimisation et l'efficacité de la chaîne logistique.

Le premier enjeu identifié soulevant une nécessité de préserver de l'environnement se traduit à la fois par des actions favorisant la biodiversité mais aussi réduisant et traitant les impacts anthropiques négatifs s'exerçant sur les facteurs biotiques et abiotiques. Construire une stratégie favorisant la biodiversité peut convoquer plusieurs facteurs tels que la création d'habitats propres à l'espèce à réintroduire, ou le suivi des espèces présentes afin de déterminer l'état écologique du milieu et l'efficacité des mesures mises en place.

Le second enjeu identifié est l'atténuation et l'adaptation au changement climatique. Cela regroupe à la fois des mesures de réduction des émissions des Gaz à Effet de Serre (GES), ainsi que l'aménagement du territoire pour prendre en compte ces nouvelles contraintes climatiques (atténuation et adaptation au phénomène).

Le changement climatique est une préoccupation d'autant plus importante pour les ports qu'ils sont, par leurs situations géographiques, des territoires vulnérables. En effet, les aménagements portuaires sont soumis aux aléas marins qui exercent des actions hydrauliques importantes. Le changement climatique entraîne l'augmentation de la magnitude et de la fréquence des événements tempétueux, des surcotes extrêmes (dépassement anormal du niveau des marées), ainsi que la remontée du niveau statique de la mer estimée à +26 à +77 cm d'ici 2100 pour un réchauffement planétaire de +1.5°C selon le résumé de 2019 du GIEC à l'intention des décideurs [5]. Ce dernier phénomène entraînera des risques de submersion, l'accélération du processus d'érosion, l'accroissement de la salinisation, ainsi que la hausse de la fréquence et de la magnitude des surcotes selon (Craft et al., 2009 – ref. [6]). Ces aléas sont d'autant plus importants à prendre en compte dans l'aménagement du territoire portuaire et sa stratégie à long terme, que ces entités représentent un enjeu économique majeur pour le territoire régional et/ou national, voire européen. En effet, les ports sont un des principaux supports de l'activité économique des territoires par la situation amont qu'ils représentent dans la chaîne économique d'un territoire par leur fonction d'approvisionnement en marchandises. D'après *L'Institut français des relations internationales (Ifri)*, le commerce maritime représente 90% du commerce mondial en volume et 80% en valeur. Un aléa a ainsi le pouvoir de paralyser l'économie d'un territoire.

Les enjeux liés à l'environnement et au changement climatique sont plutôt associés au registre « Green » mais peuvent mettre en œuvre des leviers dits « Smart » pour répondre à ces enjeux. C'est notamment le cas pour la surveillance de la qualité de l'air. L'utilisation de technologies numériques pour la surveillance constituent un levier associé au registre « Smart » mais dont l'enjeu est environnemental. De plus, l'optimisation et l'efficacité des ports est un enjeu associé à l'approche « Smart » mais dont les leviers peuvent aussi permettre de répondre à des enjeux « Green ». En effet, l'exemple de l'optimisation du transport permet de réduire la congestion et de fluidifier les opérations de transport, mais aussi de diminuer les émissions de GES.

Leviers propre au secteur du transport :

- Massification des flux,
- Report modal, ou encore,
- Applications numériques permettant d'optimiser l'itinéraire des marchandises ;

Cela entraîne un gain financier et de temps, et induit par la même occasion une réduction des émissions de GES liées au transport. Nous pouvons ainsi constater une complémentarité de ces deux approches « Green » et « Smart » qui explique ce double sujet dans l'intitulé du stage.

A ce dernier enjeu « Smart » est aussi associé la sécurité du port en partie garante de son efficacité, ainsi que de l'optimisation de la chaîne logistique grâce à l'utilisation du numérique. La maintenance préventive qui peut être mise en place par l'utilisation du numérique, par exemple avec des capteurs transmettant l'état des quais et des bollards (masse permettant aux navires de s'amarrer), permet d'optimiser la chaîne logistique en réduisant le temps d'inactivité d'un quai pour cause de travaux. En parallèle des opérations de maintenance, l'optimisation des opérations de manutention du port provoque aussi un gain économique, voir écologique dans certains cas, avec par exemple des conteneurs connectés informant sur leurs départs, arrivées, contenants, emplacements de stockage, etc. En effet, la fluidité de la chaîne logistique peut réduire les émissions de GES liées aux engins de manutention qui sont utilisés de manière plus efficace et sans opérations parasites. La motivation première pour les ports d'investir dans de telles approches « Smart » reste malgré tout économique par le gain de temps et financier que l'optimisation des opérations génère.

Après la compréhension globale des approches « Green » et « Smart », cette étude a eu pour but de répertorier tous les enjeux associés à la démarche « Green & Smart port » ainsi que les objectifs et leviers

permettant de réduire les impacts portuaires sur ces enjeux. Un tableau Excel synthétisant les enjeux, objectifs et leviers associés développés dans les paragraphes précédents, ainsi que des exemples de solutions développées par certains ports ou certaines entreprises développant du service portuaire, a été constitué afin d'avoir une vision globale des enjeux. Ce tableau a été repris pour un usage de communication sous forme de diagramme (voir *Figure 7 - Identification des enjeux portuaires « Green & Smart »*). On retrouve en bleu chaque enjeu identifié, en vert les objectifs auxquels répondre et en orange les leviers d'action pouvant être mis en place.

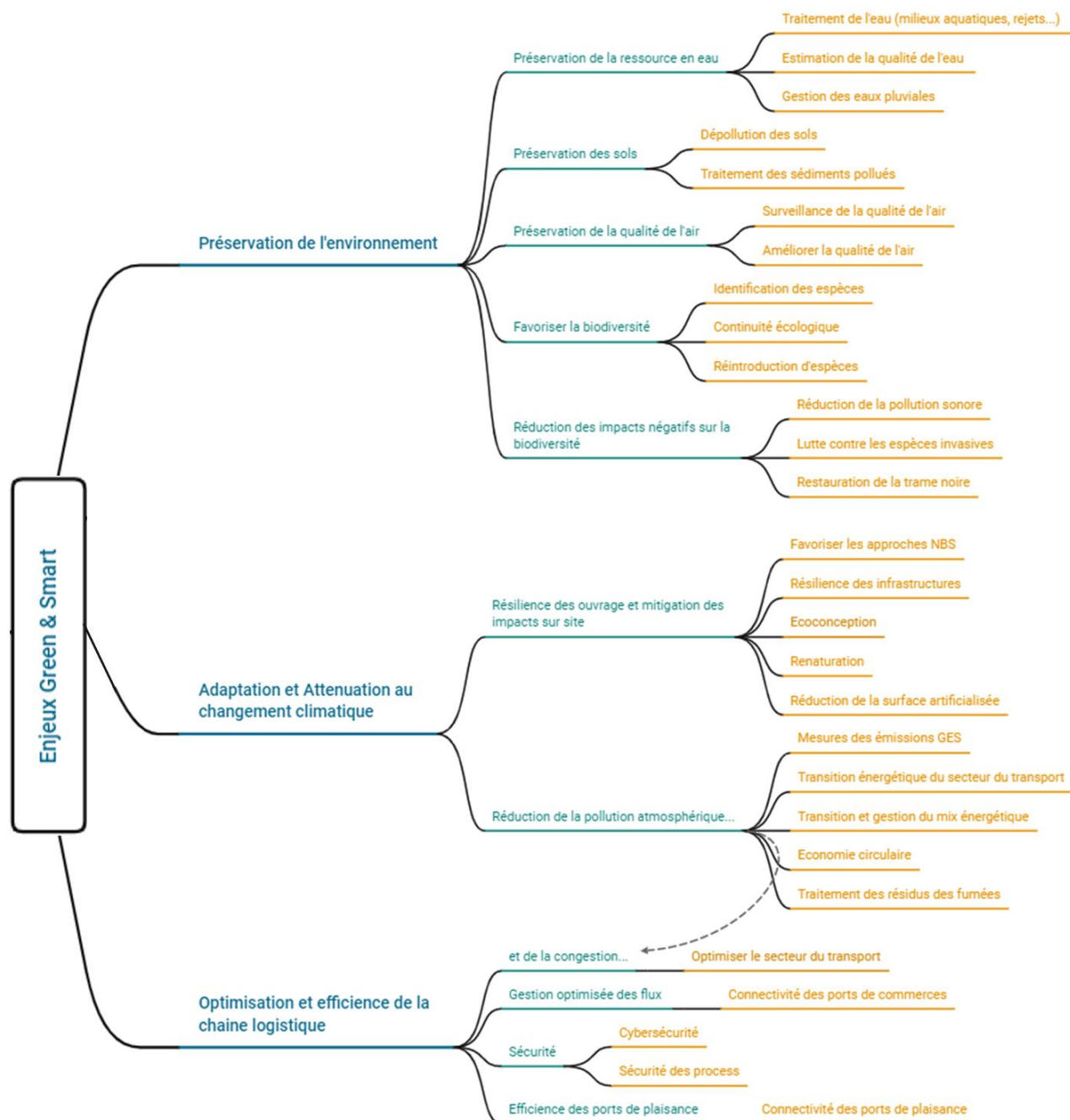


Figure 7 : Identification des enjeux portuaires « Green & Smart »

### 3.3. ETATS DES LIEUX DE PLUSIEURS GRANDS PORTS MARITIMES

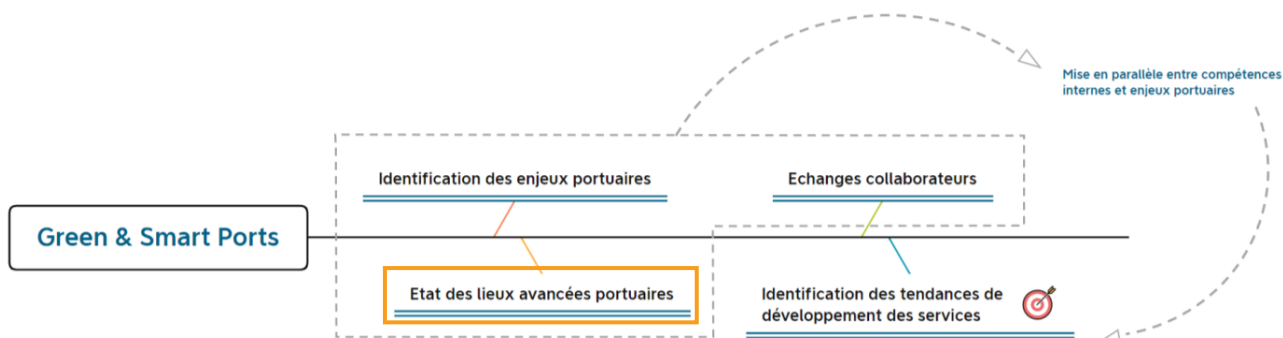


Figure 8 : Déroulement de la mission - Etat des lieux des ports

Artelia Maritime & Ports travaille au plus près avec les ports français (métropole et outre-mer) mais aussi avec des ports étrangers (à l'export), principalement en Afrique et au Moyen Orient. Ces ports représentent une part importante de la clientèle de l'entité.

Il a donc été jugé important de faire un état des lieux, sur les perspectives et stratégies de développement pour les années avenir et de se documenter sur leur état d'avancement sur ces nouveaux enjeux « Green » et « Smart ». L'étude d'un certain nombre de grands ports de commerce à la fois en France et à l'étranger, déjà connus du service Maritime & Ports devrait permettre à l'entité de définir plus précisément ses futurs axes de marchés et les services d'ingénierie à développer. La connaissance globale des projets de ces ports permet d'être plus percutant lors d'une visite commerciale ou d'une réponse d'un appel d'offre. Par le choix des ports étudiés, nous constatons le contexte international dans lequel s'inscrit le stage à la fois concernant l'application de l'offre qui sera développée en aval du stage mais aussi durant la phase d'expertise de la stratégie commerciale d'Artelia qui se construit durant le stage.

#### 3.3.1. Sept ports étudiés

Sept ports commerciaux ont donc été étudiés :

- HAROPA regroupant les ports de Le Havre, Rouen, Paris.
- Marseille Fos
- Nantes-St Nazaire
- Rotterdam
- Anvers
- Hambourg
- Québec

Le choix de travailler sur ces 7 ports commerciaux de même division a été motivé par plusieurs motifs :

- Le statut de potentiels clients que représentent les ports français HAROPA, Nantes- Saint-Nazaire et Marseille Fos. La prospection sur ces ports facilite leur démarchage pour des potentiels marchés concernant les « Green & Smart Ports ».



- Les trois autres ports européens étudiés (Rotterdam, Anvers et Hambourg) sont considérés comme précurseurs sur la prise en compte de ces enjeux. Ce sont des leaders européens et internationaux. Ce phénomène a été confirmé par l'annonce en mai 2021 des leaders des 2 consortium du Green Deal : le port de Rotterdam et le port d'Anvers. Un budget de l'ordre de 15-25 millions d'euros ont été attribués à chacun des 2 consortiums afin de proposer des démonstrateurs de projets sur au moins 5 des 8 thèmes ci-dessous (*European Commission – Founding and Tender opportunities*) :
  - Production système d'approvisionnement et de stockage d'énergie
  - Logistique et opérations vertes
  - Gestion des flux optimisée
  - Utilisation du numérique pour des effets environnementaux positifs
  - Multimodalité
  - Mécanismes du marché et les actions réglementaires (non technologiques) potentielles qui peuvent permettre la mise en œuvre de solutions à faibles émissions
  - Dispositif de gouvernance multi-acteurs
  - Neutralité en GES et pollution minimale
- Enfin, l'étude du port de Québec a été motivée pour avoir une vision de l'état d'avancement d'un port outre-Atlantique. Ce travail d'analyse a pu être approfondi grâce à M. Nicolas Paquet réalisant une thèse sur le sujet suivant : « *Prospective maritime, planification portuaire stratégique et gestion des grands projets : Repenser la gouvernance de l'interface ville-port à Québec* ». Son contact a été permis grâce à notre tuteur commun : M. Abdel Illah Hamdouch.

### 3.3.2. Perspective d'étude

Quatre autres ports ont paru intéressant à étudier car ceux-ci représentent des potentiels commerciaux importants ou sont considérés comme en avance sur la prise en compte des enjeux « Green & Smart ».

- Port de Dunkerque. Suite à une visite commerciale au port de Dunkerque, l'autorité portuaire s'est relevée très intéressée à la perspective de prendre en compte ces nouvelles approches mais nécessite une assistance que l'expertise de conseil d'Artelia pourrait lui apporter.
- Port de Copenhague. Il a été listé dans les 10 ports les plus avancés dans le développement de l'approche « Smart » par le classement de l'entreprise Sinay.
- Port de Barcelone. Il appartient au second consortium pour le Green Deal du H2020, dirigé par le port d'Anvers, il a donc été jugé judicieux de l'étudier car cela reflète d'une certaine avance sur ces questions.
- Port de Valence. Partenaire du consortium du GreenDeal.

Néanmoins, faute de temps, il a été jugé préférable de mettre l'étude de ces ports entre parenthèse pour le moment et d'avancer sur le sujet. Ces quatre ports pourront ainsi être étudiés plus tard après le stage.

Concernant les ports étudiés, on peut remarquer que malgré le fait que les ports africains et moyen-orientaux représentent une part non négligeable de la clientèle d'EAMO, ceux-ci n'ont pas fait l'objet d'une étude plus approfondie. Il a été jugé préférable de se concentrer dans un premier temps sur les ports européens dont l'accès aux informations est plus simple. Quant aux ports asiatiques, ils ne représentent pas un marché potentiel pour Artelia qui n'entretient aucun lien privilégié avec ces entités. Que ce soit par l'ampleur économique et spatiale qu'ils représentent, ou la présence d'entreprises implantées localement et qui entretiennent déjà des offres commerciales solides avec les ports asiatiques, ce marché va au-delà de l'offre que peut proposer Artelia.

Les 7 ports étudiés sont donc des ports principalement européens et de même division, c'est-à-dire de rayonnement économique relativement proche (sept le port de Nantes-St Nazaire dont le rayonnement reste plus régional mais qui entretient un lien étroit avec l'équipe EAMO basé à Nantes dont font partie M. Sébastien Ledoux et M. Jean-François De Calonne, tous deux co-tuteurs du stage). Les ports de commerces sont le secteur d'activité principal d'EAMO. Ils représentent 80% du chiffre d'affaires du BU. Leurs activités économiques les poussent à réduire leur pollution ainsi que d'optimiser leurs chaînes logistiques pour rester compétitif. Ce besoin de développer des approches « Green » et « Smart » est donc d'autant plus important relativement à celui des ports de plaisance où aucun mouvement national, ni européen, n'est réellement amorcé aujourd'hui. Aucune stratégie commune n'est développée jusqu'à présent ce qui a pour conséquence que seulement quelques initiatives individuelles sont portées par certains ports. Elles restent néanmoins faibles et à une échelle nettement inférieure de la stratégie généralisée des ports de commerce. Ces derniers représentent donc un potentiel commercial bien plus important pour Artelia que les ports de plaisance, c'est la raison pour laquelle les ports étudiés sont tous les 7 des ports commerciaux.

Pour chacun des 7 ports étudiés, une étude bibliographique des documents stratégiques des ports, des projets et actions menés, ainsi que des plans de gestion de leur territoire a permis d'édifier un état de l'art sur leurs situations actuelles et de se projeter sur leurs futurs besoins. Pour plus de détail sur les documents étudiés pour chaque port, une bibliographie a été insérée dans chacune des fiches compilées dans le document des livrables. Cette méthode reposant sur l'existant permet ainsi d'orienter les services d'ingénierie les plus intéressants à développer. Pour cela il a fallu mener une analyse pluridisciplinaire sur chaque port qui est constitué à la fois de territoires anthropisés et naturels. Par cette dualité, les ports cherchent à créer un équilibre qui permet de concilier à la fois les enjeux de développement économique du port, mais aussi écologiques et sociaux.

### 3.3.3. L'exemple du port de Nantes-St Nazaire

L'analyse du territoire du port de Nantes-Saint Nazaire met en évidence une capacité exemplaire de l'autorité portuaire à créer cet équilibre. En effet, la prise en compte des espaces naturels est particulièrement développée dans sa stratégie globale et principalement sur le site de Donges-Est, un des 7 sites portuaires du Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire, qui a fait l'objet de la rédaction d'un plan de gestion des espaces naturels de 2016-2025 (*Figure 9 - Carte du port du GPM de Nantes-Saint Nazaire*). Ce terminal pétrolier répond à la fois à des aspirations de développement économique du port tout en menant une politique de préservation de 9 typologies de milieux naturels différents (*Figure 10 - Localisation des milieux naturels du site portuaire Donge-Est*). Ces espaces naturels sont eux-mêmes destinés à plusieurs usages à la fois environnementaux, économiques et sociaux : préservation de la biodiversité, éco-pâturage, chasse, activité de recherche (oiseaux, amphibiens, insectes), inventaire faune-flore-habitats, communication, etc. Tout cela transmet une image positive d'un port « propre » et « vert » qui conduit à une attractivité économique.



Figure 9 : Carte du port du GPM de Nantes-Saint Nazaire – Source : site internet du GPM Nantes-Saint Nazaire [3]

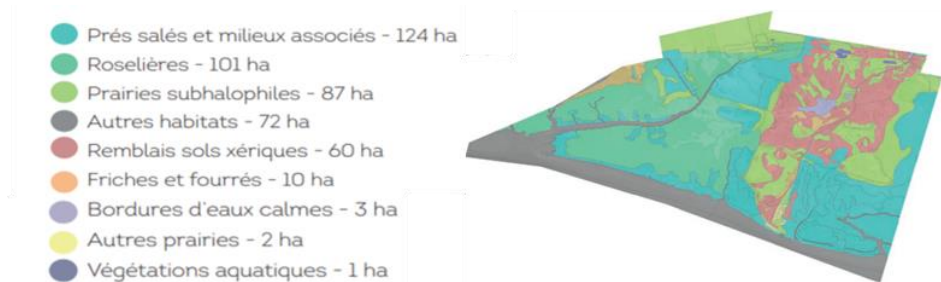


Figure 10 : Localisation des milieux naturels du site portuaire Donge-Est - Source : Plan de gestion de Donges-Est [4]

Selon l'analyse de l'état de l'art des ports étudiés, celui de Nantes Saint-Nazaire semble être le plus équilibré sur la prise en compte des 3 enjeux « Green & Smart ». En effet, la gestion de l'espace du site de Donges-Est affirme la part importante de la préservation de l'environnement dans la stratégie de gestion du territoire du port. Sa participation à plusieurs projets européens et programmes régionaux démontre une réelle prise en compte des problématiques liées à l'adaptation au changement climatique via la recherche de solutions pour réduire la part du transport routier (Smooth Port project) et développer à la fois les ENR, (PORTOS project) ainsi que la filière hydrogène (H2LV et VHyGO). Ces initiatives répondent à des enjeux environnementaux mais aussi économiques par l'innovation nécessaire et la retombée d'attractivité que cela représente. Pour ce qui est de l'approche « Smart », elle semble moins développée mais se concrétise tout de même en 2019 par l'organisation des « Hackathon Smart Port challenges » qui se basent sur le numérique pour répondre aux problématiques portuaires actuelles. L'étude du port de Nantes a donné lieu à une fiche synthèse qui reprend l'état d'avancement du port pour les 3 enjeux identifiés : l'atténuation et adaptation au changement climatique, la préservation de l'environnement, ainsi que l'efficacité et optimisation du port. Cette fiche prend en compte à la fois les projets réalisés et en cours, mais aussi les perspectives du port en accord avec sa stratégie de développement des approches « Green » et « Smart ». Voir fiche en annexe (*Annexe 1- Synthèse du port de Nantes*).

### 3.3.4. Livrables

Chaque port étudié a donné lieu à un rapport synthétisant pour chaque enjeu identifié, les projets réalisés ou en cours, ainsi que les perspectives envisagées. Cet état des lieux justifie ainsi une fiche synthèse pour chaque port comprenant ses points forts, ses points faibles et les pistes commerciales pour Artelia.

Une fois les 7 ports étudiés linéairement et indépendamment les uns des autres, la construction d'un tableau reprenant les enjeux, objectifs et leviers « Green » et « Smart », ainsi qu'une synthèse de l'état d'avancement de chaque port pour chaque objectif, permet d'avoir une vision globale de la situation et de pouvoir comparer chaque port de manière transversale (*Annexe 2 – Tableau enjeux des portuaires*). Pour chaque port, tous les objectifs se sont vus appliquer un code couleur. Cette couleur traduit l'avancement global d'un port sur cet objectif allant de l'objectif non traité ou sans information (jaune), à l'objectif maximal pouvant être atteint (vert). Cela permet de mener une étude comparative plus facilement entre les ports. Une courte description de l'objectif pour chaque port comprenant les principales mesures mises en place par ce dernier permet d'avoir une vision rapide. Pour plus de détail, il est possible de se référer au rapport du port concerné qui est structuré de la même manière que ce tableau, c'est-à-dire en fonction des 3 enjeux. Cette vision transversale du tableau en fonction des objectifs et non plus verticale en fonction des ports a permis d'établir une hiérarchisation de la priorité de chaque levier à développer pour Artelia, hiérarchisation sur laquelle nous reviendrons plus en détail prochainement.

### 3.4. IDENTIFICATION DES COMPETENCES INTERNES

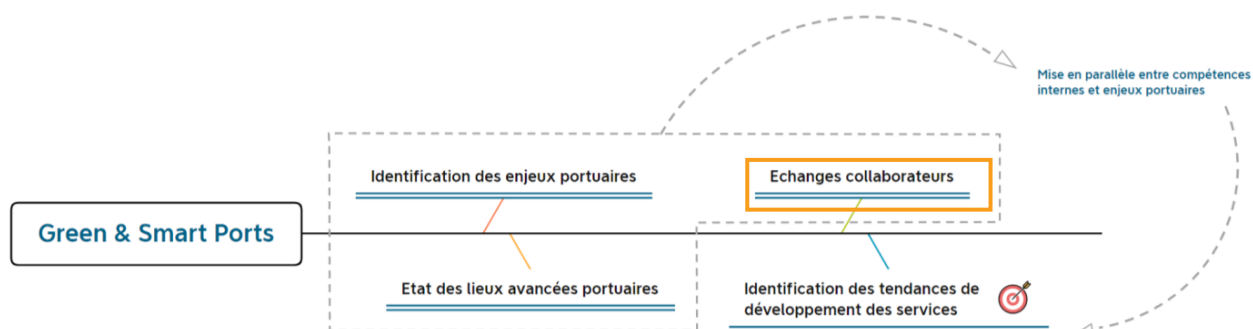


Figure 11 : Déroulement de la mission - Identification des compétences internes

#### 3.4.1. Objectifs

Une fois les enjeux et besoins portuaires pré-identifiés, la réflexion s'est centrée sur les compétences internes et présentes au sein du groupe Artelia pour cartographier plus en détails les compétences autour des « Green & Smart ports » et répertorier les domaines d'ingénierie désormais impliqués sur des « études de développement portuaire ». En effet, nous avons mis en avant précédemment un phénomène d'évolution de l'application de l'autorité portuaire qui s'étend aujourd'hui au-delà de la compétence maritime. Les besoins portuaires s'étendent aujourd'hui à :

- l'aménagement du territoire sur la réflexion de la multiplicité des usages ainsi que sur l'optimisation des connexions du transport multimodal ;
- l'énergie pour accompagner la transition des ports grands consommateurs d'énergie ;
- l'environnement qui nécessitent à la fois l'action d'écologues menant des études d'impact, ainsi que l'action de professionnels d'aide à maitrise d'œuvre permettant la modélisation de stratégies environnementales ;
- l'aide à la maitrise d'œuvre sur la digitalisation de certains services de manutention, de logistique et de monitoring.

Afin que l'expertise d'ingénierie et de conseil d'Artelia se développent à ces nouveaux enjeux portuaires et reste compétitive, des échanges entre les différents services de l'entité ont été organisés pour interroger quelques collaborateurs sur leurs compétences applicables aux leviers identifiés dans la phase amont du stage. Les profils interrogés sont des géographes, des experts environnements, des écologues, des professionnels spécialisés dans les services Smart ainsi que des professionnels du transport.

Une fois les profils généraux à interviewer identifiés grâce à l'étude amont des leviers « Green & Smart », il a fallu déterminer les collaborateurs à contacter. Pour cela, la connaissance de l'entreprise, des acteurs et services, ainsi que leurs interactions est nécessaire. Ma connaissance du groupe étant trop macroscopique et jeune, et n'étant familière qu'avec quelques équipes de EAMO, c'est avec l'aide de mes tuteurs que nous avons déterminé les collaborateurs avec qui échanger dans un premier temps sur cette double thématique. Outre le travail d'identification des collaborateurs, cela m'a permis de cerner plus précisément l'activité d'Artelia dans d'autres équipes que dans l'entité Maritime & Ports.

### 3.4.2. Application

Durant les échanges il a donc fallu que je m'intègre pleinement dans l'organisation d'Artelia pour dialoguer de manière constructive avec tous les collaborateurs. Ceux-ci étant spécialisés dans leurs domaines d'études précis mais n'appliquant pas toujours leurs compétences au maritime, un travail d'adaptation à la fois pour exposer les enjeux nouveaux portuaires tout en faisant le lien avec leurs compétences a été nécessaire.

Cela m'a permis d'exploiter une capacité d'analyse nécessitant la connaissance d'enjeux et problématiques générales propres à ces domaines, par exemple celui de l'énergie et du stockage de l'électricité, tout en gardant en tête l'enjeu macroscopique que cela représente à l'échelle portuaire.

C'est donc un travail de va et vient : partir d'enjeux très globaux et identifier les leviers d'actions ; une fois les leviers relevés, approfondir avec des spécialistes qui connaissent les enjeux propres à ces leviers ; puis reprendre du recul pour conduire une réflexion plus globale sur ce qui est nécessaire à développer pour Artelia. C'est une réflexion pluridisciplinaire qui jongle avec plusieurs domaines d'activités très différents mais dont le périmètre d'application peut être commun.

Comme synthèse de 8 entretiens, trois cartes mentales, une pour chaque enjeu, ont été élaborées en reprenant les compétences exploitables dans l'approche « Green & Smart ports » des équipes. Pour cela, chaque couleur correspond à une équipe d'Artelia équipes (voir en [Annexe 3 : Cartes mentales-Compétences internes](#)). Cette représentation graphique permet d'avoir une vision globale des compétences internes pour chaque objectif et ainsi d'organiser plus facilement des synergies entre les équipes pour travailler sur l'adaptation de nouveaux services d'ingénierie. La synthèse que permet ce support est un atout afin d'identifier rapidement l'équipe ou la personne à contacter pour un besoin particulier. Chaque entretien ayant donné lieu à la rédaction d'une synthèse de l'échange, l'utilisateur de la carte mentale peut se référer à ces fiches pour plus de précision sur une compétence ou une équipe donnée.

### 3.5. CROISEMENT DES RESULTATS

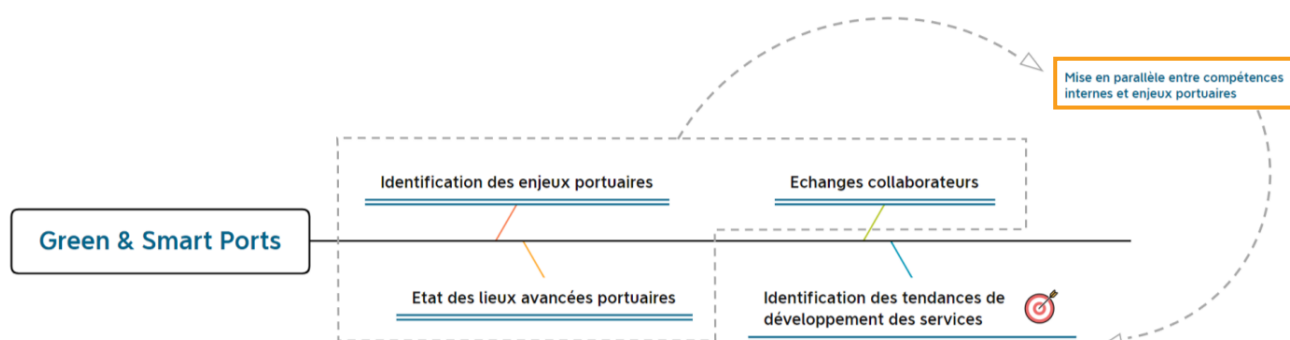


Figure 12 : Déroulement de la mission - Croisement des compétences

La finalisation de la démarche est l'identification des nouveaux services d'ingénierie à développer ou à adapter et l'identification d'axes de marchés potentiels pour Artelia. A ce stade, il a donc fallu commencer à hiérarchiser les potentiels services « Green & Smart Ports » commercialisables par Artelia. Cette hiérarchisation permet d'identifier les services à privilégier dans le développement d'axes de marchés.

Pour cela, il a fallu croiser les compétences internes avec les objectifs « Green » et « Smart » identifiés. Pour chaque objectif, les compétences internes présentes ont été répertoriées pour constater les leviers pouvant

ou ne pouvant pas être développés. Parallèlement, chaque objectif a été qualifié de « prioritaire » ou « secondaire » en fonction de l'état des lieux des ports. En reprenant le tableau synthétisant l'état d'avancement des ports (*Annexe 2 – Tableau enjeux des portuaires*), les objectifs ont été qualifiés de prioritaires pour ceux dont la couleur dominante est le vert, comme c'est le cas de la transition énergétique des ports, l'optimisation du secteur du transport, ou encore de la préservation de la biodiversité ; car cela signifie que la demande est forte. En effet, ces objectifs sont traités en priorité par les ports pour amorcer leur démarche « Green » et « Smart », les enjeux sur ces objectifs sont donc importants et à développer au plus vite pour l'autorité portuaire. Les objectifs dont la couleur dominante est le jaune (le traitement des résidus de fumées des navires, la résilience des ouvrages, la sécurité, la préservation de l'hydrosphère liquide et du sol) ont été identifiés comme secondaires. Ils sont néanmoins pleinement légitimes et nécessaires dans la prise en compte des enjeux environnementaux, climatiques et d'efficacité portuaire, mais semblent répondre aux objectifs d'un nombre de projets et d'actions moins important. Cela fait transparaître et peut être interprété comme une part moindre des budgets des ports pour ces objectifs. Ceux-ci sont néanmoins nécessaires à une approche « Green » et « Smart » complète et nécessitent d'être traités pour répondre au maximum à ces enjeux.

Nous pourrions penser que les objectifs peu traités actuellement (jaunes) représentent au contraire un potentiel commercial important pour Artelia par la marge de progression importante que cela représente pour les ports, cependant cette place actuellement secondaire met aussi en avant des objectifs ayant moins d'impact sur les trois enjeux « Green » et « Smart » identifiés. De plus, les mesures mises en œuvre actuellement pour les objectifs les plus traités aujourd'hui (verts) sont certes plus importantes, mais la marge de progression reste encore très conséquente car nous sommes toujours au commencement de la prise en compte de ces enjeux. La demande est donc encore très forte sur ces objectifs qui représentent la priorité de la transition environnementale et numérique des ports.

Une fois chaque compétence et objectif qualifiés, la finalité consiste à hiérarchiser les services potentiels à développer à Artelia. Pour cela, pour chaque objectif a été identifié si la compétence était présente en interne ou absente. En recroisant les objectifs et compétences, voilà l'échelle de priorisation des services potentiels à développer. (voir *Figure 13 – Méthode de hiérarchisation des services prioritaires*). On donne la priorité au facteur de présence de la compétence en interne sur le facteur de priorité de l'objectif car le but est de développer les nouvelles offres Artelia le plus rapidement possible pour répondre aux besoins croissants des ports sans avoir l'obligation d'investir dans le temps et l'expertise.

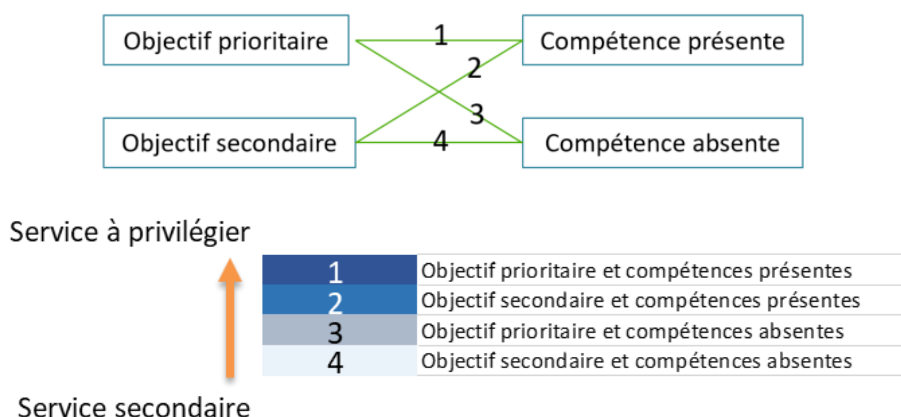


Figure 13 : Méthode de hiérarchisation des services à privilégier



### 3.6. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT

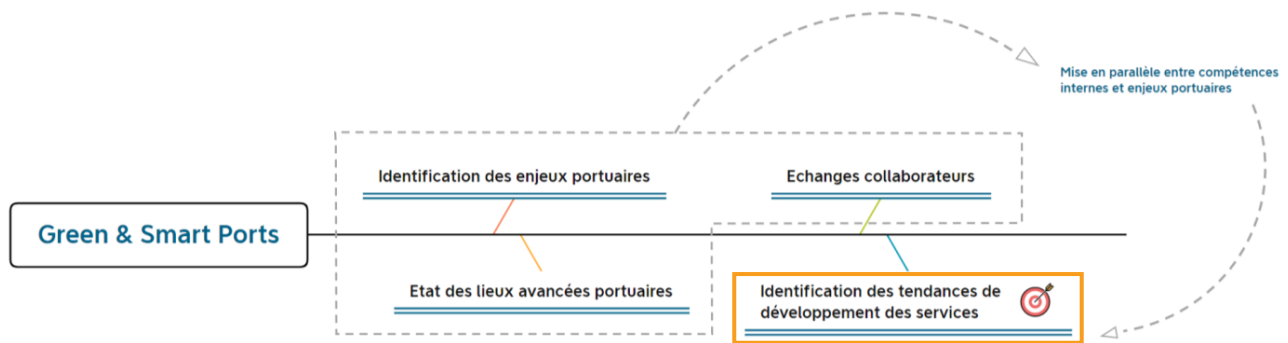


Figure 14 : Déroulement de la mission - Identification des axes de développement

L'application du système de hiérarchisation aux objectifs identifiés comme associés aux approches « Green & Smart ports » permet d'organiser les objectifs par ordre de priorité selon une matrice « priorité des leviers »/ « présence des compétences nécessaires » (Figure 15 – Matrice hiérarchisant les services potentiels prioritaires).

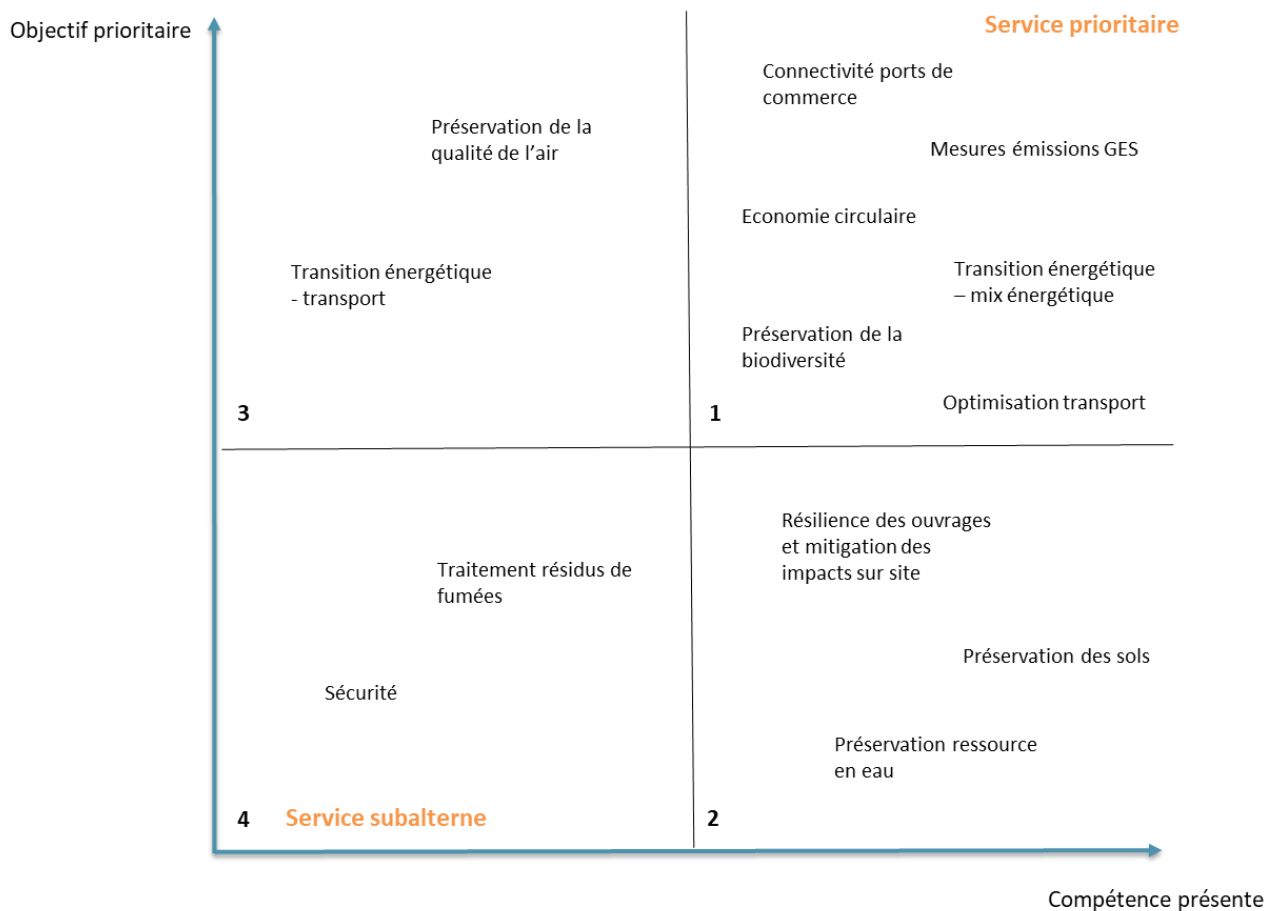


Figure 15 : Matrice hiérarchisant les services à privilégier

Il ressort de cette analyse un intérêt particulier pour :

- le développement de la transition énergétique des ports d'une part par le potentiel énergétique (principalement éolien) qu'ils représentent ; leur potentiel d'attractivité qui favorise l'innovation et donc le développement de la filière hydrogène ; ainsi que la réduction importante d'émissions de GES que permet l'électrification des quais et des engins de manutention (grue, portiques...).
- la transition énergétique du secteur du transport comme l'étude de carburants alternatifs ou la conversion des systèmes de propulsion des navires ne sont pas une compétence que l'on retrouve en interne, néanmoins, sur la question de la gestion des transports, Artelia comprend des compétences pour optimiser les trajets via l'utilisation de modèles numériques qui permettent de revoir un plan de circulation et qui pourraient aussi permettre d'optimiser les itinéraires des marchandises.
- l'utilisation du numérique pour développer la connectivité du port appliquée à l'ensemble de l'entité et des acteurs associés, peut permettre de fluidifier la chaîne logistique pour la gestion des conteneurs et le traitement des informations par la mise en place d'un guichet unique centralisant tous les documents et informations propres au port et aux acteurs liés à celui-ci.
- La compétence d'expertise d'Artelia sur la préservation de la biodiversité comprend à la fois des mesures de réduction des nuisances anthropiques sur celle-ci, ainsi que la restauration et gestion d'habitats

Il est à noter que le but du stage est de voir les équipes et compétences où un rapprochement est possible, mais il ne revient pas au stage de décider de la stratégie finale sur les « Green & Smart Ports ». Celui-ci participe à la consolidation de l'expertise sur ces approches nouvelles mais n'a pas un caractère décisif. Ce traitement final donne simplement une idée générale des services qui peuvent être développés mais il n'a aucunement vocation à être considéré comme traduisant la stratégie portuaire et des chaînes de valeurs associées d'Artelia, et ce pour plusieurs raisons :

- La première raison est que le stage n'a pas permis de rencontrer toutes les équipes d'Artelia. Certaines discussions ont mené à renseigner les compétences d'équipes non présentes à la réunion, il est donc possible que certaines informations ne soient que partielles quant à l'éventail de compétences disponibles au sein d'une même équipe.
- Par ailleurs, les ports étudiés sont plutôt homogènes par rapport à la diversité mondiale et ne sont donc pas représentatifs du marché mondial prenant notamment en compte les ports africains et moyen-orientaux constituant une part importante de la clientèle du BU EAMO. La hiérarchisation de la priorité des objectifs n'est donc peut-être pas la même que la vision que nous renvoient les ports étudiés. L'étude de la demande des bailleurs de fonds pourrait permettre de mettre en relief ces divergences. Une étude semblable à celle réalisée sur les ports européens mais appliquée aux ports africains et moyen-orientaux n'aurait sûrement pas été concluante car leur état d'avancement sur ces questions reste encore faible ce qui n'aurait donc permis de dégager aucun axe prioritaire.

## 3.7. CAS PRATIQUE QUANTITATIF : ADAPTATION OUTIL CARBONE

### 3.7.1. Introduction - Contexte

CarbonEval est un outil Excel développé en interne par le cluster Environnement. Il vise à éclairer les choix de conception d'ouvrages, en comparant les émissions de GES de deux solutions de conception. C'est un outil d'aide à la décision qui vise à prendre en compte le facteur carbone plus en amont dans les projets pour l'utiliser comme facteur déterminant dans le choix de conception qui pourraient être dite « Bas carbone ».

L'enjeu d'atténuation du changement climatique, en réponse duquel l'outil a été développé, constitue un des trois enjeux de l'approche « Green & Smart Ports ». Le stage étant très qualitatif et réflexif sur la stratégie environnementale, logistique et commerciale des ports ainsi que d'Artelia ; travailler sur l'outil a donc permis de compléter le stage en apportant une tâche quantitative et de modélisation d'un phénomène complexe (faisant appel à plusieurs domaines). Cette tâche a été motivée par deux raisons principales :

- le souhait de l'entité Maritime & Port d'avoir un outil prenant en compte l'évaluation des émissions de GES lors de la phase amont de conception ; évaluation quantitative du facteur carbone pour plusieurs typologies d'ouvrages ; ainsi que
- la manifestation de mon intérêt pour les bilans carbone qui est le sujet de mon Projet de Fin d'Etude (PFE) à Polytech.

Il a donc été décidé que je travaillerai avec M. Etienne Cunge, expert environnement et développement durable et membre du cluster environnement, sur l'adaptation de l'outil initial afin de développer « CarbonEval-Mar » adapté aux ouvrages portuaires maritimes et à leurs spécificités.

Aujourd'hui, les bilans carbone d'ouvrages maritimes existants sont des bilans comptables de projets déjà « décidés ». Le facteur carbone n'intervient donc pas dans le processus de décision en phase conception. L'usage des évaluations carbone est seulement descriptif, si bien que les bilans carbone permettant de comparer deux conceptions distinctes ne sont pas développés ce qui induit une méconnaissance des poids des postes d'émissions et des leviers possibles à leur réduction.

### 3.7.2. Objectif de l'adaptation de l'outil

L'adaptation de l'outil permettrait d'accorder plus d'importance au facteur carbone dès la phase de conception des ouvrages. Ainsi, l'objectif auquel l'outil répond consiste à dégager des ordres de grandeurs sur les contributeurs d'émissions de GES pour identifier ceux ayant un impact significatif et ainsi évaluer quels leviers pour réduire les émissions des projets d'ouvrages maritimes.

Il est important de souligner qu'il ne s'agit donc pas d'un bilan carbone exhaustif, son caractère relatif entre 2 solutions possibles d'ouvrages permet d'identifier les facteurs réduisant l'impact des projets maritimes sur le changement climatique. Cette approche vise à se concentrer sur les postes différenciant entre deux variantes et d'améliorer la connaissance des poids relatifs des différents postes de réalisation d'un ouvrage maritime.

La difficulté méthodologique principale consiste à proposer un outil qui soit le plus simple possible tout en donnant les bons ordres de grandeur des différents postes de manière à pouvoir prendre en compte le carbone émis par le projet comme un critère de conception sans que cette étude impacte significativement les délais et les coûts.

L'intérêt principal de l'exercice repose sur la démarche méthodologique itérative permettant d'aboutir à ce résultat et l'acquisition de connaissances en découlant. Le but premier du stage n'est donc pas forcément d'aboutir à un outil clé en main mais de poser les bases de celui-ci et d'identifier les verrous éventuels à lever pour y parvenir.

À travers le stage, l'outil a été adapté aux ouvrages portuaires types digues à talus qui représentent la majorité des digues construites.

La conception d'une digue à talus est relativement bien cadrée. Elle est constituée de plusieurs sections (voir [Figure 16 – Structure d'une digue à talus](#)) :

- Le noyau constitué de tout venant de carrière,
- La sous couche en enrochement,
- La butée de pied en enrochements ou ACCROPODE™,
- La semelle en enrochements,
- Le couronnement en béton,
- La carapace extérieure (côté large) et intérieure (côté port). Elle peut être composée d'enrochements ou de blocs artificiels en béton. On rencontre notamment l'utilisation fréquente de l'ACCROPODE™, une technologie développée par SOGREAH (voir [Figure 17 – Blocs artificiels pour ouvrages maritimes](#)).

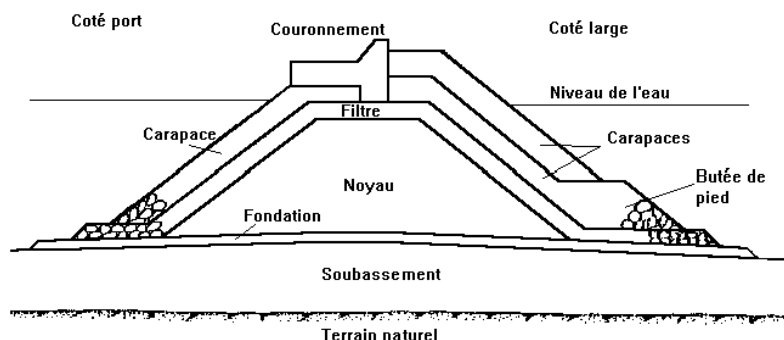


Figure 16 : Structure d'une digue à talus – Source : [7]

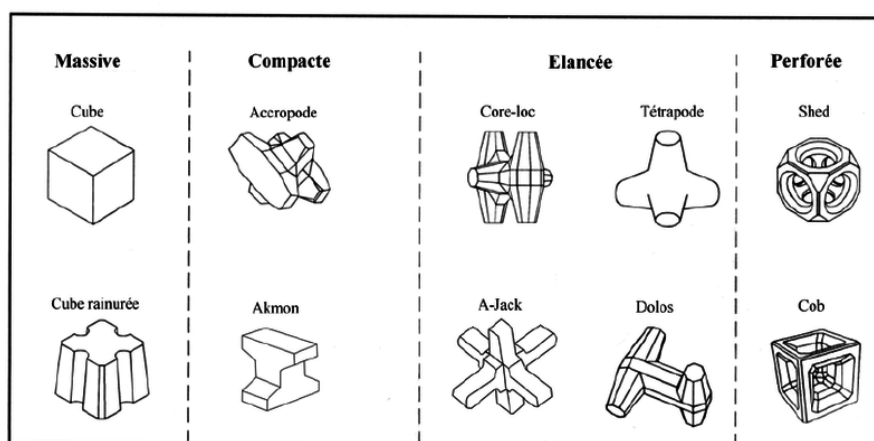


Figure 17 : Blocs artificiels pour ouvrages maritimes – Source : [7]

Le fait que la structure générale des digues à talus soit relativement similaire rend la réalisation de l'évaluation carbone plus simple car les paramètres à prendre en compte varient peu.

### 3.7.3. Adaptation de l'outil CarbonEval

#### 3.7.3.1. Structure générale de l'outil

La première étape a consisté à structurer les postes d'émission carbone des ouvrages maritimes en échangeant avec des experts techniques et environnementaux. Il en résulte que l'évaluation carbone repose sur 6 contributeurs d'émissions de GES (*Annexe 4 – Outil CarbonEval-Mar*) :

- Le changement d'occupation des sols,
- L'extraction et la fabrication de matériaux,
- L'acheminement de ces matériaux,
- La construction d'un accès chantier,
- La mise en œuvre de la digue, c'est-à-dire la consommation des engins de construction sur site.
- Les opérations de maintenance (ou non) à long terme;

La quantification des émissions repose sur la connaissance des facteurs d'émissions de chaque activité contributrice aux émissions des différents postes. Pour cela, il faut lister ces activités avec l'aide des experts techniques et identifier ou calculer leur facteurs d'émission. En effet, à ce jour, un nombre restreint de facteur d'émission sont disponibles ce qui pose des problèmes méthodologiques parfois complexes à résoudre.

L'objectif est que l'utilisateur de l'outil n'ai qu'à entrer les données propres à son projet pour aboutir à une évaluation carbone :

- Le type et la surface de couverture du sol à l'état initial, et après projet,
- Des données quant aux matériaux utilisés (volume ou poids, densité, porosité, coefficient de foisonnement)
- Le moyen de transport utilisé pour l'approvisionnement des matériaux (camions, camions-toupiers, barges, etc.) et la distance carrière-chantier,
- Le temps d'utilisation de chaque engin de chantier pour la mise en œuvre;
- Les opérations de maintenance ;

Le traitement des données entrées par l'utilisateur permet de calculer les émissions pour les deux projets et de les soustraire l'une à l'autre pour connaître l'écart relatif d'émissions entre les deux solutions. La maintenance est estimée comme un besoin de rechargement de la carapace de 15% du volume d'enrochement total tous les 25 ans. Cela induit des émissions liées à l'extraction des matériaux, leur transport jusqu'au chantier et la pose. Dans le cas où la carapace est composée d'ACCROPODE™, aucune maintenance n'est nécessaire.

Pour adapter cet outil, il a été nécessaire de maîtriser les méthodes de réalisation d'un bilan carbone ainsi que l'outil informatique Excel dans le but de résoudre un problème complexe.

L'analyse de la construction d'une digue pour déterminer les postes émetteurs de GES nécessite une vision globale du système complexe à modéliser. Les facteurs d'émissions ne sont pas des données encore très faciles d'accès car leurs champs d'application sont très larges. C'est la raison pour laquelle un temps

important a été consacré à la recherche d'informations, notamment concernant les facteurs d'émissions des engins de chantier et les facteurs de stockage des couvertures végétales du carbone bleu. Une base de données a néanmoins été constituée par l'ADEME et une part non négligeable des données utilisées proviennent de cette base carbone.

La complexité pour développer un tel outil réside dans l'estimation de la précision à apporter pour son développement. Son résultat doit être suffisamment fin pour un usage simple tout en limitant les approximations qui ne permettent pas de dégager les ordres de grandeurs exploitables. À l'inverse, un outil très développé (trop précis) qui cherche une précision importante butte sur la disponibilité des données et devient difficilement exploitable. Dans ce second cas il n'est pas laissé le choix à l'utilisateur de faire appel à son expérience pour estimer certains paramètres comme le temps d'utilisation d'un engin par exemple. Cette sur-automatisation de l'outil noie les informations et induit des erreurs difficilement identifiables. Une précision trop importante entraîne donc la création d'un outil trop complexe pour qu'il soit révisé convenablement ou adapté par un utilisateur autre que le concepteur pour continuer son développement. De plus, le manque de disponibilité de données aussi précises entraîne des estimations qui induisent elles aussi des approximations qui ne sont pas nécessairement plus justes (au contraire) que l'estimation d'un professionnel ayant de l'expérience de chantier qui permet d'avoir une idée des ordres de grandeurs propres à la gestion de chantiers.

Une précision importante n'est pas l'objet recherché d'un tel outil. Les ordres de grandeurs sont suffisants pour déterminer la solution la plus « bas carbone » et déterminer les leviers qui peuvent être généralisés à plusieurs projets de conception. L'impact d'un contributeur d'émissions de GES dont le degré de précision est important se noie et devient négligeable par rapport aux autres contributeurs dont le degré de précision est moins important.

Cette recherche d'équilibre pertinent entre précision et exploitabilité représente un véritable défi technique et s'y confronter constitue une expérience professionnelle très instructive sur les contraintes méthodologiques du nécessaire développement d'outils à vocation environnementale dans les activités de management de projet.

### **3.7.3.2. Résultats des principaux contributeurs d'émissions de GES**

CarbonEval-Mar a permis de mettre en exergue les principales causes d'écart d'émissions entre deux conceptions de digues :

- Le transport des matériaux et la mise en œuvre de l'ouvrage étant conditionnées par le choix des matériaux, c'est sur le choix entre enrochements naturels ou blocs artificiels qu'on distingue une différence quant aux émissions de GES. Ces deux solutions entraînent des opérations différentes compte tenu des 6 contributeurs de GES.
- La localisation, la géométrie, la structure et le choix de la solution de la carapace (ACCROPODE™ / Enrochement), peuvent avoir un effet sur les émissions liées au changement d'occupation des sols. Réduire au maximum l'emprise au sol de l'ouvrage sur les couvertures végétales remarquables peut être déterminant sur le choix d'une solution de conception par rapport à une autre.

Concernant la modification de la couverture végétale, le carbone bleu, carbone capturé et stocké dans les écosystèmes côtiers : marais salants et littoraux, herbiers marins (posidonie, forêt de kelps...) et mangroves ; représente un puit de carbone très puissant pour la biosphère. Le constat est que, par artificialisation d'une couverture végétale marine, la quantité de CO<sub>2</sub> séquestrée dans le sol est déstockée très rapidement. Par ailleurs, le changement d'occupation des sols d'une couverture végétale ayant un fort pouvoir de



séquestration du carbone en faveur d'une autre couverture végétale ayant un pouvoir de séquestration plus faible va déstocker tous les ans une quantité de CO<sub>2</sub> définie.

Il est alors possible de jouer sur deux paramètres pour réduire au maximum l'impact d'une digue sur le déstockage du CO<sub>2</sub> : l'emprise au sol et l'emplacement de la digue. Il est nécessaire de faire en sorte que la plus faible surface de couverture végétale soit impactée, pour cela la localisation de la digue peut permettre d'éviter la destruction de ces espaces. Si ce n'est pas le cas, réduire au maximum l'emprise au sol en modifiant la structure de la digue peut permettre de réduire la surface végétale détruite. La structure de la digue est liée de près au choix des matériaux. Une solution ACCROBERM™ pour remplacer la partie basse d'un linéaire d'ACCROPODE™ de la carapace permet de réduire l'emprise au sol d'un mètre sur tout le linéaire de la digue. Pour avoir un ordre de grandeur, selon le magazine « Nature » [8], un hectare de mangroves permet de stocker au total 603 t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>. A titre de comparaison, l'empreinte carbone moyenne d'un français par an en 2018 s'élève à 75 t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub> selon le gouvernement [9]. En France, certains couverts végétaux sont donc protégés et l'empiétement d'ouvrages sur ces milieux est interdit.

Aujourd'hui, le choix quant aux matériaux à utiliser porte principalement sur les enrochements ou blocs béton. L'outil CarbonEval-Mar a été testé sur un premier projet de digue. Une première solution de conception composée d'une carapace extérieure en ACCROPODE™ a été mise en parallèle avec une solution en enrochements. Ce cas d'étude a permis d'analyser les différences d'émissions entre ces deux solutions.

Les deux carapaces extérieures sont différentes de par les matériaux qui les constituent mais aussi par leur volume. De plus, la porosité d'une solution ACCROPODE™ (0,5) est plus importante que celle d'une solution enrochement (0,35). Cela signifie que la part de vide entre les blocs d'ACCROPODE™ est supérieure qu'entre les enrochements d'une carapace. Il est donc nécessaire de prendre en compte ces différences de structure dans l'analyse des résultats.

A volume de matériaux égal, c'est-à-dire pour un même volume de carapace et sans prendre en compte la porosité de la structure, nous observons que les émissions liées à la fabrication blocs ACCROPODE™ est 91% fois plus émissif de GES que les travaux d'extraction d'enrochements naturels en carrière (voir Tableau 1 – Analyse émissions CO<sub>2</sub>e – Fabrication et extraction des matériaux).

La porosité est un paramètre qui varie peu d'une digue à l'autre. Cependant, le fait que le volume de la carapace en ACCROPODE™ soit supérieur à celui de la carapace en enrochement, est un paramètre propre à ce projet mais ne représente pas une caractéristique récurrente entre deux solutions ACCROPODE™/Enrochement. En bref, une solution ACCROPODE™ ne nécessite pas toujours un volume de blocs de carapace plus important qu'une carapace en enrochements. Pour avoir l'analyse la plus générale possible, nous étudierons donc les émissions de CO<sub>2</sub>e à volume de carapace égal et en prenant en compte une porosité de 0,35 pour les enrochements et 0,5 pour les ACCROPODE™. Dans ce cas de figure nous pouvons constater un écart d'émissions de GES de 89% en faveur de la solution enrochement.

Tableau 1 : Analyse émissions CO<sub>2</sub>e - Fabrication et extraction des matériaux

Emissions CO <sub>2</sub> e concernant l'énergie d'extraction/fabrication des matériaux					
	ACCROPODE™ (en t)	ACCROPODE™ (en kg/m <sup>3</sup> (de matériau ou carapace))	Enrochements (en t)	Enrochements (en kg/m <sup>3</sup> (de matériau ou carapace))	Différence ACCROPODE™ / Enrochement (en %)
Emissions CO <sub>2</sub> e à volume de matériaux égal (3306m <sup>3</sup> )	1091	330	96	29	91
Emissions CO <sub>2</sub> e à volume de carapace égale (6612m <sup>3</sup> )	1091	165	125	19	89
Emissions CO <sub>2</sub> e à volume de matériaux et carapace propre à PLN	1091	330	107	29	90

La même étude a été réalisée pour les émissions liées à l'approvisionnement en matériaux et à l'utilisation d'engins de chantier pour la mise en œuvre de l'ouvrage. Compte tenu du degré de précision de l'étude, à

volume de carapace égale, la différence d'émissions de GES entre les deux solutions est négligeable (voir [Figure 18 – Synthèse émissions ACCROPODE™ CEM I / Enrochement](#)).

Les travaux de maintenance émettent 7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> de carapace. Quant à la solution ACCROPODE™, elle ne nécessite aucun travail de maintenance. Ainsi, le facteur de travaux de maintenance est favorable à une solution ACCROPODE™. Néanmoins, les émissions de maintenance sont loin de compenser les émissions de fabrication du ciment nécessaires au béton des ACCROPODE™.

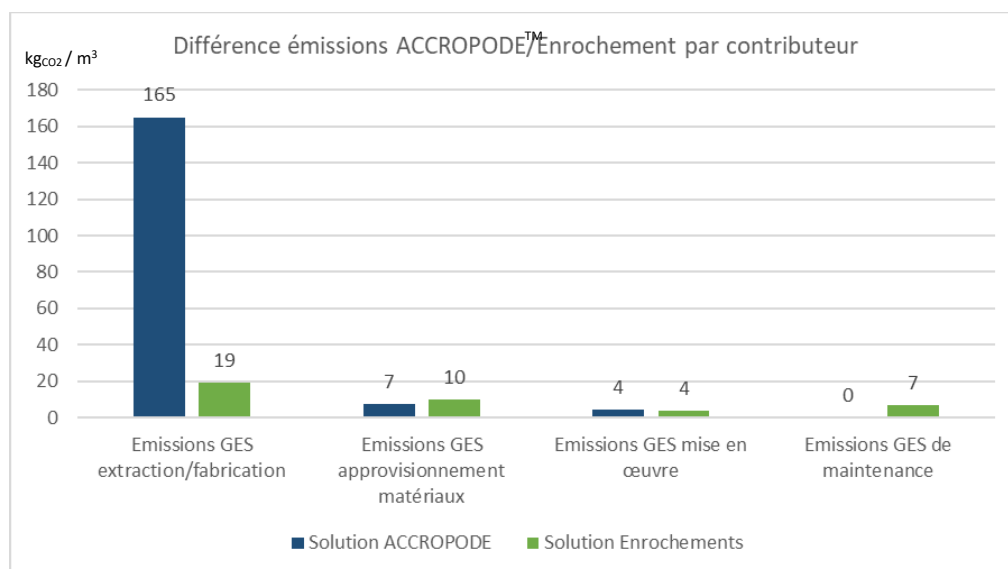


Figure 18 : Synthèse analyse ACCROPODE™ CEM I / Enrochement

Les approximations issues de la précision de calcul et des données disponibles induisent des marges d'erreur pour chaque contributeur :

- Extraction et fabrication des matériaux : 10% grâce à la fiabilité des données disponibles sur l'ADEME et le peu de facteurs à prendre en compte.
- Approvisionnement : 20-25%. Les données sont fiables néanmoins, on relève une certaine incertitude sur la capacité des moyens de transport et sur le coefficient de foisonnement à prendre pour chaque type de matériaux en fonction de leur taille.
- Mise en œuvre : 50-75%. Les données propres à la gestion de chantier ne sont pas disponibles. Les approximations faites sur ce contributeur sont importantes.
- Maintenance : 20-25%. La maintenance faisant intervenir des opérations à la fois d'extraction, approvisionnement et de mise en œuvre, la marge d'erreur de ce contributeur est le cumul des poids des incertitudes précédentes. Le poids des émissions des contributeurs ayant une marge d'erreur faible étant plus important que celui des contributeurs dont la marge d'erreur est importante, la marge d'erreur de la maintenance est donc assez faible.

Les incertitudes étant importantes sur les contributeurs ayant le poids le plus faible dans l'évaluation globale, et non pas sur les contributeurs ayant le poids le plus important, cela nous permet tout de même de conclure sur les ordres de grandeurs relevés.

### 3.7.3.3. Conclusions préliminaires

La fabrication et l'extraction des matériaux est le contributeur le plus émissif. Il représente 94% des émissions d'une carapace ACCROPODE™. Les leviers à identifier en priorité pour réduire les émissions des projets d'ouvrages maritimes portent donc sur l'utilisation et la fabrication du béton.

#### Extraction/Fabrication des matériaux

Un premier élément de réponse concerne le ciment utilisé. L'évaluation considère le ciment « CEM I », le plus utilisé aujourd'hui malgré le fait que ce soit le plus émissif (Facteur d'émissions : 881 kg CO<sub>2</sub>e/t<sub>ciment</sub>) (voir [Figure 18 – Synthèse émissions ACCROPODE™/Enrochements](#)). L'utilisation de ciment « CEM III B » dont le facteur d'émissions s'élève à 370 kg CO<sub>2</sub>e/t<sub>ciment</sub> permet de réduire de 56% les émissions de fabrication de béton (voir [Figure 19 – Synthèse émissions ACCROPODE™/Enrochements](#)).

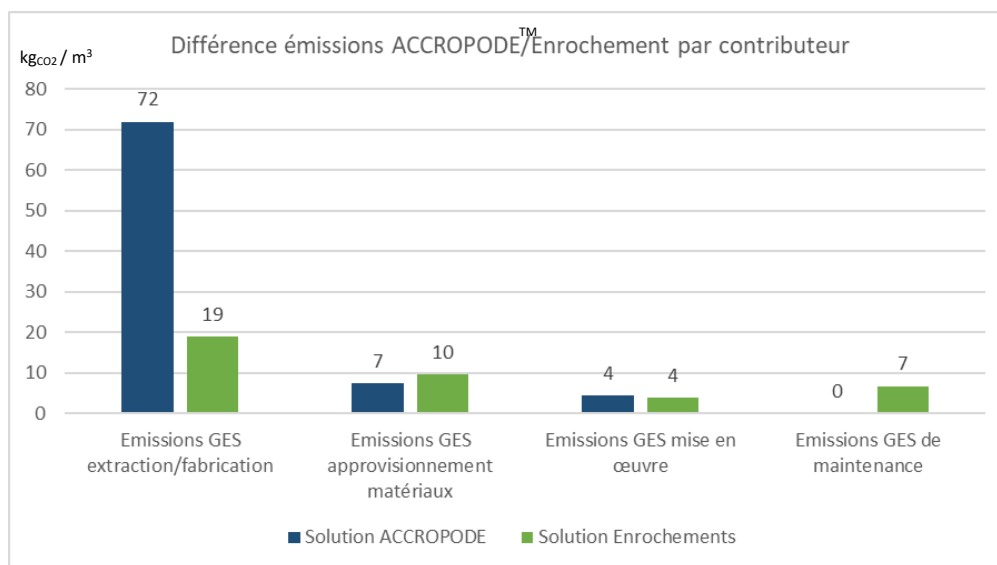


Figure 19 : Synthèse analyse ACCROPODE™ CEM III B / Enrochements

#### Approvisionnement (transport matériaux)

Les émissions de GES liées au transport représentent 52% des émissions liées à l'extraction des enrochements. Comme piste de réduction de l'impact de ce contributeur, il pourrait être intéressant d'évaluer les émissions de GES de l'ouverture d'une carrière à 10km du chantier. Cela permettrait de comparer ces émissions par rapport à l'approvisionnement des matériaux issus d'une carrière distante du chantier de 50km comme c'est le cas dans l'évaluation de Port la Nouvelle. Néanmoins, dans le cas où le facteur carbone serait plus faible, ce n'est pas le seul facteur environnemental à prendre en considération.

#### Mise en œuvre

Concernant les émissions liées aux engins de chantier pour le transport et la pose des matériaux, celles-ci représentent une part faible des émissions totales du projet. L'approche quantitative de ce contributeur a été travaillée à une échelle trop précise. En effet, celle-ci prend en compte pour calculer le temps d'utilisation d'un engin : la capacité des engins, le poids des matériaux à manipuler, le coefficient de foisonnement de chaque matériau en fonction de sa taille, le nombre de boucle de chaque engin par heure pour une opération, ainsi que le nombre d'heures travaillées par jour. En souhaitant automatiser le temps d'usage des engins, cela a induit des imprécisions qui auraient pu être évitées en restant dans une approche plus macroscopique. L'outil pourrait être revu sur ce point pour simplifier le calcul du temps d'utilisation d'un engin en faisant

appel seulement à l'estimation de l'utilisateur du temps global nécessaire d'utilisation de chaque engin. Par cet exemple nous constatons une perte de précision due à l'inaccessibilité des données ce qui induit une approximation sur plusieurs données alors qu'une approximation globale du temps d'usage par l'utilisateur pourrait être, au final, plus juste et beaucoup plus abordable par l'opérateur chargé des calculs.

### Bilan

Concernant le ratio que représente chaque contributeur, il est important de garder à l'esprit que seul les ordres de grandeurs sont exploitables. En effet, l'analyse repose sur la généralisation d'un cas initialement appliqué à un cas test. L'analyse repose donc sur plusieurs paramètres dont la valeur se base sur ce cas particulier. Plusieurs paramètres peuvent varier d'un projet à l'autre, c'est notamment le cas de la distance entre la carrière et le chantier ou le choix des engins de chantier.

Il est important de noter que les émissions de GES ne sont pas le seul facteur environnemental à prendre en compte dans le choix de conception d'un ouvrage. Plus largement, nous avons constaté par l'étude des approches « Green » et « Smart » que d'autres facteurs environnementaux répondant à un enjeu de préservation devaient être pris en considération par les ports. Ainsi, des études pour limiter l'impact sur le milieu environnant de la digue ainsi que sur les milieux d'où les ressources sont extraites, est nécessaire et ne peuvent pas être pris en compte dans l'outil CarbonEval-Mar. Cette remarque est d'autant plus importante dans le cadre du stage où nous avons considéré que l'atténuation du changement climatique, dont le levier principal est la diminution des émissions de GES, est constitutif d'un enjeu plus vaste regroupant aussi l'adaptation à ce phénomène.

## **4. CONCLUSION ET RETOUR REFLEXIF SUR L'EXPERIENCE**

Le stage fait partie du commencement du processus de réflexion d'une stratégie portuaire interne. Nous sommes partis de deux thématiques vastes, et utilisées fréquemment dans un registre commercial sans définition et périmètre d'application précisément défini. Il a donc fallu définir à quels enjeux ces approches répondent, ce qu'on entend par ces termes ainsi que leur périmètre d'application. Pour cela la méthode utilisée est de se baser sur l'existant avec un état des lieux des enjeux auxquels les ports doivent répondre et leurs leviers d'action. Le but pour Artelia est d'adapter ses services d'ingénierie à des démarches plus globales et politiques qui se développent pour mieux concevoir les aménagements de demain qui s'inscrivent plus durablement dans le territoire au regard des enjeux énergétiques et environnementaux. Pour cela, la méthode repose sur l'existant pour se positionner sur des nouveaux marchés en créant des synergies entre les compétences déjà présentes en interne. Cette stratégie de développer des nouveaux services d'ingénierie reposant sur des compétences déjà présentes en interne permet une réduction de l'investissement dans le temps et l'expertise tout en gagnant de nouveaux axes de marchés.

### **4.1. REFLEXIONS PERSONNELLES**

C'est donc un travail appliqué mais encore en amont de la phase projet plus opérationnelle. Je n'ai pas eu la possibilité d'approfondir autant que je l'aurais souhaité chaque levier identifié ce qui m'aurait permis de d'avoir une approche plus appliquée voir de gestion de projet.

Ce travail de compréhension globale des enjeux est la première boucle d'un cheminement itératif. En effet, maintenant que les services à privilégiés ont été dégagés il est nécessaire de revenir sur les premières étapes d'identification des enjeux et leviers pour les affiner. Malgré cela, ce travail n'aurait pas été pertinent à ce

stade de l'expertise nourrissant une réflexion stratégique globale et sera le sujet de la seconde phase de travail des « Green & Smart Ports ». Dans le cas d'un futur stage plus opérationnel sur un projet donné, cette expérience de travail très amont pourra me permettre d'avoir une vision plus globale du travail demandé et de comprendre les enjeux stratégiques ainsi que la démarche de l'entreprise dans son ensemble. C'est donc une plus-value importante que j'ai eu la chance d'expérimenter à Artelia pour mon projet professionnel.

Malgré le fait que l'analyse de chaque levier identifié soit restée assez générale, j'ai pu approfondir considérablement l'enjeu d'atténuation du changement climatique à travers l'outil CarbonEval-Mar qui m'a permis, via l'application à un domaine bien précis, d'appréhender la complexité de la prise en compte de sujets environnementaux dans les projets. Cette complexité réside en partie dans le manque de données scientifiques disponibles, ainsi que dans la nécessité de simplifier le réel afin de le modéliser mais sans le biaiser pour permettre d'améliorer la prise en compte de la dimension environnementale dans les projets.

Il faut tout de même mettre en perspective le travail réalisé sur les ports. L'état des lieux des approches « Green & Smart ports » établi sur les 7 cas de ports retenus s'est basé sur des documents rédigés par les 'autorités portuaires correspondant souvent à leurs « rapports stratégiques ». Ils ont une vocation principalement « marketing » d'affichage et cherchent à maximiser l'attractivité du port en communiquant sur leurs actions. La vision qui se dégage donc de l'état d'avancement propre des ports est à mesurer et nécessite un esprit critique pour différencier de réelles démarches « Green », des annonces plus conceptuelles relevant aussi quelques fois du « Greenwashing ».

L'étude de diagnostic via l'état des lieux portuaire s'arrête aujourd'hui à des grands ports européens (Rotterdam, Anvers, Hambourg, HAROPA, Marseille-Fos, Nantes-St Nazaire) pouvant être catalogués dans une même division à l'exception de Nantes-St Nazaire qui est plus régional. Les services d'ingénierie Artelia sur les « Green ports » et « Smart ports » nécessiteront de revenir sur la priorisation des enjeux qui est basée sur l'état d'avancement des ports européens en l'état actuel et de les suivre dans le temps. En effet, le diagnostic des ports est une photographie actuelle (été 2021) de leurs avancements sur ces approches nouvelles. Cette situation va évoluer très vite. On le voit notamment avec les fond d'investissements européen (le Green Deal) et national (le plan de relance 2020) qui créent une mouvance et stimule la prise en compte de ces enjeux dans la stratégie des ports. La parution du dernier rapport du GIECC ce mois-ci ne fait qu'appuyer cette tendance en alarquant sur la nécessité d'accélérer les actions limitant et d'adaptation du changement climatique. Les ports étudiés étant européens et de même division, pour les ports situés en Afrique, au Moyen-Orient ou en Asie, la démarche d'adaptation des services devra être revue afin de soulever les objectifs auxquels répondre en priorité. Pour cela, certains ports africains s'appuyant sur les bailleurs de fonds pour leur développement, il sera peut-être intéressant de suivre les axes de financement et concertation avec des bailleurs de fonds comme l'AFD. Ce peut être une piste pour avoir une vision globale des leviers prioritaires.

Les échanges internes réalisés avec différents collaborateurs pré-identifiés d'ARTELIA sont des collaborateurs proches de EAMO maritime avec qui les ingénieurs de l'entité travaillent fréquemment sur des projets. Les échanges sont donc restés dans un cercle interne proche des compétences maritimes. Dans le cadre d'un travail itératif, il serait intéressant dans un second temps d'élargir les échanges avec des équipes plus lointaines de la compétence maritime et d'autres acteurs extérieurs au Groupe mais en lien avec ces démarches. En restant dans un cercle, bien qu'élargie, toujours assez proche relativement à la taille du groupe Artelia, la compétence maritime peut se couper des portes sur certaines opportunités possibles avec d'autres équipes. En effet la liste des personnes à interviewer a été en partie revue mais était déjà établie avant l'identification des différents enjeux. Selon moi, au minimum une seconde boucle itérative est nécessaire à l'objectif d'expertise des approches « Green » et « Smart » pour affiner l'identification des services prioritaires.

## 4.2. LIVRABLES

Comme il a été précisé tout au long du rapport, plusieurs livrables ont été préparés et fournis à Artelia :

- Sept fiches, une par port, développant l'état d'avancement à juin 2021 des ports sur les démarches « Green » et « Smart » ainsi que leurs stratégies ;
- Un tableau comparatif de ces 7 ports reprenant les différents enjeux, objectifs et levier propres aux approches de « Green & Smart » ; ceci est une synthèse permettant de les comparer les ports les uns entre les autres de manière transversale.
- Trois cartes mentales reprenant les compétences internes exploitables en fonction des enjeux « Green & Smart ports ».
- Une matrice identifiant les services d'ingénierie intéressants à développer de manière prioritaire et ceux déjà en développement ; ce second aspect devrait permettre d'établir sous peu une brochure dite commerciale « benchmarkant » la démarche d'ingénierie d'ARTELIA
- L'outil CarbonEval-Mar sous forme de document Excel.

## REFERENCES DU RAPPORT

Pour bibliographie complète, se référer à la compilation des livrables

- [1] « annexe-fiche-mesures.pdf ». Consulté le: juill. 27, 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf)
- [2] « essentiel\_port\_futur\_2018\_07-06-19\_light\_2\_mo.pdf ». Consulté le: août 12, 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.portdufutur.fr/sites/portdufutur/files/fichiers/2019/06/essentiel\\_port\\_futur\\_2018\\_07-06-19\\_light\\_2\\_mo.pdf](https://www.portdufutur.fr/sites/portdufutur/files/fichiers/2019/06/essentiel_port_futur_2018_07-06-19_light_2_mo.pdf)
- [3] « essentiel\_9e\_assises\_port\_du\_futur\_2019light.pdf ». Consulté le: août 12, 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.portdufutur.fr/sites/portdufutur/files/fichiers/2020/10/essentiel\\_9e\\_assises\\_port\\_du\\_futur\\_2019light.pdf](https://www.portdufutur.fr/sites/portdufutur/files/fichiers/2020/10/essentiel_9e_assises_port_du_futur_2019light.pdf)
- [4] « Edition 2020 », *Port du futur*. <https://www.portdufutur.fr/les-assises/edition-2020> (consulté le août 12, 2021).
- [5] « IPCC-Special-Report-1.5-SPM\_fr.pdf ». Consulté le: août 16, 2021. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf)
- [6] R. Paskoff, « Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies », *Ann. Géographie*, vol. 107, n° 600, p. 233-248, 1998, doi: 10.3406/geo.1998.20847.
- [7] I. Safari, F. Ropert, D. Mouazé, et A. Ezersky, « Historique du bloc artificiel utilisé dans les digues à talus », *Rev. Paralia*, vol. 6, p. 4.1-4.14, 2013, doi: 10.5150/revue-paralia.2013.004.
- [8] D. R. Richards, B. S. Thompson, et L. Wijedasa, « Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land cover change », *Nat. Commun.*, vol. 11, n° 1, p. 4260, déc. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-18118-z.
- [9] « L'empreinte carbone des Français reste stable », *Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports*. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/empreinte-carbone-des-francais-reste-stable> (consulté le août 02, 2021).



# ANNEXES



- 1- EXEMPLE : SYNTHÈSE DE LA FICHE  
ETABLIE POUR LE PORT DE NANTES
- 2- TABLEUR DES ENJEUX PORTUAIRES
- 3- CARTES MENTALES – COMPÉTENCES  
INTERNES
- 4- OUTIL CARBONEVAL-MAR



## ANNEXE 1

# EXEMPLE : SYNTHÈSE DE LA FICHE ÉTABLIE POUR LE PORT DE NANTES

Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.

ERREUR ! UTILISEZ L'ONGLET ACCUEIL POUR APPLIQUER 1-NOM DU PROJET AU TEXTE QUE VOUS SOUHAITEZ FAIRE APPARAÎTRE ICI.

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer 7- Mois au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

## FICHE SYNTHÈSE – NANTES - ST NAZAIRE

### Points forts

- ✚ Importance donnée aux problématiques de l'adaptation au changement climatique et la préservation de l'environnement
- ✚ Participation au projet Smooth Port (EU)
- ✚ Développement de la filière ENR et EMR très important
- ✚ Volonté forte de développer la filière hydrogène
- ✚ Mise en place d'un plan de gestion des espaces naturels permettant de préserver l'environnement tout en conciliant les différents usages
- ✚ Politique de dragage très contrôlée

### Points faibles

- ✚ Approche SMART encore peu développée
- ✚ 2/3 de l'activité du port repose sur le trafic des énergies fossiles : marché non pérenne
- ✚ Branchement électrique à quai peu développé
- ✚ Quelques projets d'Ecologie Industrielle et territoriale (EIT) mis en place mais diffusion encore faible (stade de la réflexion)
- ✚ Faible politique favorisant le report fluvial entre St Nazaire et Nantes

### Arguments commerciaux/Pistes commerciales pour Artelia

- ✚ Initiative de développer l'approche SMART avec les challenges Hackathon Smart Port
- ✚ Label EcoPort → argument pour proposer des services favorisant la transition énergétique et environnementale
- ✚ Stratégie Smooth Port → proposer des services de report modal, d'optimisation des flux ou de carburants alternatifs
- ✚ Participation au projet PORTOS → argument pour proposer des services issus de la filière ENR et EMR
- ✚ Financements disponibles importants pour l'hydrogène et participation aux projets H2LV et VHyGO → argument pour proposer des services sur l'hydrogène
- ✚ Valorisation des actions du plan de gestion des espaces naturels pour d'autres clients



## ANNEXE 2

# TABLEUR DES ENJEUX PORTUAIRES

Enjeux	Objectifs	Leviers/ Moyens	Port d'Anvers	Port de Hambourg	Port de Rotterdam	Port de HAROPA	Port de Nantes-St Nazaire	Port Marseille Fos	Port de Quebec
Atténuation et adaptation au changement climatique	Réduction de la pollution atmosphérique	Mesure des émissions GES	Mesures émissions trafic routiers. Piste d'amélioration: Bilan GES sur ensemble activités port	Mesures & inventaires GES et polluants atmosphériques dans le cadre Clean Air Plan (appliqué dans toute la ville) --> Enjeu important pour la ville	Développement outil expérimental de mesure, modélisation, statistique des GES mais qui peut toujours continuer à être développé	Le Havre: Réalisation bilan GE Pas d'information à ce sujet pour Paris et Rouen	Perspectives futures de développer un bilan GES mais pas d'information sur des potentielles mesures réalisées actuellement sur les GES	Certaines mesures sont réalisées mais elles ne sont pas suffisantes d'après la MRAe --> possibilité d'amélioration.	La surveillance des émissions de GES est un objectif pleinement rempli par le port. L'inventaire des émissions de GES a permis d'établir un plan de gestion de l'énergie
		Transition énergétique du secteur du transport (réduction GES possible)	Innovation importante dans les carburants alternatifs (ambition : port multi-fuel) guidée par une stratégie globale de décarbonation	Participation au projet Smooth Port mais l'innovation semble être lente. Accent important sur l'hydrogène qui freine le développement d'autres alternatives (méthanol, ammoniac) ?	Travail très large et plutôt avancé sur l'ensemble des carburants alternatifs possibles avec des projets concrets	Innovation en cours principalement sur l'hydrogène et peu sur les autres alternatives. Le GNV paraît bien développé	Participation au projet Smooth Port les carburants alternatifs semblent peu développés et seulement porter sur le GNL et très faiblement sur l'hydrogène	Stratégie de développement de l'hydrogène dans le secteur du transport encore faible (stratégie de production principalement). L'avitaillement en GNL semble avancé	Aucune information à ce sujet
		Transition et gestion du mix énergétique du port (production, distribution, gestion). Réduction GES possible	Forte présence des ENR. Perspective de développement de l'hydrogène. Nécessité de continuer l'électrification des quais	Perspective importante de développement des ENR dont la puissance totale aujourd'hui est encore faible. Retard sur l'électrification des quais mais cherche à le résorber avec des objectifs ambitieux et concrets. Stratégie de développement de l'hydrogène	Travail important sur le développement de l'hydrogène (ambition de devenir le leader européen) et des ENR	Importance stratégique des ENR pourtant encore peu développées --> perspective future. Port plutôt avancé en terme d'électrification des quais, objectif 2025 : 10% des terminaux électrifiés	Développement important des EMR (participation au projet PORTOS --> (Premier port français pour les EMR) avec une stratégie d'innovation autour de l'hydrogène. Nécessité de développer l'électrification des quais aujourd'hui encore faible	Perspectives très importantes de développement des ENR et de l'électrification des quais appuyée sur une étude de SmartGrid. Innovation dans l'hydrogène avec le démonstrateur de production Jupiter 1000. Le port semble en avance sur la production par rapport aux autres ports français	Les informations à ce sujet sont peu précises. Le port développe les énergies renouvelables mais aucune information n'est fournie quant à l'avancement et l'ambition de ce projet. Quelques actions (conversion du système d'éclairage à l'éclairage LED, bornes électriques) Aucune information quant à l'électrification des quais, la production d'hydrogène, le développement du SmartGrid...
		Economie circulaire	Fort intérêt pour la démarche d'économie circulaire (et en particulier l'EIT). Stratégie d'économie circulaire pour l'énergie, les matières premières et mutualisation	Démarche d'économie circulaire bien développée avec de la valorisation énergétique, la création d'un incubateur expérimental créant des synergies entre les entreprises	Stratégie de neutralité carbone basée sur l'économie circulaire via des synergies sur le système énergétique, sur les flux de matières premières et sur les infrastructures. Malgré cette démarche déjà très avancée, le port continue à favoriser les synergies via un groupe de travail	Certaines actions d'économie circulaire mais principalement des actions ayant un faible impact sont mises en œuvre mais on note une volonté de développer cette démarche	Réflexion en cours pour initier une démarche d'EIT mais pour l'instant aucune démarche n'est effective. Seul le traitement des matériaux issus de chantiers sont traités	Démarche d'EIT très présente via le projet du démonstrateur industriel Innovex. Volonté de continuer dans ce sens	Un seul et unique projet d'EIT a été développé sur le port. Néanmoins, la gestion des matières résiduelle selon la démarche 3RV-E semble bien appliquée. Lorsque cela est possible, les sédiments dragués sont valorisés
		Traitement ou diminution des résidus des fumées	Plusieurs mesures réglementaires, d'incitation et sur les carburants alternatifs pour limiter l'accès aux navires fortement émetteurs de pollution atmosphérique	Enjeu très important de la pollution atmosphérique pour le port et la ville	Actions développées permettant de réduire les résidus mais qui n'est pas le but premier. L'accent semble plus porté sur le CO2.	Démarche ESI. Entreprise locale pour le traitement des résidus de scrubbers et réglementation européenne en vigueur	Application de la réglementation européenne mais pas d'initiative supplémentaire pour aider les armateurs	Démarche ESI et application de la réglementation européenne	Ambition de développer un programme incitatif Rightship encourageant les armateurs ayant une démarche de développement durable

	Résilience des ouvrages et mitigation des impacts sur site	<p>Favoriser les approches NBS (Nature Based Solutions)</p> <p>Résilience des infrastructures</p> <p>Ecoconception</p> <p>Renaturation</p> <p>Réduction de la surface artificialisée</p>	Création de nouvelles réserves naturelles et gestion de ses espaces important pour le port. Néanmoins pas d'approche NBS développées.	Végétalisation des structures anthropiques en perspectives. Gestion et protection des espaces naturels	Aucune information communiquée --> l'enjeu n'a pas l'air d'être une priorité pour le port même si son objectif principal est l'atténuation du changement climatique. Il est possibles que le port soit avancé dans ce domaine mais que les actions misent en avant portent principalement sur la transition énergétique et l'économie circulaire	Préoccupation importante de l'espace naturel dans la stratégie de gestion du port	Gestion et préservation d'espaces naturels	Préservation et gestion d'espaces naturels	Peu de détail sur l'état et de l'ampleur de ces actions mais quelques actions sont portées par le port : étude de vulnérabilité des infrastructures au changement climatique, réalisation d'un plan d'utilisation des sols et développement de la trame verte
Atténuation et adaptation au changement climatique et efficience de la chaîne logistique	Réduction de la pollution atmosphérique et réduction de la congestion	Optimiser le secteur du transport	Volonté d'augmenter le report modal (la place du fluvial a l'air plus importante que la moyenne des ports européens étudiés) mais pas de mise en avant de solution pour optimiser la conduite	Participation au programme Smooth Port, gestion du dernier km, report modal	<p>Schéma sur 3 ans pour favoriser la navigation "climate-friendly" -&gt; pas de projets précis pour l'instant qui ressortent mais peut être une perspective intéressante pour 2022.</p> <p>Diffusion du trafic routier la nuit pour réduire la congestion (mais pas les émissions de GES).</p> <p>Perspectives de solutions smart pour optimiser la navigation.</p> <p>Volonté d'augmenter le report modal fluvial</p>	<p>Part très importante de trafic routier --&gt; en opposition, plan de route très précis pour favoriser le report modal (notamment profiter de la Seine) .</p> <p>Favoriser la massification des flux et les connexions multimodales. Pas de solutions smart mise en avant</p>	Volonté de développer le trafic fluvial et la desserte ferroviaire. Pas de solution smart avancée	Favoriser le report modal qui reste faible aujourd'hui (terminaux de transports combinés). Optimisation des itinéraires par l'éco-calculateur, éco-pilotage	Aucune solution SMART n'est communiquée par le port mais le report modal et massification des flux sont des enjeux qui sont à l'étude pour le projet de Laurentia. Le report modal du camionnage en faveur d'un moyen de transport moins carboné n'a pas l'air d'être un enjeu premier du port
Optimisation et efficience de la chaîne logistique	Gestion optimisée des flux entrants et sortants	Connectivité dans les ports de commerce	Membre de plusieurs projets européens dans le but de développer des solutions smart pour l'efficience des ports	Développement d'une "stratégie SmartPORT" qui se traduit par de nombreuses applications de transmission d'information, d'application permettant d'optimiser la maintenance d'infrastructure, d'optimiser le trafic (diversité des sujets traités)	Application du numérique pour favoriser l'efficience du port (flux de matière, transmission d'information, informations météorologique...) Levier très développé --> ambition de devenir le "smartest port"	Objectif important de développer l'efficience du port par des solutions Smart. Plusieurs système intelligent ou numériques déjà en vigueur pour les opérations portuaires (principalement au port du Havre)	Lancement d'un challenge pour développer le smart port --> on note une volonté de développer cet enjeu dans le port, dont les actions aujourd'hui sont encore peu nombreuses	Création du Smart Port in Med pour développer le port intelligent --> importance de développer cet enjeu pour le port. Ambition : Hub numérique. Plusieurs applications déjà développées et en cours de développement	Aucune information à ce sujet
	Efficience des ports de plaisance	Connectivité dans les ports de plaisance	—	—	—	—	Volonté de développer le port de plaisance du futur via des services numériques	—	—
	Sécurité	<p>Cyber sécurité</p> <p>Sécurité des procédés</p>	Système de caméras de surveillance intelligent	Actuellement : guichet unique. Projet de sécurité au stade de la recherche pour développer la cyber sécurité du port	Quelques éléments : guichet unique et jumeau numérique --> surveillance en temps réel des opération	Objectif fort de renforcer la cyber sécurité et une offre de sécurité numérique. Cet enjeu semble en croissance dans le port. Actuellement, présence d'un guichet unique	Seule existence d'un guichet unique permettant des inspections vétérinaires, phytosanitaires, de fraude, de douane...	Démonstrateur pilote pour tester la sécurité, guichet unique, sécurisation des conteneurs en perspective --> enjeux en développement	Aucune information à ce sujet



Préservation de l'environnement	Gestion durable de l'hydrosphère liquide	Traitement de l'eau (réduction de la pollution de l'eau)	Contrôle de la qualité de l'eau et retrait des débris flottant mais pas d'information sur la gestion des eaux pluviales ni sur la gestion des rejets des navires et d'hydrocarbures	Gestion de l'Elbe dans sa globalité via la création de la fondation Elbe Habitat pour améliorer la situation écologique de l'Estuaire --> Augmentation des plans d'eau. Volonté de restaurer le site à son état naturel. Contrôle de la qualité de l'eau. Pas d'information plus détaillée sur les rejets des navires et d'hydrocarbures	Traitement des eaux souterraine (suez), capteurs IoT --> surveillance qualité de l'eau	Prise en compte de nombreux enjeux qui portent sur l'eau : qualité, système d'assainissement, rejets, pollution, projet d'aménagement à l'échelle de la plaine alluviale	Actions concrètes pour de la gestion de l'eau --> traitement des eaux usées, gestion et suivi de la qualité de l'eau de la Loire	Aucune action actuelle n'est détaillée et mise en avant mais le port porte de bonnes perspectives pour la préservation des eaux souterraines et superficielles, ainsi que pour l'amélioration de la gestion des eaux pluviales	Existence de puit d'observation pour le suivi de la qualité des eaux souterraines. Volonté de mettre en œuvre un plan de gestion de l'eau, mais l'état d'avancement de ce projet n'est pas disponible. La gestion des fuites et déversement est une problématique prise en compte par le port
		Surveillance de la qualité de l'eau							
		Gestion des eaux pluviales							
	Gestion durable du milieu terrestre	Dépollution des sols portuaires (quai / arrière quai)	Traitement avancé des sédiments pollués et actions de réduction de la pollution plastique	Gestion des sédiments pollués très développée	Traitement des sols pollués. Pas d'informations concernant le traitement des sédiments pollués	Suivi de la qualité des sédiments, prévention et gestion des pollutions du sol	Identification et gestion des sols pollués. Gestion contrôlée des volumes dragués	Perspective d'améliorer la gestion des sédiments dragués	Réalisation d'un plan de gestion des sols mais datant de 2001 cherchant à valoriser les sols excavés et à traiter les sols contaminés
		Traitement des sédiments pollués							
	Préservation de la qualité de l'air	Surveillance de la qualité de l'air	Mesures émissions trafic routiers, qualité de l'air, hydrocarbures organiques volatiles	Clean air plan, IoT pour suivre la pollution	Développement d'outil de mesure de la qualité de l'air	Mesure des polluants atmosphériques	Pas d'informations à ce sujet	Perspective de mesures des pollutions atmosphériques pour l'instant peu ou pas prises en compte (AtmoSud)	Enjeux important de la qualité de l'air dû à un conflit historique avec la population (priorité de l'enjeu de l'acceptation sociétale)
		Améliorer la qualité de l'air							
	Favoriser la biodiversité	Identification des espèces	Coresponsabilité d'aires classées Natura 2000, programme de protection des espèces -> enjeu pleinement pris en compte et toujours en développement dans la gestion du port	Paiement compensatoire à un organisme pour des mesures de conservation des pour maintenir les écosystèmes. Révision du plan d'occupation des sols pour favoriser les corridors. Dans sa gestion la préservation globale des espaces naturels, aucune information précise sur les actions menées pour la biodiversité n'est détaillée	Perspectives de protection des habitats naturels mais pas d'actions concrètes communiquées. Cet enjeu est peut être traité mais il n'est pas mis en avant par le port	Prise en compte importante de la conservation et restauration de la biodiversité --> développer les habitats, études de suivi, développement des corridors écologiques...	Place importante de la biodiversité dans la stratégie de gestion du port. Favoriser la biodiversité via des inventaires, plan de gestion et préservation de zones sensibles à riche potentiel biologique. Perspectives pour continuer en ce sens	Mise en place d'un plan de gestion des espaces naturels mais pas d'actions concrètes misent en avant (manque d'information) mais perspectives importantes	Développement de la trame verte dans le but de favoriser la continuité écologique, création de nichoirs et lutte contre les espèces invasives
		Continuité écologique (trame verte et bleue)							
		Réintroduction d'espèces							
	Réduction des nuisances sur la biodiversité	Réduction de la pollution sonore	Création de nouvelles réserves naturelles, perspective d'optimisation de l'utilisation de l'espace	Densification de l'espace portuaire. Pollution sonore au cœur des projets en développement (acoustique de l'eau)	Aucune information communiquée --> l'enjeu n'a pas l'air d'être une priorité pour le port	Recherche à optimiser l'occupation de l'espace portuaire (développement du port sur le port). Importance du milieu naturel dans la gestion du port	Gestion économe de l'espace, Perspective d'application de la démarche ERC. Rédaction d'un plan de gestion des espaces naturels	Plusieurs perspectives pour réduire les impacts du port et devenir un site naturel de compensation agréé --> mesurer les nuisances sonores, prise en compte des risques technologiques	Chaque projet d'aménagement est soumis à une évaluation environnementale. Prise en compte des nuisances sonores et lumineuses sur la population mais cet enjeu n'est pas appliqué à la faune et la flore
		Lutte contre les espèces invasives							
		Restauration de la trame noire							

	Objectif non traité ou sans information
	Peu de mesures sont prises
	Certaines mesures sont en vigueur
	Objectif largement pris en compte dans la stratégie du port
	Objectif maximal atteint

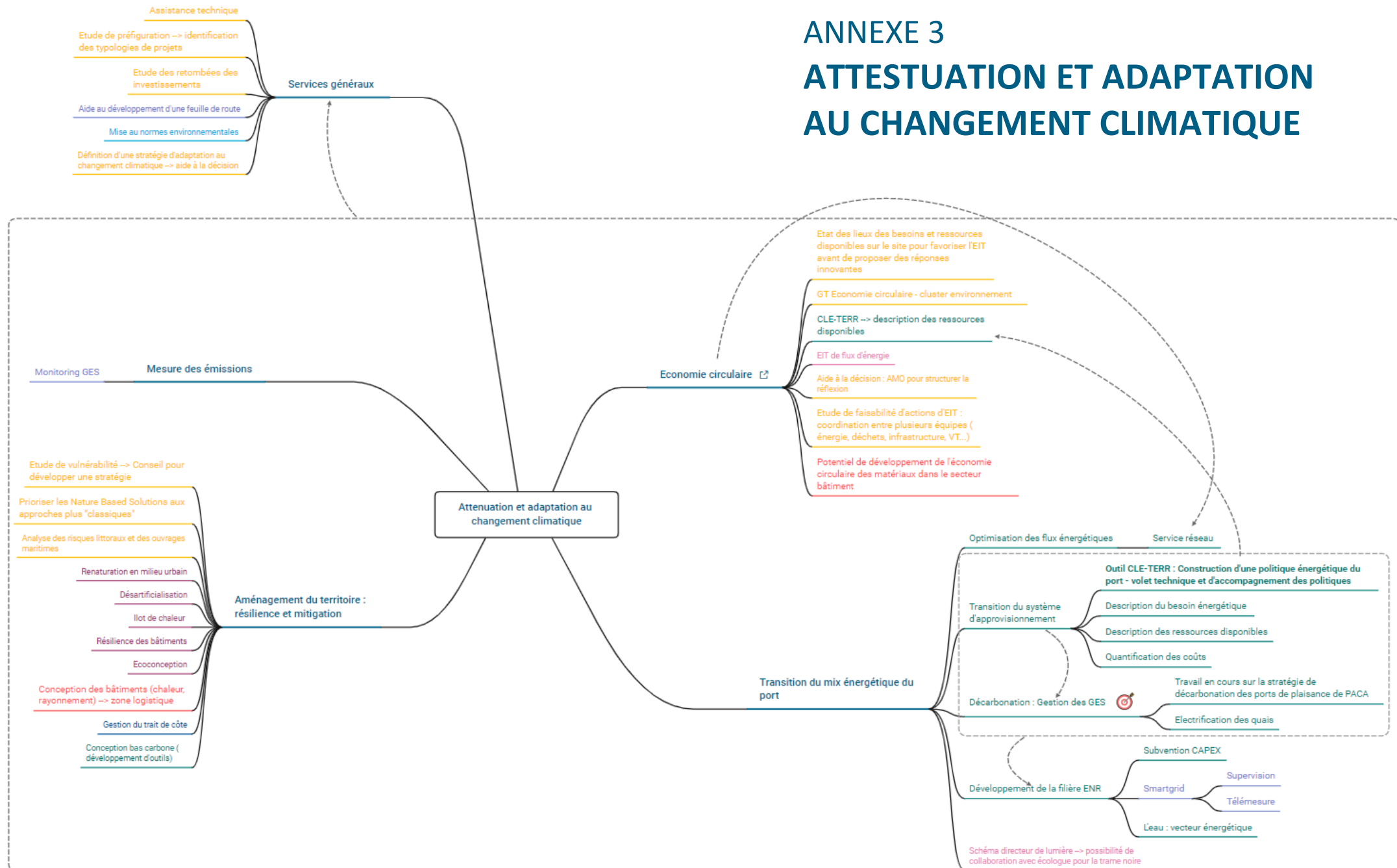


## ANNEXE 3

# CARTES MENTALES – COMPETENCES INTERNES

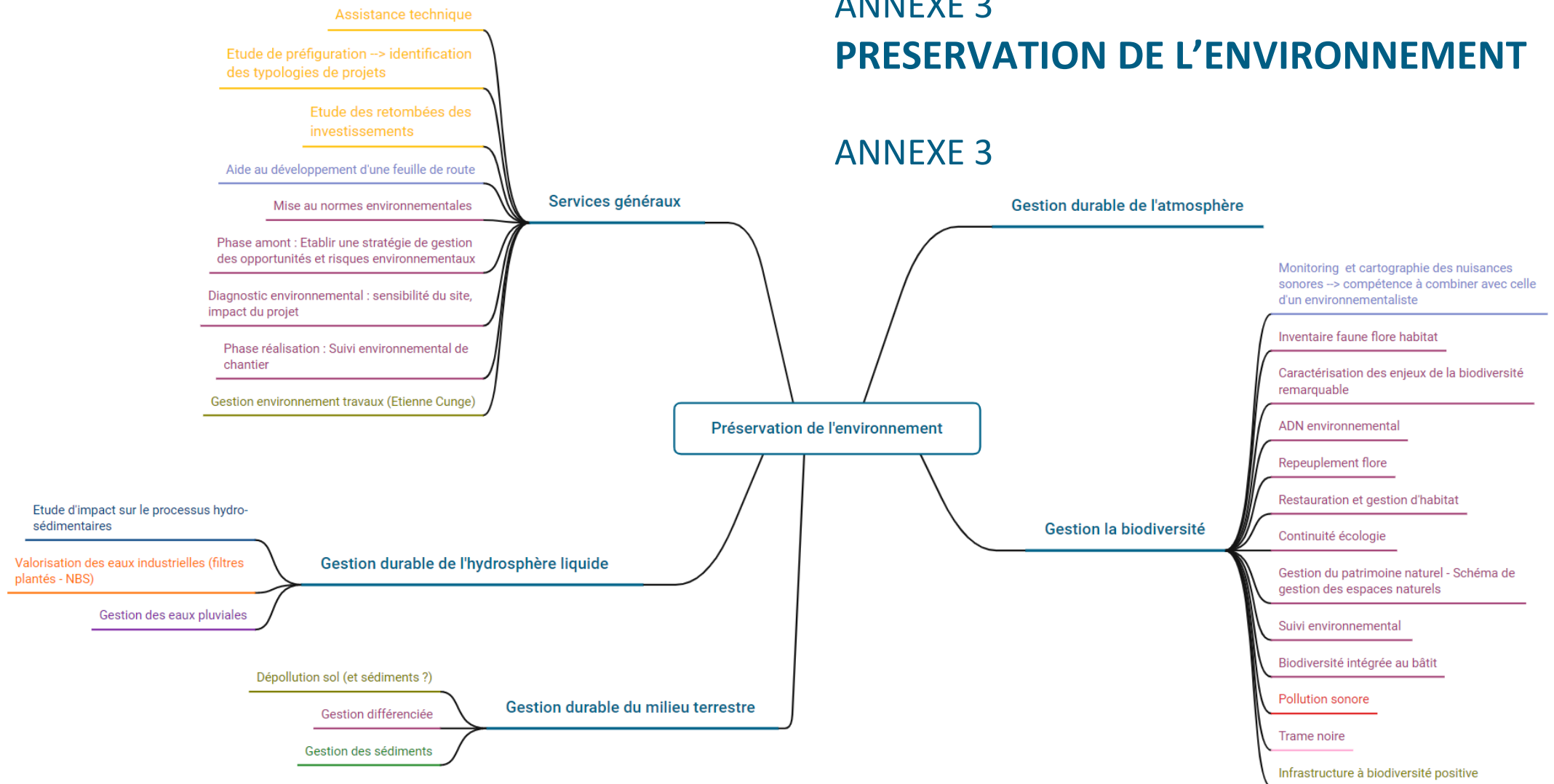
# ANNEXE 3

## ATTESTUATION ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



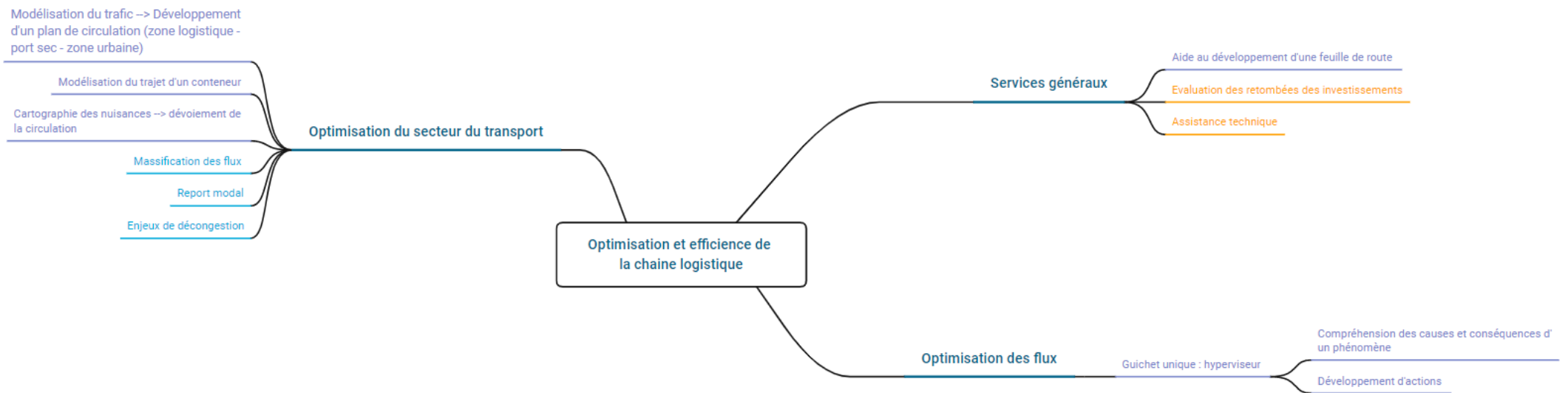
# ANNEXE 3 PRESERVATION DE L'ENVIRONNEMENT

## ANNEXE 3



## ANNEXE 3

# OPTIMISATION ET EFFICIENCE DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE





## ANNEXE 4 OUTIL CARBONEVAL MAR

ANNEXE 4



## ENTREE DONNEES DE DIGUE

Partie de la digue	Surface section type <i>m<sup>2</sup>/tr</i>	Volume de matériau (en tenant compte de la porosité) <i>m<sup>3</sup></i>	Catégorie enrochements		Poids de matériau (en tenant compte de la porosité) <i>(en tonne)</i>	Coefficient de foisonnement transport -
			Poids min enrochements <i>(en tonne)</i>	Poids max enrochements <i>(en tonne)</i>		
Côté mer						
Semelle		0			0	20
Butée		0			0	60
Sous couche extérieure		0			0	20
Carapace extérieure Enrochements		0			0	60
Carapace extérieure Blocs Artificiels		0	-		0	60
Côté port						
Noyau		0			0	0
Couronnement (Granulat, acier, ciment)		0			0	0
Côté port						
Sous couche intérieure		0			0	20
Carapace intérieure Enrochement		0			0	60
Carapace intérieure Blocs Artificiels		0	-		0	60
Butée		0			0	60
Semelle		0			0	20
Longueur digue :						

Type Matériau	Densité (/m <sup>3</sup> )
Noyau tout venant	2,65
Enrochement	2,65
Béton	2,4
Granulats	2,65
Ciment	2,8
Béton armé	3
Acier	7,8

Couches par matériaux	Porosité
Noyau-Tout venant	0,1
Carapace-Enrochements	0,35
Carapace-Blocs Artificiels	0,5
Couronnement-Béton armé	0,1
Sous-couche-Enrochements	0,35
Butée-Enrochements	0,35
Semelle-Erochement	0,35

	Capacité min	Capacité max
Approvisionnement routier rigide (en tonne)	12	20
Approvisionnement vraquier fluvo-maritime (en tonne)	500	2500
Approvisionnement vraquier handysize (en tonne)	5000	40250
Approvisionnement souple à béton PTAC (en m3)	0	8

Engins	Capacité (t ou max (indique))	Nombre de benne (chargement, aller-retour, pose blocs) dans l'heure	Nombre d'heure travaillées par jour de chantier
Chargeuse sur pneus (20-25t)	25		
Tombereau articulé (25-30t)	30		
Tombereau rigide (40-50t)	50		
Pelle sur chenille 40-70t	70		
Pelle sur chenille 70-100t	100		
Pelle sur chenille 100-120t	120		
Grue à treillis sur chenille (115t)	-		
Grue à treillis sur chenille (220t)	-		
Grue à treillis sur chenille (300t)	-		
Centrale à béton	-		
Pompe à béton	-		
Bouteur (bulldozer) (25-30t)	30		

# CONTRIBUTEUR 1 :

## CHANGEMENT D'OCCUPATION DES SOLS

		Etat initial (considérer ce qui est impacté par le projet)					Impact solution 1						
		Configuration du site	Surface (Ha)	valeur ou facteur émission	Stock co2	unité	Solution alternative	Surface (Ha)	Durée de vie de l'ouvrage (25 ans par défaut selon l'AFD)	valeur ou facteur émission	Stock co2	unité	
Changement d'occupation des sols	Surface	Forêt ou espace vert (ha)		stock sol 290t/ha	0	teq CO2	prairie			stock sol -0,37t/ha.an	0	teqCO2	
							Forêt ou espace vert (inchangé)			stock sol 290t/ha	0	teqCO2	
							culture			stock sol -2,75t/ha.an	0	teqCO2	
							imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
		Prairie		stock sol 290t/ha	0	teq CO2	forêt ou espace vert			stock sol 0,37t/ha.an	0	teqCO2	
							Prairie (inchangé)			stock sol 290t/ha	0	teqCO2	
							culture			stock sol -3,48t/ha.an	0	teqCO2	
							imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
		Culture		stock sol 190t/ha	0	teq CO2	forêt ou espace vert			stock sol 1,61t/ha.an	0	teqCO2	
							culture (inchangé)			stock sol 190t/ha	0	teqCO2	
							prairie			stock sol 1,8t/ha.an	0	teqCO2	
							imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
		Zone humide		stock sol 150t/ha	0	teq CO2	zone humide (inchangé)			stock sol 150t/ha	0	teqCO2	
							imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
		Mangroves		stock sol 603t/ha	0	teq CO2	imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
							mangroves (inchangé)			stock sol 603t/ha	0	teqCO2	
		Herbier de Posidonie		stock sol 45t/ha	0	teq CO2	Herbier de Posidonie (inchangé)			stock sol 45t/ha	0	teqCO2	
							imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
		Surface imperméable ou surface nue (roche sable)		stock sol 0t/ha	0	teq CO2	imperméabilisés			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
							surface nue (roche, sable)			stock sol 0t/ha	0	teqCO2	
							mangroves			stock sol 6t/ha.an	0	teqCO2	
							Herbier de posidonie			stock sol 0,313t/ha.an	0	teqCO2	
							Forêt ou espace vert			stock sol 2,9t/ha.an	0	teqCO2	
	Stock CO2		0					0					
	Différence d'émission entre l'état initial et la solution		0										
	Différence d'émission entre la solution 1 et la solution 2		0										

**CONTRIBUTEUR 2 :**

**FABRICATION ET EXTRACTION DES MATERIAUX**

		Solution 1 de conception					Solution 2 de conception							
		Catégories	T de matériaux (t)	Volume de matériaux (m3)	valeur ou facteur émission (kgeqCO2/t)	Impact émission co2	unité	Catégories	T de matériaux (t)	Volume de matériaux (m3)	valeur ou facteur émission (kgeqCO2/t)	Impact émission co2	unité	Source biblio
Matériaux construction digue à talus	Matériaux	CARAPACE - Accropode™ (13%ciment [2,8t/m3], 87% granulats [2t/m3])						CARAPACE - Accropode™ (13%ciment, 87% granulats)						
		ciment CEM I			881	0	kgeqCO2	ciment CEM I			881	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18
		ciment CEM II A - L			779	0	kgeqCO2	ciment CEM II A - L			779	0	kgeqCO2	ATILH Déclaration environnementale 2017
		ciment CEM III A			456	0	kgeqCO2	ciment CEM III A			456	0	kgeqCO2	ATILH Déclaration environnementale 2017
		ciment CEM III B			370	0	kgeqCO2	ciment CEM III B			370	0	kgeqCO2	ATILH Déclaration environnementale 2017
		ciment CEM V A			536	0	kgeqCO2	ciment CEM V A			536	0	kgeqCO2	ATILH Déclaration environnementale 2017
		Granulats concassé			4	0	kgeqCO2	Granulats			4	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18
		Granulats issus du recyclage			3	0	kgeqCO2	Granulats issus du recyclage			3	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18
		CARAPACE - Enrochements						CARAPACE - Enrochements						
		Pierre de taille / enrochement			11	0	kgeqCO2	Pierre de taille / enrochement			11	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18
	HORS CARAPACE - Enrochements						HORS CARAPACE - Enrochements							
	Pierre de taille / enrochement			11	0	kgeqCO2	Pierre de taille / enrochement			11	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18	
	COURONNEMENT						COURONNEMENT							
	Béton armé			155	0	kgeqCO3	Béton armé			155	0	kgeqCO3	Base carbone ADEME V18	
	NOYAU - Tout venant						NOYAU - Tout venant							
	Tout venant			4	0	kgeqCO2	Tout venant			4	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V19	
	Tout venant dragué			4,67	0	kgeqCO2	Tout venant dragué			4,67	0	kgeqCO2	GEODE - Dragage - Rédaction : Egis eau 2018	
CO2 maintenance sur 25 ans		0						0						
Bilan CO2 dont maintenance		0						0						
Différence d'émission entre la solution 1 et la solution 2		0												teqCO2

## CONTRIBUTEUR 3 : CONSTRUCTION VOIRIE

		Solution 1 de conception					Solution 2 de conception					Source biblio
		Catégorie	Surface voirie (m2)	valeur ou facteur émission (kgeqCO2/m2)	Impact émission co2	unité	Catégorie	Surface voirie (m2)	valeur ou facteur émission (kgeqCO2/m2)	Impact émission co2	unité	
Construction voirie	Matériaux	Tout venant compacté (accès)		2,85	0	kgeqCO2	Tout venant compacté (accès)		2,85	0	kgeqCO2	Base carbone ADEME V18.0
		Réutilisation de matériaux issus du site		2,15	0	kgeqCO2	Réutilisation de matériaux issus du site		2,15	0	kgeqCO2	-
	Bilan CO2	0					0					
	Différence d'émission entre la solution 1 et la solution 2	0					0					teqCO2

# CONTRIBUTEUR 4 :

## APPROVISIONNEMENT DES MATERIAUX

CONTRIBUTEUR 4 :

		Solution 1 d'approvisionnement						Solution 2 d'approvisionnement						Source biblio
		Distance de la rotation (site d'approvisionnement - chantier)	T de matériaux (t)	Volume de matériaux (m3)	valeur ou facteur émission (kgCO2/t.km)	Impact émission co2	unité	Distance de la rotation (site d'approvisionnement - chantier)	T de matériaux (t)	Volume de matériaux (m3)	valeur ou facteur émission (kgCO2/t.km)	Impact émission co2	unité	
Transport/Logistique	Approvisionnement enrochement (routier rigide 12-20t)	Carrière - site			0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	Nota : base carbone v18 plusieurs catégories de transport mais rigide 12 à 20t a un FE de 0,152kg/t.km NOTA : train : 6 à 9 10-3 kg/t.km mais non utilisé entre la carrière et le site car la desserte est trop complexe pour une distance aussi courte
	Approvisionnement enrochement (vraquier fluvio-maritime 500-2500t)				0,019	0	kgeqCO2				0,019	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement enrochement (vraquier handysize < 40 250 t)				0,011	0	kgeqCO2				0,011	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement tout venant (routier rigide 12-20t)				0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement tout venant (vraquier fluvio-maritime 500-2500t)				0,019	0	kgeqCO2				0,019	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement tout venant (vraquier handysize < 40 250 t)				0,011	0	kgeqCO2				0,011	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement granulats (routier rigide 12-20t)	Fabrication béton sur site			0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement granulats (vraquier fluvio-maritime 500-2500t)				0,019	0	kgeqCO2				0,019	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement granulats (vraquier handysize < 40 250 t)				0,011	0	kgeqCO2				0,011	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement ciment (routier rigide 12-20t)				0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement acier (0,8% du volume total de béton armé) (routier rigide 12-20t)	Fabrication béton hors site			0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	Consommation des toupies Sany 308C-8 Emission diésel : Base carbone ADEME
	Approvisionnement béton accropode ou couronnement (toupie à béton PTAC : 8m3)				0,0514	0	kgeqCO2				0,0514	0	kgeqCO2	
	Approvisionnement béton accropode ou couronnement (toupie à béton PTAC : 8m3)	Zone stockage - chantier			0,0514	0	kgeqCO2				0,0514	0	kgeqCO2	
	Transport accropode (routier rigide 12-20t)				0,12	0	kgeqCO2				0,12	0	kgeqCO2	
CO2 maintenance sur 25 ans		0						0						teqCO2
Bilan CO2 dont maintenance		0						0						
Différence d'émission entre la solution 1 et la solution 2		0						0						

# CONTRIBUTEUR 5 :

## MISE EN ŒUVRE – EMISSIONS DES ENGINS DE CHANTIER

### BILAN CONTRIBUTITEUR 5 :

		Solution 1 de mise en œuvre					Solution 2 de mise en œuvre					Source biblio
		Catégories	Temps d'utilisation en jour travaillé (7h/journée)	valeur ou facteur émission (kg.CO2/h)	Impact émission co2	unité	Catégories	Temps d'utilisation en jour travaillé (7h/journée)	valeur ou facteur émission (kg.CO2/h)	Impact émission co2	unité	
Construction	Engins	Chargeuse sur pneus (20-25t)		20	0	kgeqCO2	Chargeuse sur pneus (20-25t)		20	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Tombereau articulé (25-30t)		41,2	0	kgeqCO2	Tombereau articulé (25-30t)		41,2	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Tombereau rigide (40-50t)		82,4	0	kgeqCO2	Tombereau rigide (40-50t)		82,4	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Pelle sur chenille 40-70t		38	0	kgeqCO2	Pelle sur chenille 40-70t		38	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Pelle sur chenille 70-100t		50	0	kgeqCO2	Pelle sur chenille 70-100t		50	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Pelle sur chenille 100-120t		65	0	kgeqCO2	Pelle sur chenille 100-120t		65	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
		Grue à treillis sur chenille (115t)		76	0	kgeqCO2	Grue à treillis sur chenille (100t)		76	0	kgeqCO2	Puissance moteur diesel grues à flèches Liebherr
		Grue à treillis sur chenille (220t)		76	0	kgeqCO2	Grue à treillis sur chenille (200t)		76	0	kgeqCO2	Puissance moteur diesel grues à flèches Liebherr
		Grue à treillis sur chenille (300t)		127	0	kgeqCO2	Grue à treillis sur chenille (300t)		127	0	kgeqCO2	Puissance moteur diesel grues à flèches Liebherr
		Centrale à béton			0	kgeqCO2	Centrale à béton			0	kgeqCO2	
		Pompe à béton			0	kgeqCO2	Pompe à béton			0	kgeqCO2	
		Bouteur (bulldozer) (25-30t)		25	0	kgeqCO2	Bouteur (bulldozer) (25-30t)		25	0	kgeqCO2	Guide sectoriel 2012 - Carrière de granulats et site de recyclage - ADEME
	CO2 maintenance sur 25 ans	0					0					teqCO2 / an
	Bilan CO2 dont maintenance	0					0					
	Différence d'émission entre la solution 1 et la solution 2	0					0					

## BILAN

Bilan CO2, en considérant un changement d'usage de 100 ans incluant la construction de l'ouvrage et des voiries, et en considérant 25 ans d'exploitation

0 teqCO2

Pour mémoire, quelques exemples de ce que les gains ont permis d'éviter :

0	teqCO2	A/R Paris-Marseille en avion pour une personne	<a href="https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/">https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/</a>
0	teqCO2	km en voiture	<a href="http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/revolutionTauxCo2">http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/revolutionTauxCo2</a>
0	teqCO2	empreinte carbone d'un français par an (2018)	<a href="https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/empreinte-carbone-des-francais-reste-stable">https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/empreinte-carbone-des-francais-reste-stable</a>

Nous attirons votre attention sur le fait qu'il vous appartient de vous assurer que techniquement les solutions alternatives sont pertinentes, car à l'évidence, l'enjeu d'économie de carbone ne peut être le seul aspect à considérer. Par exemple, impacts environnementaux de l'extraction de matières premières.



**POLYTECH**  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

Philomène Pagès

[Étudiante]

2020-2021

## Concevoir et développer des projets portuaires selon la « Green & Smart port » attitude

**Abstract:** This 4th year internship report recount the development of the « Green & Smart ports » study for the Artelia Group. The purpose is to identify eventual commercial offers that might be developed by the company within the scope of responding to the three main issues of the “Green & Smart ports” approaches:

- Reduction and Adaptability to climate change
- Environment preservation
- Supply chain efficiency and optimisation

The work consisted in drawing an inventory of the issues and associated levers in 7 ports. Then, exchanges have been organised with several units to identify the skills that might be managed to set up synergies between them. By crossing these information, the levers have been prioritised. In the aim to reduce Artelia’s maritime projects’ impact on climate change, a tool to compare greenhouse gas emissions of two dykes’ conception has been design. This internship has been very complete by its quantitative and qualitative aspects.

Artelia :

Adresse 6 Rue de Lorraine,  
38130 Échirolles

Tuteurs entreprise :

Osanne Paireau, Jean-François De Calonne, Sébastien Ledoux

Tuteur académique :

Abdel Illah Hamdouch