

# Rapport d'évaluation du Bilan de Gas à Effet de Serre (BGES)



Présenté par AMINE BOUANANI



**Université Abdelmalek Essaâdi**  
**FACULTE DE SCIENCES ET TECHNIQUES**  
**TANGER**

**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

Présenté à la faculté pour l'obtention du diplôme de

Licence en sciences et techniques

Domaine : Statistiques et Science des Données

**Titre :**

**Calcul de l'empreinte carbone de TMPA**

**Soumis par :**

Amine Bouanani

**Encadré par :**

Prof.El fassi Kaouthar (Fst)

Mr. Mohammed Eddoujaji (Tanger Med Port Authority)

**SOUTENU LE 25/06/2024 DEVANT :**

- Pr.Mhamed El Merzguioui
- Pr. El fassi Kaouthar
- Pr. Adil Lahrouz
- Pr.Amtout Tarik
- Pr.El Amrani Jamal

## Dédicaces

Je tiens à remercier mes amis et collègues à l'université, votre amitié, vos conseils et votre collaboration ont rendu ce parcours académique à la fois agréable et épanouissant. Les moments que nous avons partagés, les défis que nous avons surmontés ensemble et le soutien mutuel que nous nous sommes apporté ont été essentiels à ma réussite. Les sessions d'étude tard dans la nuit, les projets de groupe et les innombrables heures passées à discuter d'idées et à résoudre des problèmes ont enrichi mon expérience universitaire. Votre camaraderie et votre soutien ont été inestimables, et je suis reconnaissant pour les amitiés durables que nous avons formées. Les expériences et les souvenirs que nous avons créés ensemble occuperont toujours une place spéciale dans mon cœur.

A ma famille, en particulier mes parents, je dois ma plus profonde gratitude, vos sacrifices, votre encouragement et votre foi inébranlable en moi ont été mes piliers de force. Vous avez toujours été là pour me soutenir, m'apportant une assistance tant émotionnelle que pratique tout au long de mon parcours. Vos encouragements constants et vos conseils avisés m'ont guidé à travers chaque défi. À mes deux frères, votre soutien et votre amour ont été ma plus grande motivation. Votre foi collective en moi a toujours été ma force motrice, et pour cela, je vous en suis éternellement reconnaissant. La fondation d'amour et d'encouragement que vous avez construit m'a permis de poursuivre mes rêves avec confiance et détermination. Votre soutien indéfectible a été la pierre angulaire de mon succès, et je suis profondément reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi.

## **Remerciement**

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à mon superviseur, M. Mohammed Eddoujaji, au sein de l'entreprise, votre guidance, votre patience et vos connaissances expertes ont été essentielles pour naviguer à travers les complexités de ce projet. Depuis les étapes initiales jusqu'à l'exécution finale, votre soutien indéfectible et vos retours constructifs ont été inestimables. Votre capacité à me pousser à réfléchir de manière critique et à dépasser mes limites a grandement contribué à mon développement professionnel. Je vous suis profondément reconnaissant pour le temps et les efforts que vous avez investis dans mon mentorat et pour la confiance que vous avez placée en mes compétences. Votre dévouement à mon développement a laissé une empreinte durable sur ma carrière. Les connaissances et les compétences que j'ai acquises sous votre mentorat continueront à me bénéficier dans mes futures entreprises. Votre engagement envers l'excellence et votre passion pour le domaine ont été véritablement inspirants.

Je tiens également à remercier chaleureusement Madame El Fassi Kaoutar, ma superviseure à la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger. Votre soutien constant, votre expertise et vos conseils avisés ont été des éléments clés dans l'achèvement de ce projet. Votre capacité à me guider avec patience et à m'encourager à approfondir mes connaissances a grandement enrichi mon expérience académique. Je vous suis profondément reconnaissant pour votre disponibilité et votre dévouement à mon égard. Votre influence positive et votre passion pour l'enseignement ont laissé une empreinte indélébile sur mon parcours universitaire et professionnel.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à mes collègues et à tout le groupe TMPA pour l'opportunité inestimable de travailler aux côtés de professionnels si dévoués. Le soutien et la collaboration de chaque membre de l'équipe ont été essentiels à ma croissance et à mon apprentissage tout au long de ce projet. Votre volonté de partager vos connaissances, de fournir de l'assistance et de travailler ensemble harmonieusement a créé un environnement véritablement enrichissant. Chaque discussion, séance de brainstorming et effort collaboratif ont largement contribué au succès de ce projet.

Un merci tout particulier à mon binôme, dont le partenariat et la camaraderie ont rendu cette expérience encore plus gratifiante. Travailler avec vous a non seulement amélioré mes compétences techniques, mais a également favorisé un profond sens du travail d'équipe et du respect mutuel. Votre dévouement, votre enthousiasme et vos idées innovantes ont été une source d'inspiration, et je suis reconnaissant pour le lien que nous avons formé.

## Résumé

Ce rapport présente une étude approfondie sur le calcul de l'empreinte carbone au sein de TMPA. En utilisant des méthodes d'analyse et des techniques statistiques spécifiques, l'objectif principal était d'identifier les sources d'émissions de carbone significatives et de formuler des recommandations pour leur réduction. Les résultats de l'analyse mettent en lumière les aspects critiques nécessitant des ajustements afin d'améliorer l'empreinte carbone globale de TMPA. Ce rapport offre ainsi une perspective précise et technique pour guider les efforts visant à renforcer la durabilité environnementale au sein de l'organisation.

## GLOSSAIRE

**TMPA:** Tanger med port authority

**TMSA:** Tanger med special agency

**FM6E :** fédération Mohammed 6 de protection de l'environnement

**GES :** gaz à effet de serre

**GE :** global emission

**FE :** facteur d'émission

**ML :** Machine Learning

**ADEME :** l'Agence Française De l'Environnement et de Maitrise de l'Energie

## TABLEAUX

<b>Tableau 1 : Les 6 gaz à effet de serre .....</b>	29
<b>Tableau 2 : Scopes d'émission.....</b>	32
<b>Tableau 3 : Postes d'émission .....</b>	33
<b>Tableau 4 : Répartition d'émissions par catégories .....</b>	34
<b>Tableau 5 : Répartition d'émissions par postes d'émission .....</b>	35
<b>Tableau 6 : répartition d'émission par mois e fonctions de catégories.....</b>	44
<b>Tableau 7 : Matrice de corrélations .....</b>	48
<b>Tableau 8 : tableau d'émission par année .....</b>	50
<b>Tableau 9 : Incertitudes.....</b>	53

## FIGURES

<b>Figure 1: Filiales de TMSA.....</b>	16
<b>Figure 2 : Actionnaires .....</b>	16
<b>Figure 3 : Plan de masse .....</b>	17
<b>Figure 4 : Organigramme .....</b>	18
<b>Figure 5 : Diagramme d'Ishikawa .....</b>	19
<b>Figure 6 : Diagramme de Gantt .....</b>	20
<b>Figure 7 : Périmètre organisationnel .....</b>	24
<b>Figure 8 : Périmètre opérationnel .....</b>	25
<b>Figure 9 : Gaz à effet de serre.....</b>	28
<b>Figure 10 : Bilan globale d'émissions de TMPA en 2023 .....</b>	33
<b>Figure 11 : visualisation d'émission par catégories .....</b>	34
<b>Figure 12 : Histogramme d'émission des postes d'émission.....</b>	36
<b>Figure 13 : Visualisation d'émission des postes d'émission .....</b>	36
<b>Figure 14 : The heatmap correlation .....</b>	49
<b>Figure 15 : Régression linéaire .....</b>	50
<b>Figure 16 : Analyse prédictive par régression linéaire (Forcasting) .....</b>	51

## TABLE DE MATIERES

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>12</b>
<b>CHAPITRE1 : CONTEXTE GENERALE.....</b>	<b>14</b>
1.    Introduction .....	15
2.    Organisation Hote .....	15
2.1.    Tanger Med complexe.....	15
2.2.    TMSA .....	15
2.2.1.    Introduction .....	15
2.2.2.    Filiales de TMSA .....	16
2.2.3.    Actionnaires .....	16
2.3.    TMPA .....	17
2.3.1.    Création de TMPA .....	17
2.3.2.    Plan de masse du port Tanger Med .....	17
2.3.3.    Organigramme de TMPA .....	18
3.    Présentation du projet.....	18
3.1.    Contexte.....	18
3.2.    Gestion de projet.....	19
3.2.1.    Projet .....	19
3.2.2.    Diagramme d'Ishikawa.....	19
3.2.3.    Diagramme de Gantt .....	20
4.    Conclusion.....	20
<b>CHAPITRE2 : PERIMETRE ET METHODLOGIE DE CALCUL.....</b>	<b>21</b>
1.    Introduction .....	22
2.    Empreinte Carbone .....	22
2.1.    Définition .....	22
2.2.    Situation de l'empreinte carbone au Maroc.....	23
2.2.1.    Contexte et Mesures .....	23
2.2.2.    Expérience et défis .....	23
3.    Définition de cadre de travail .....	24
3.1.    Année de référence .....	24
3.2.    Périmètres organisationnels et opérationnels .....	24
3.2.1.    Périmètre organisationnel.....	24
3.2.2.    Périmètre opérationnel .....	25

<b>4. Méthodologie de calcul.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Outil de comptabilisation GES.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Principe de calcul de base .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3. Gaz concernés .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1. L'effet de serre.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2. Les 6 gaz à effet serre .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Conclusion.....</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE3 : RESULTAT ET ANALYSE DU BILAN CARBONE .....</b>	<b>30</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>31</b>
<b>2. Périmètre du bilan carbone .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1. Scopes .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2. Activités liées .....</b>	<b>32</b>
<b>3. Répartition et analyse du bilan des émissions de GES.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. Bilan global des émissions GES.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. Répartition par catégories .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3. Répartition par postes d'émissions .....</b>	<b>35</b>
<b>4. Comparaison avec d'autres ports .....</b>	<b>41</b>
<b>5. Etude de corrélation et Forcasting.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1. Etude de corrélation .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2. Etude d'un modèle prédictif .....</b>	<b>49</b>
<b>6. Eléments d'appréciation sur les incertitudes .....</b>	<b>52</b>
<b>6.1. Incertitudes .....</b>	<b>52</b>
<b>6.2. Exclusions.....</b>	<b>53</b>
<b>7. Conclusion.....</b>	<b>53</b>
<b>CHAPITRE4 : STRATEGIES DE REDUCTION DES ÉMISSIONS .....</b>	<b>55</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>56</b>
<b>2. Actions de reduction.....</b>	<b>56</b>
<b>3. Actions de compensation.....</b>	<b>58</b>
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>60</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>61</b>

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

L'empreinte carbone est devenue un indicateur essentiel de l'impact environnemental des activités humaines, mesurant les émissions de gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), générées directement ou indirectement par une organisation, un produit ou un processus. La mesure précise de cette empreinte permet de quantifier la contribution spécifique à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, amplifiant ainsi les changements climatiques.

Au sein de l'Autorité Portuaire de Tanger Med (TMPA), en collaboration avec la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdelmalek Essaâdi (FST), j'ai entrepris un projet visant à évaluer et à quantifier l'empreinte carbone au sein du TMPA. Ce projet s'inscrit dans une démarche proactive visant à comprendre et à minimiser l'impact environnemental de l'activité portuaire, tout en respectant les normes environnementales en vigueur.

En utilisant des techniques avancées d'analyse de données et de modélisation statistique, nous avons pu fournir une évaluation détaillée des émissions de gaz à effet de serre dans diverses catégories au sein du port. L'objectif principal était de déterminer les principales sources d'émissions et d'identifier les opportunités d'amélioration pour réduire efficacement l'empreinte carbone de TMPA. Ces efforts sont cruciaux pour aligner le développement économique avec la durabilité environnementale, tout en contribuant à l'atténuation du changement climatique à l'échelle locale et globale.

C  
hapitre

1

## CONTEXTE GÉNÉRALE

## **1. Introduction**

Ce chapitre donne un aperçu du complexe portuaire Tanger Med, en mettant l'accent sur les rôles et les objectifs de la TMSA et de la TMPA. Ensuite, nous allons expliquer le contexte spécifique de notre étude, qui porte sur l'évaluation de l'empreinte carbone du TMPA. J'exposerai la méthodologie de gestion du projet et fournirai un diagramme de Gantt pour illustrer le calendrier et les principales étapes clés.

## **2. Organisation Hôte**

### **2.1. Tanger Med complexe**

Le complexe portuaire de Tanger Med, situé à environ 40 km à l'est de Tanger, sur le détroit de Gibraltar, est l'un des plus grands et des plus modernes ports de la Méditerranée et d'Afrique. Inauguré en 2007, Tanger Med joue un rôle stratégique dans le commerce international grâce à sa position géographique privilégiée, reliant l'Europe, l'Afrique et le reste du monde.

Le port Tanger Med offre des installations modernes pour des besoins variés. Il est divisé en 3 sous port : Le port de Tanger Med 1, le port Passagers et Roulier et le port de Tanger Med 2.

### **2.2. TMSA**

#### ***2.2.1. Introduction***

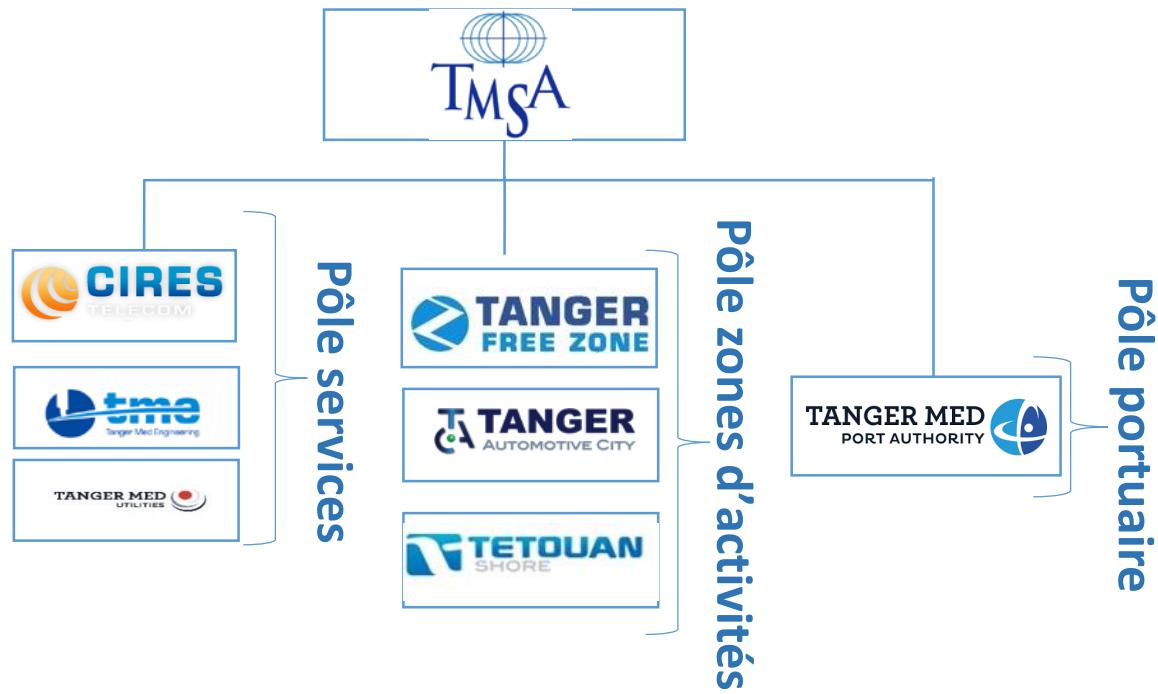
La création de TMSA est le résultat d'un concept de gouvernance novateur initié par l'État marocain afin de réaliser dans les meilleures conditions un projet économique intégré et structurant, tout en maintenant un cap ferme par rapport aux objectifs stratégiques, en assurant un strict respect des engagements de délais, de budget et de qualité, et en cherchant à optimiser les impacts.

TMSA est une société anonyme à Directoire et Conseil de surveillance au capital de 818 000 000 de dirhams (75 millions d'euros). Elle est contrôlée directement par l'État à travers le Fonds Hassan II pour le Développement Économique et Social.

Cette société a été dotée de prérogatives de puissance publique définies par le décret-loi N°2-02-644 du 2 rejab 1423 (10 septembre 2002) portant création de la Zone Spéciale de Développement et par la convention conclue avec l'État le 17 février 2003.

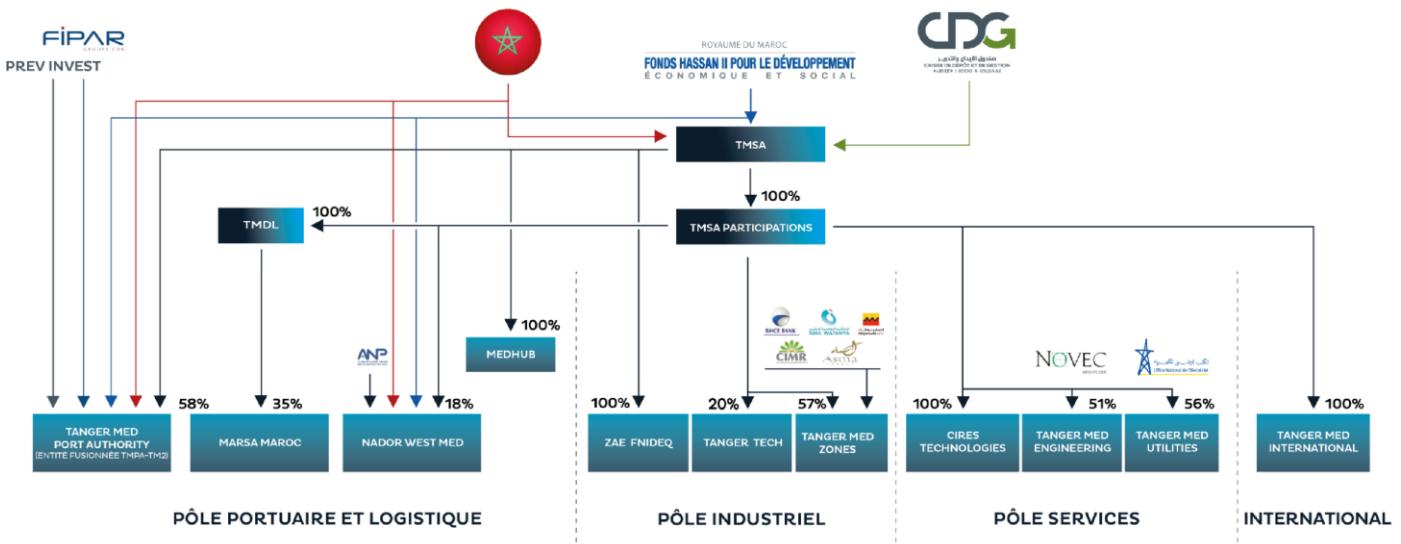
Ces prérogatives incluent les missions d'autorité publique sur le port et sur les zones franches. Elles confèrent à TMSA un rôle d'acteur territorial public concerné par les aspects d'aménagement du territoire et d'aménagement urbanistique au niveau de la zone spéciale de développement étendue sur une superficie de 550 km<sup>2</sup> autour du port Tanger Med.

### **2.2.2. Filiales de TMSA**



**Figure 1: Filiales de TMSA**

### **2.2.3. Actionnaires**



**Figure 2 : Actionnaires**

## 2.3. TMPA

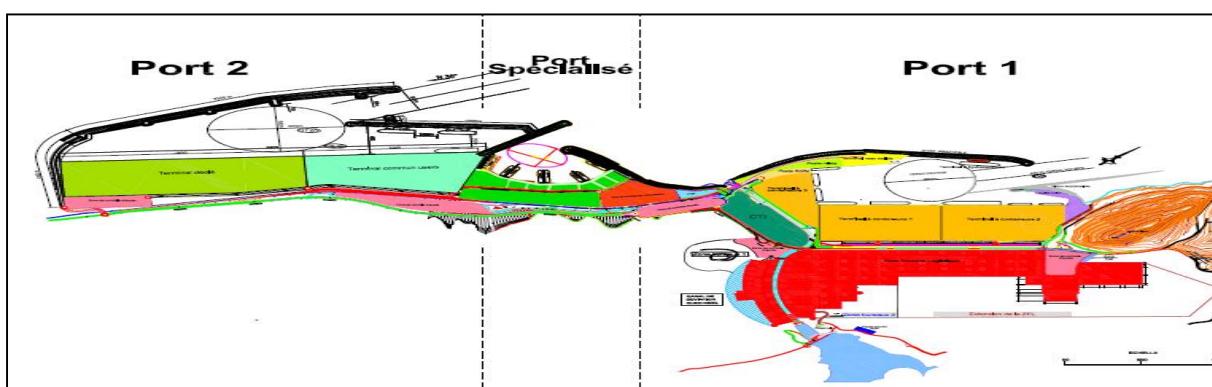
### 2.3.1. *Création de TMPA*

En 2008, en vue d'optimiser l'efficacité opérationnelle des deux cœurs de métiers de TMSA que sont le port et les zones d'activités et à en accroître les capacités de développement, TMSA a engagé un processus de filialisation qui a conduit à la création d'une filiale dédiée à l'activité portuaire, la société Tanger Med Port Authority (TMPA).

En Janvier 2010, Tanger Med Port Authority s'est vue transférer par décret-loi l'ensemble des missions et prérogatives publiques relatives à la gestion et au développement du complexe portuaire du port Tanger Med. TMPA est une société anonyme à conseil d'administration, dotée d'un capital de 1,250 milliards de dirhams. Le capital de TMPA est réparti à hauteur de 70% pour TMSA et à hauteur de 30% pour FIPAR, la société d'investissement du groupe CDG, conformément au protocole d'accord signé en Juillet 2008 entre TMSA et la Caisse de Dépôt et de Gestion (CDG).

### 2.3.2. *Plan de masse du port Tanger Med*

Le port Tanger Med est la pierre angulaire d'une plate-forme multimodale performante grâce à sa situation stratégique sur le détroit de Gibraltar à la croisée des plus grandes routes maritimes, ses infrastructures de premier ordre et ses connections routières et autoroutières.



**Figure 3 : Plan de masse**

### 2.3.3. Organigramme de TMPA

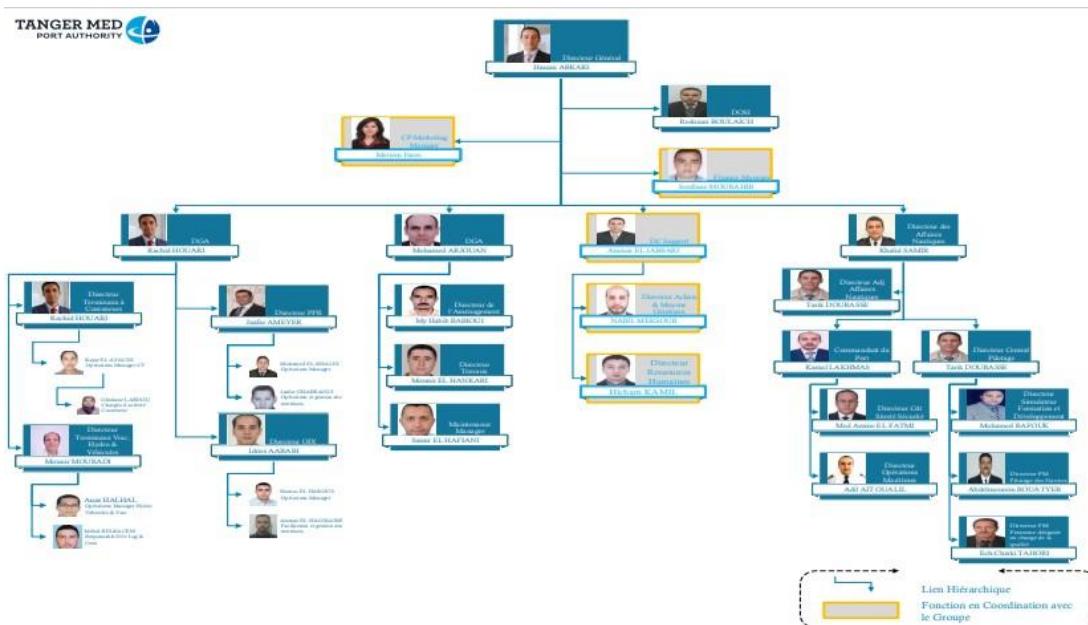


Figure 4 : Organigramme

## 3. Présentation du projet

### 3.1. Contexte

Dans un contexte mondial marqué par des préoccupations environnementales croissantes, la gestion durable des activités industrielles et logistiques est devenue une priorité. Les ports, en tant que hubs majeurs de commerce et de transport, jouent un rôle clé dans cette dynamique. Tanger Med, l'un des plus grands complexes portuaires en Afrique et dans la région méditerranéenne, n'échappe pas à cette tendance.

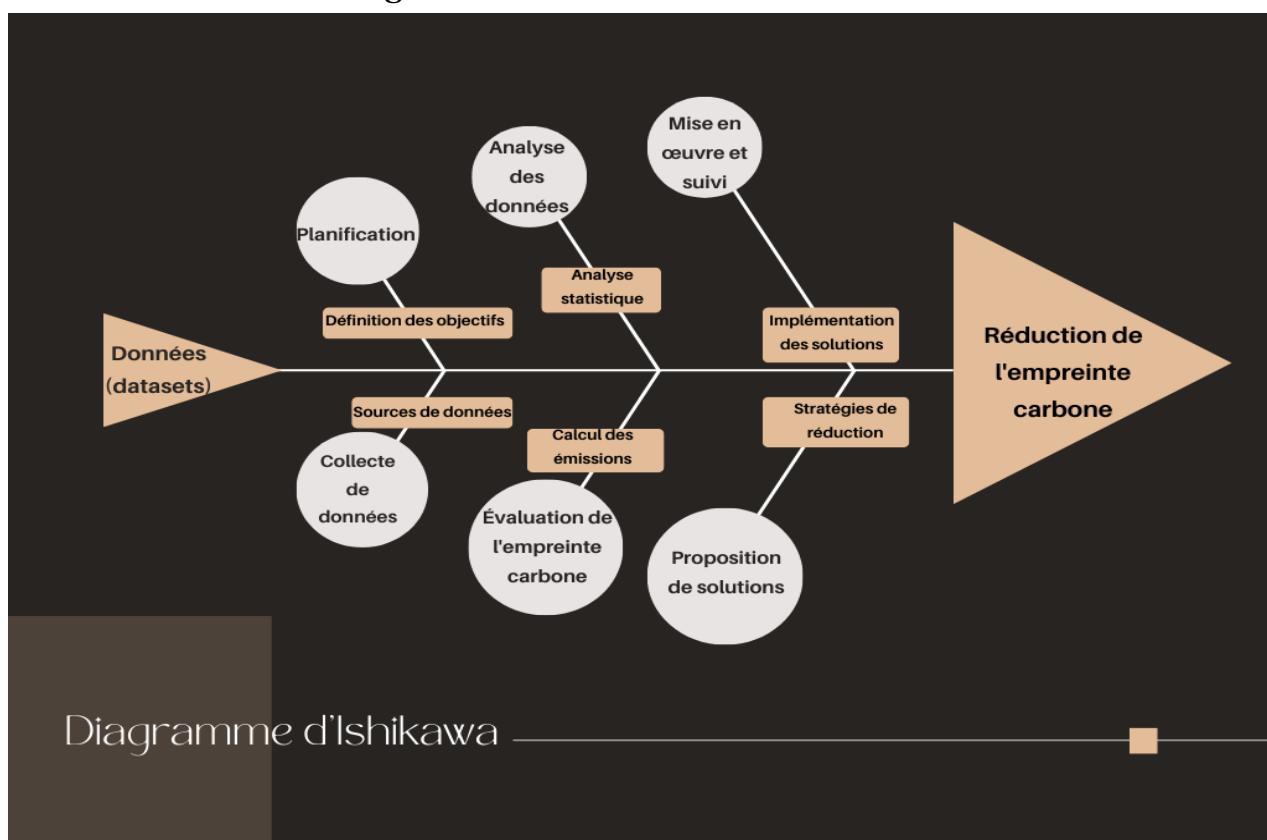
Je suis particulièrement intéressé par ce projet car il s'inscrit dans une volonté globale de réduire notre empreinte écologique et de promouvoir des pratiques durables. L'empreinte carbone représente la quantité totale de gaz à effet de serre (GES) émis directement ou indirectement par les activités humaines, exprimée en équivalent CO<sub>2</sub>. Mon projet de calcul de l'empreinte carbone de TMPA s'inscrit dans cette volonté de minimiser l'impact environnemental des activités portuaires. L'objectif est de mesurer, analyser et proposer des solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi aux efforts globaux de lutte contre le changement climatique. Ce projet vise également à renforcer la position de Tanger Med en tant que port responsable et innovant sur la scène internationale.

## **3.2. Gestion de projet**

### ***3.2.1. Projet***

Le projet de calcul de l'empreinte carbone de TMPA vise à mesurer et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant de toutes les activités portuaires. Pour ce faire, nous allons appliquer des techniques statistiques avancées et des modèles d'intelligence artificielle pour identifier les principales sources d'émissions et anticiper les tendances futures. À partir de cette analyse, nous allons proposer des stratégies de réduction des émissions, telles que l'optimisation des processus logistiques et l'adoption de sources d'énergie renouvelables. La mise en œuvre de ces solutions est suivie et évaluée à travers des tableaux de bord et des rapports réguliers, me permettant d'ajuster les stratégies en fonction des résultats obtenus. Ce projet contribue à renforcer ma position en tant qu'acteur engagé dans la lutte contre le changement climatique, tout en offrant des avantages économiques et environnementaux durables pour Tanger Med.

### ***3.2.2. Diagramme d'Ishikawa***



*Figure 5 : Diagramme d'Ishikawa*

### 3.2.3. Diagramme de Gantt

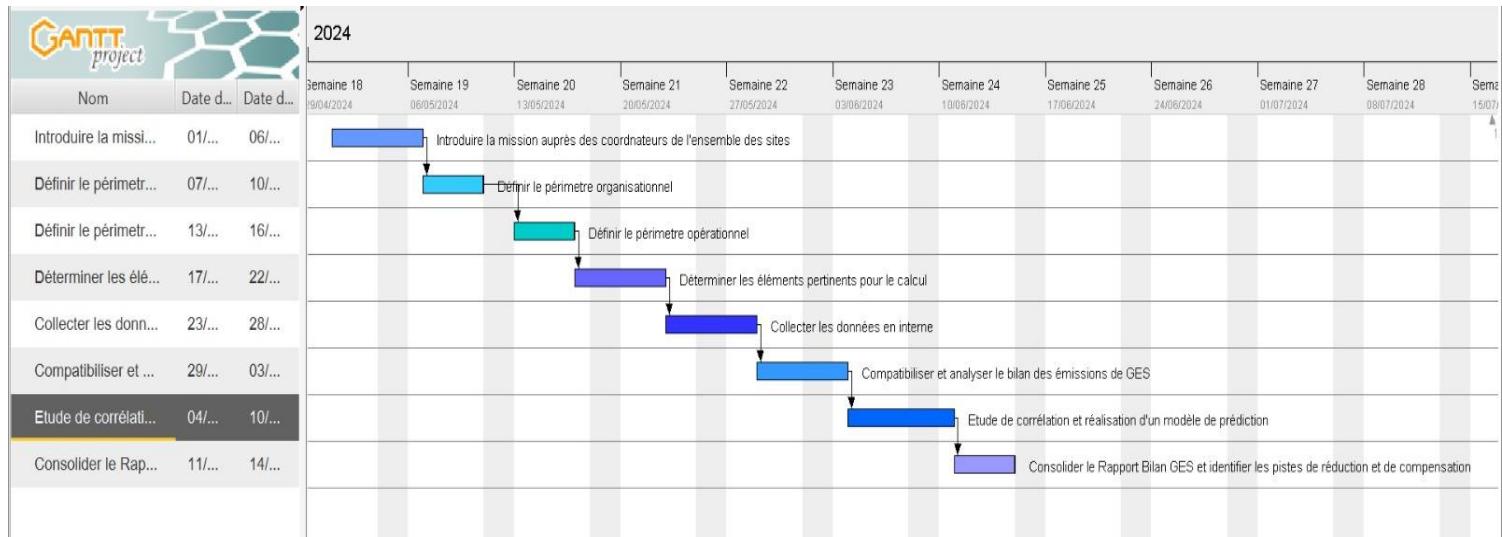


Figure 6 : Diagramme de Gantt

## 4. Conclusion

Ce premier chapitre présente un aperçu détaillé du complexe portuaire Tanger Med et souligne l'importance de la gestion des émissions de carbone. En établissant les bases de notre projet et en mettant en lumière les défis à relever, il prépare le terrain pour une exploration approfondie. Restez attentif au prochain chapitre où nous dévoilerons le périmètre de calcul et la méthodologie innovante et les techniques avancées que nous utiliserons pour atteindre nos objectifs ambitieux.

# C

hapitre

# 2

**PERIMETRE ET  
METHODOLOGIE DE  
CALCUL**

## **1. Introduction**

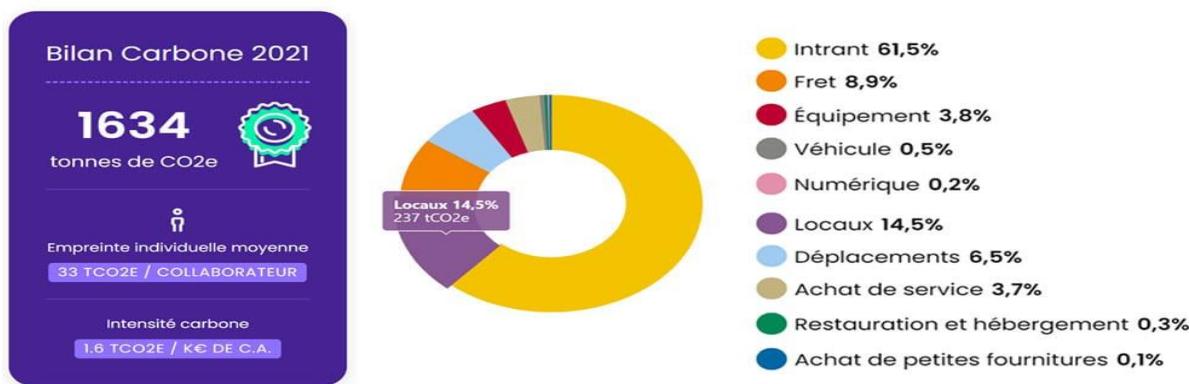
Ce chapitre définit les périmètres organisationnels et opérationnels. Il aborde également la méthodologie de calcul utilisée, les outils de comptabilisation des GES, et les principes de base du calcul des émissions. Enfin, nous explorerons la data science et l'adaptation de techniques statistiques et de Machine Learning pour optimiser et analyser les résultats.

## **2. Empreinte Carbone**

### **2.1. Définition**

L'empreinte carbone est un indicateur qui mesure la quantité totale de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'autres gaz à effet de serre (GES) émis directement ou indirectement par les activités humaines. Elle est exprimée en équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) pour faciliter la comparaison des différentes émissions. Ces émissions proviennent principalement de la combustion d'énergies fossiles, des processus industriels, de la consommation d'électricité, ainsi que des chaînes d'approvisionnement, des pratiques agricoles et de la gestion des déchets. L'empreinte carbone est essentielle pour évaluer l'impact environnemental des activités humaines, développer des stratégies de réduction des émissions, et élaborer des politiques climatiques efficaces visant à atténuer le changement climatique et à atteindre les objectifs de l'Accord de Paris.

Dans l'exemple pris sur l'image ci-dessous, des pourcentages de GES ont été calculés pour 10 postes. On voit en outre sur le récapitulatif que l'empreinte individuelle moyenne de chaque collaborateur est de 33 Tonnes de CO<sub>2</sub> émises en un an



Bilan Carbone pour l'exemple d'une entreprise en 2021

## **2.2. Situation de l'empreinte carbone au Maroc**

Au Maroc, l'empreinte carbone est un sujet de préoccupation croissante en raison de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) liée au développement économique et à l'urbanisation. Le Maroc a pris des mesures significatives pour mesurer et réduire son empreinte carbone, en alignant ses politiques avec les objectifs climatiques mondiaux.

### ***2.2.1. Contexte et Mesures***

#### **• Engagements Internationaux :**

- Le Maroc est signataire de l'Accord de Paris et s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 42 % d'ici 2030, comparativement à un scénario de maintien du statu quo.
- Le pays a soumis sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN), qui détaille les mesures prévues pour atteindre ces objectifs.

#### **• Initiatives Nationales :**

- **Stratégie Énergétique** : Le Maroc a lancé une ambitieuse stratégie énergétique visant à porter la part des énergies renouvelables à 52 % de la capacité installée d'ici 2030. Cela inclut des projets solaires (comme Noor Ouarzazate), éoliens et hydroélectriques.
- **Plan Maroc Vert** : Ce programme vise à promouvoir une agriculture durable et à réduire les émissions de GES dans le secteur agricole en améliorant l'efficacité des pratiques agricoles et en intégrant des technologies vertes.

#### **• Mesures de Réduction :**

- **Transport** : Promotion des transports en commun et des véhicules électriques pour réduire les émissions provenant des transports.
- **Industriel** : Mise en œuvre de technologies propres et de mesures d'efficacité énergétique dans les industries.
- **Gestion des Déchets** : Programmes de recyclage et de gestion des déchets pour réduire les émissions de méthane provenant des décharges.

### ***2.2.2. Expérience et défis***

Le Maroc a fait des progrès notables dans la réduction de son empreinte carbone, mais plusieurs défis subsistent :

- **Financement** : La transition vers une économie verte nécessite des investissements substantiels. Le Maroc travaille à mobiliser des fonds internationaux et nationaux pour soutenir ses initiatives climatiques.
- **Sensibilisation et Éducation** : Il est essentiel de sensibiliser le public et les entreprises à l'importance de la réduction des émissions de GES et de promouvoir des comportements durables.
- **Technologie et Innovation** : L'adoption de nouvelles technologies vertes et la recherche en innovation sont cruciales pour atteindre les objectifs de réduction des émissions.

En conclusion, le Maroc est engagé dans la lutte contre le changement climatique en mettant en place des stratégies et des politiques robustes pour réduire son empreinte carbone. Cependant, la réussite de ces efforts dépendra de la collaboration entre le gouvernement, le secteur privé, et la société civile, ainsi que du soutien financier et technologique international.

### **3. Définition de cadre de travail**

#### **3.1. Année de référence**

La présente étude porte sur l'activité de l'année 2023. L'année de référence est l'année 2022

#### **3.2. Périmètres organisationnels et opérationnels**

##### ***3.2.1. Périmètre organisationnel***

Le mode de consolidation retenue pour le bilan des émissions de GES pour TMPA est le mode de control opérationnel. Le bilan GES couvre les activités de TMPA, TM2 et MEDHUB (Pole Portuaire)

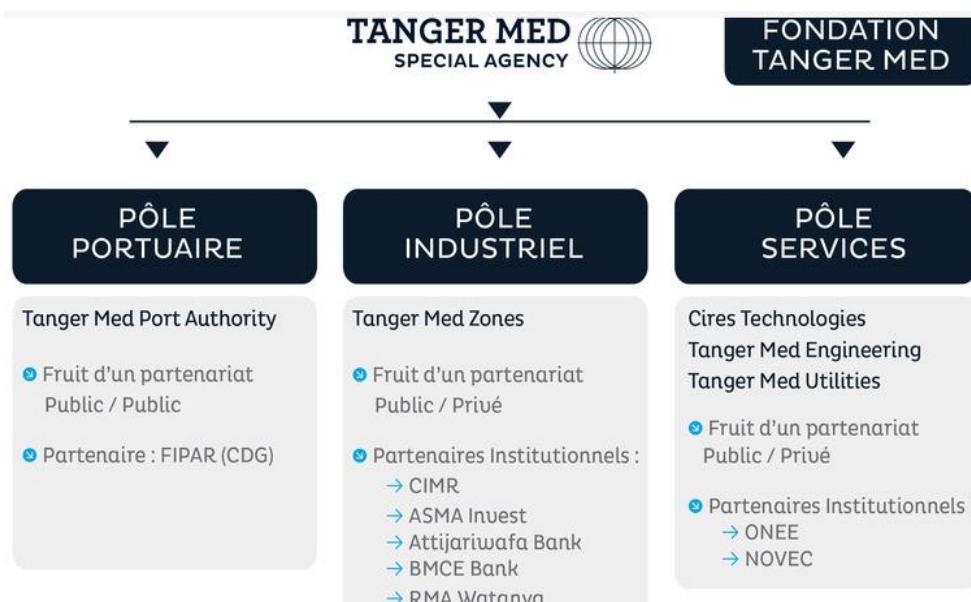


Figure 7 : Périmètre organisationnel

### 3.2.2. Périmètre opérationnel

Le périmètre opérationnel englobe les catégories et les sources d'émissions associées aux activités de l'entité organisationnelle. Ce périmètre se compose principalement de trois scopes que je vais définir ci-dessous :

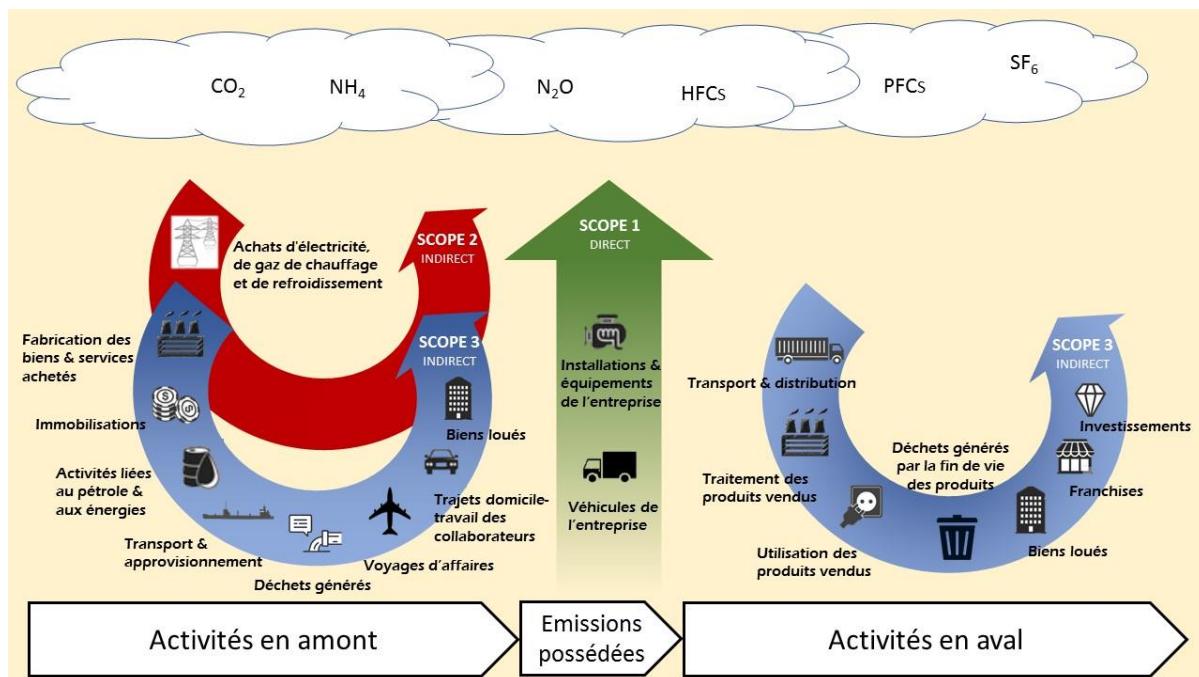


Figure 8 : Périmètre opérationnel

#### Scope 1 : les émissions directes

Le scope 1 regroupe les émissions de gaz à effet de serre directement liées à la fabrication du produit. Par exemple, si la fabrication du produit a nécessité l'utilisation de pétrole, la combustion de carburant, ou si la production du produit a engendré des émissions de CO<sub>2</sub> ou de méthane, toutes ces émissions sont comptabilisées dans le scope 1. On appelle ces émissions les émissions directes.

#### Scope 2 : les émissions indirectes liées aux consommations énergétiques

Le scope 2 regroupe les émissions de gaz à effet de serre liées aux consommations d'énergie nécessaires à la fabrication du produit. Par exemple, pour fabriquer un produit, il faut généralement consommer de l'électricité pour alimenter les usines où le produit est conçu. Cette consommation électrique en soi ne produit pas de gaz à effet de serre. Mais la production de l'électricité, elle, a émis des gaz à effet de serre. Toutes ces émissions liées à la consommation

d'énergie secondaire sont comptabilisées dans le scope 2. On les appelle les émissions indirectes liées aux consommations énergétiques.

### Scope 3 : les autres émissions indirectes

Le scope 3 regroupe quant à lui toutes les autres émissions de gaz à effet de serre qui ne sont pas liées directement à la fabrication du produit, mais à d'autres étapes du cycle de vie du produit (approvisionnement, transport, utilisation, fin de vie...). Par exemple, pour fabriquer un produit, il faut des matières premières. L'extraction de ces matières premières, leur transformation et leur transport jusqu'à l'usine de production, émettent des gaz à effet de serre. De la même façon, la fin de vie d'un produit ou son recyclage émettent également des gaz à effet de serre. Ces émissions indirectes liées au cycle de vie du produit sont comptabilisées dans le scope 3. On les appelle les autres émissions indirectes.

## 4. Méthodologie de calcul

### 4.1. Outil de comptabilisation GES

La Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement a développé en 2013, puis mis à jour depuis, une méthode pour le diagnostic des émissions GES qui s'inspire de la Méthode Bilan Carbone® de l'Agence Française De l'Environnement et de Maitrise de l'Energie (ADEME) et conforme aux Normes 14064 et 14069.

La comptabilisation des émissions de GES de la Société TMPA est réalisée en utilisant l'outil mis en place par la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement, en partenariat avec l'ADEME, conformément aux dispositions de la Norme ISO 14064. L'outil proposé et développé spécifiquement pour le contexte marocain intègre les six principaux gaz à effet de serre , avec une nette prédominance du dioxyde de carbone et des facteurs d'émissions exprimés dans cette unité de référence. Il inclut une base de données actualisée de + 300 facteurs d'émissions

### 4.2. Principe de calcul de base

Le Bilan des émissions de GES consiste à comptabiliser, en ordre de grandeur, le volume des émissions de gaz à effet de serre, exprimé en équivalent tonnes de dioxyde de carbone, émis dans l'atmosphère par les activités directes et indirectes, sur un périmètre établi à l'avance et sur une durée définie.

Son principe de calcul est basé sur :

$$\text{Émissions de GES} = \text{Données d'activité} * \text{Facteur d'émission}$$

**Donnée d'activité** : Consommation moyenne d'un véhicule (litre/km), quantité de déchets (kg), nombre d'A/R en avion...

**Facteur d'émission (FE)** : Coefficient multiplicateur (Kg CO<sub>2</sub>) pour la conversion de la donnée d'activité en tonne équivalent CO<sub>2</sub> (teqCO<sub>2</sub>). La Plupart des facteurs d'émissions utilisés pour élaborer l'empreinte carbone d'un élément sont élaborés à partir de données issues d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) ou à partir de données sources.

Les Facteurs d'E missions (FE) utilisés sont ceux disponibles dans la base carbone associée à l'Outil de la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement. En cas de non-disponibilité du FE dans la base carbone citée ci-dessus, ceux de la Base Carbone de l'Agence De l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie (ADEME) et du GHG Protocol ont été exploitées. Les FE et PRG utilisés dans le présent bilan sont ceux de la Base Carbone® en vigueur au moment de la réalisation du présent bilan.

## 4.3. Gaz concernés

### 4.3.1. *L'effet de serre*

Un gaz à effet de serre (GES) est un gaz transparent pour la lumière du soleil, mais opaque pour le rayonnement infrarouge. Ces gaz retiennent donc une partie de l'énergie émise par la Terre, sans limiter l'entrée d'énergie apportée par le soleil, ce qui a pour effet d'augmenter sa température. L'Effet de serre est un phénomène naturel : sans atmosphère, la température globale de notre planète serait de -18°C contre 15°C aujourd'hui !

### 4.3.2. *Les 6 gaz à effet serre*

Tous les gaz à effet de serre ont des caractéristiques chimiques propres et participent différemment au changement climatique, c'est ce qu'on appelle le pouvoir de réchauffement global. Pour pouvoir les comparer on ramène ce pouvoir de réchauffement à celui du GES le plus courant, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ainsi les émissions de gaz à effet de serre se mesurent en une unité commune : les kilogrammes de CO<sub>2</sub> équivalent (kgCO<sub>2</sub>eq).

**Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) d'origine fossile** : Durée de résidence dans l'atmosphère de l'ordre du siècle ;

**Le méthane (CH<sub>4</sub>)** : Durée de résidence dans l'atmosphère de l'ordre de la décennie ;

**L'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O)** : Durée de résidence dans l'atmosphère de l'ordre du siècle ;

**Les hydrofluorocarbures (CFC)** : Durée de résidence dans l'atmosphère s'échelonne de quelques semaines à quelques siècles ;

**Les per fluorocarbures (PFC)** : Durée de résidence dans l'atmosphère de l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires

**L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)** : Durée de résidence dans l'atmosphère de quelques milliers d'années.



*Figure 9 : Gaz à effet de serre*

Gaz à effet serre	Formule	Provenance	Concentration préindustrielle	Durée de séjour	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	Combustion d'énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz), déforestation et certains procédés industriels	280 ppm	100	1
Méthane	CH <sub>4</sub>	Elevage bovin, rizières et décharges	0.6 à 0.7 ppm	12	30
Protoxyde d'Azote	N <sub>2</sub> O	Epandage d'engrais azotés, industrie chimique	0.27 ppm	114	265
Les hydrofluorocarbures	HFC	Climatisation, réfrigérateurs, appareillage électrique Haute Tension	0	De quelques semaines à quelques siècles	Dépend de chaque gaz
Les hydrocarbures per fluorées	PFC	Climatisation, réfrigérateurs, appareillage électrique Haute Tension	0	De l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires	Dépend de chaque gaz
Hexafluorure de soufre	SF <sub>6</sub>	Climatisation, réfrigérateurs, appareillage électrique Haute Tension	0	3200	23500

*Tableau 1 : Les 6 gaz à effet de serre*

## **5. Conclusion**

Ce chapitre a établi les fondations nécessaires pour analyser l'empreinte carbone de TMPA. Après avoir défini l'empreinte carbone et présenté des statistiques pertinentes pour le Maroc, nous avons mentionné le bilan des émissions pour l'année de référence 2023 en couvrant les périmètres opérationnel et organisationnel, la méthodologie de calcul et les 6 gaz à effets de serre.

En résumé, ce chapitre fournit un cadre méthodologique solide pour poursuivre notre étude et formuler des recommandations pertinentes.

Dans le prochain chapitre, nous appliquerons ces méthodologies pour effectuer le calcul de l'empreinte carbone et analyserons en détail les résultats obtenus, offrant ainsi une compréhension approfondie de l'impact environnemental du complexe.

# C

## hapitre

# 3

**RESULTAT  
ET ANALYSE  
DU BILAN  
CARBONE**

## **1. Introduction**

Le troisième chapitre de notre projet se concentre sur l'analyse de l'empreinte carbone de TMPA. Nous définissons d'abord les scopes et les données prises en charge, en examinant les émissions directes (Scope 1), les émissions indirectes de la consommation d'énergie (Scope 2), et les autres émissions indirectes (Scope 3). Ensuite, nous analysons le bilan global des émissions et les contributions de chaque scope et poste. Nous comparons l'empreinte carbone de TMPA avec celle d'autres ports célèbres, situant notre performance environnementale dans un contexte global et identifiant des opportunités d'amélioration. Une étude de corrélation est menée pour identifier les relations entre différentes variables, comme la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>. Enfin, Nous poursuivons avec une modélisation par régression linéaire pour prédire les émissions futures et identifier les facteurs les plus influents. Nous discutons aussi des incertitudes de nos calculs et leur impact potentiel.

## **2. Périmètre du bilan carbone**

### **2.1. Scopes**

SCOPES	Catégories d'émission	Postes d'émissions
SCOPE 1	ÉMISSIONS DIRECTES DE GES	1.1 Emissions directes des sources fixes de combustion 1.2 Emissions directes des sources mobiles de combustion 1.3 Emissions directes des procédés hors énergie 1.4 Emissions directes fugitives 1.5 Émissions issues de la biomasse (sols et forêts)
SCOPE 2	ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES À L'ÉNERGIE	2.1 Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité 2.2 Emissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité
SCOPE 3	ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AU TRANSPORT  ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS ACHETÉS	3.1 Transport de marchandise amont 3.2 Transport de marchandise aval 3.3 Déplacements domicile-travail 3.4 Déplacements des visiteurs et des clients 3.5 Déplacements professionnels  4.1 Achats de biens 4.2 Immobilisations de biens 4.3 Gestion des déchets 4.4 Actifs en leasing amont 4.5 Achats de services

	ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS VENDUS	5.1 Utilisation des produits vendus 5.2 Actifs en leasing aval 5.3 Fin de vie des produits vendus 5.4 Investissements
	AUTRES ÉMISSIONS INDIRECTES	6.1 Autres émissions indirectes

*Tableau 2 : Scopes d'émission*

## 2.2. Activités liées

Postes d'émissions	Activités liées
Emissions directes des sources fixes de combustion	NA
Emissions directes des sources mobiles de combustion	Véhicules de service au sein du port et des zones d'activités, et TMPA
Emissions directes des procédés hors énergie	Quantité d'eaux/hydrocarbure traités à CERTEGO
Emissions directes fugitives	Bâtiments TMPA & MEDHUB - R22 Bâtiments TMPA & MEDHUB - R404A Bâtiments TMPA & MEDHUB - R407C Bâtiments TMPA & MEDHUB - R410A Autres gaz
Émissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Espaces verts
Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	TMPA
Emissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité	NA
Transport de marchandise amont	NA
Transport de marchandise aval	NA
Déplacements domicile-travail	Voitures(TMPS), Navettes Transport du personnel(TMPS)
Déplacements des visiteurs et des clients	Nombre de de visites au port (Groupes)
Déplacements professionnels	NA
Achats de biens	Achats de biens TMPS ,Consommation d'eau TMPS
Immobilisations de biens	Constructions TMPS Installations techniques, matériels et Outils TMPS Matériel de Transport TMPS Mobilier de bureau et aménagement TMPS Immobilisations corporelles TMPS Autres immobilisations TMPS
Gestion des déchets	Déchets ménagers Déchets des navires Papier et Carton

	DEEE Cartouches Plastique Verre Métaux Bois Tissus Huiles de vidange
Actifs en leasing amont	NA
Achats de services	TMPA
Utilisation des produits vendus	NA
Actifs en leasing aval	NA
Fin de vie des produits vendus	NA
Investissements	NA
Autres émissions indirectes	NA

Tableau 3 : Postes d'émission

### **3. Répartition et analyse du bilan des émissions de GES**

#### **3.1. Bilan global des émissions GES**

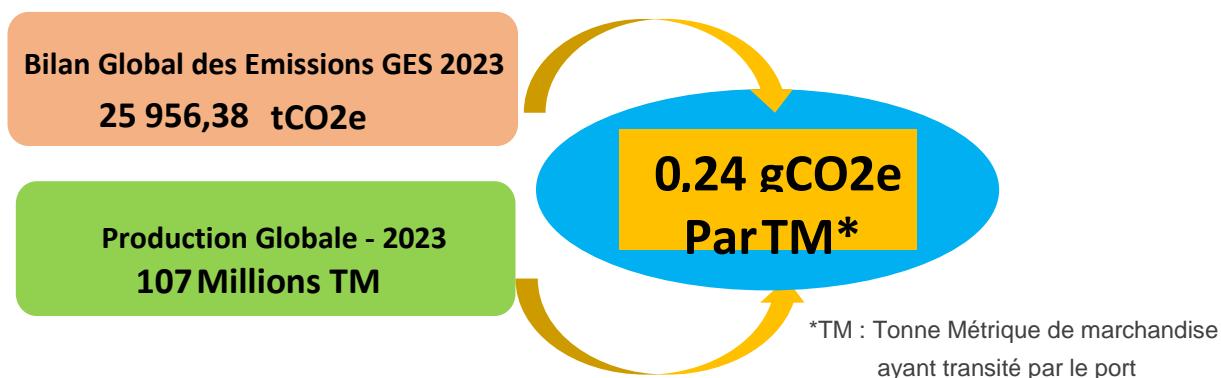


Figure 10 : Bilan globale d'émissions de TMPA en 2023

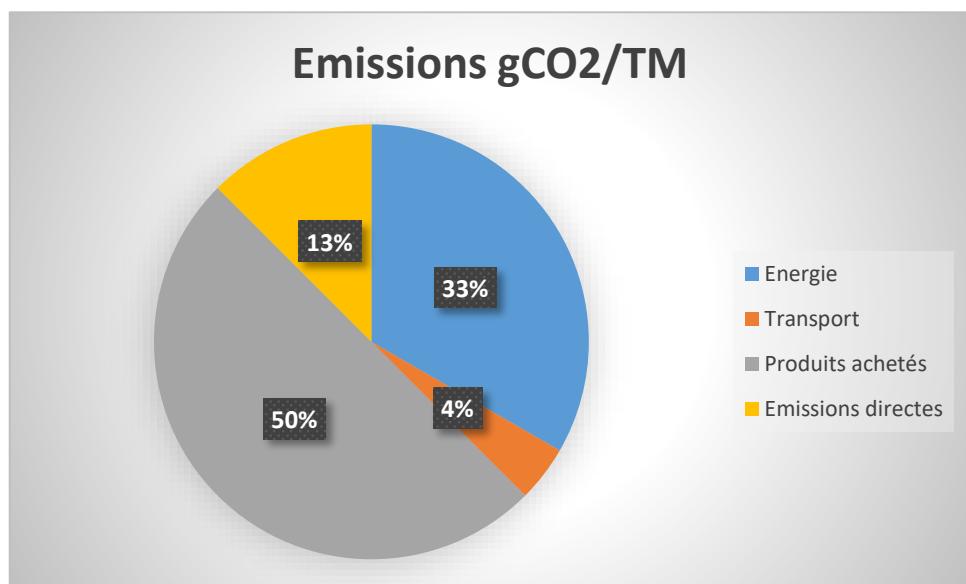
En 2023, le port de Tanger Med a généré 25 956,38 tonnes de CO2e, ce qui correspond à 0,24 g/CO2e par tonne métrique (TM) de marchandises traitées. Ce chiffre met en évidence l'empreinte carbone globale du port et permet de comprendre l'impact environnemental de ses activités. Comparé à d'autres ports, ce ratio montre une performance environnementale compétitive, bien qu'il existe des marges d'amélioration. Cette analyse des émissions globales fournira une base solide pour guider les efforts futurs de réduction et de compensation des émissions, en aidant à formuler des stratégies efficaces pour minimiser l'impact environnemental du port de Tanger Med.

### **3.2. Répartition par catégories**

Voici la répartition par catégories d'émission de carbone :

Catégorie	Bilan GES (tCO2e)	Production (...)	Emissions gCO2/TM
Energie	7 763,88	107 millions	0,08
Transport	1 332,71	107 millions	0,01
Produits achetés	13 357,89	107 millions	0,12
Emissions directes	3 501,90	107 millions	0,03
<b>TOTAL TMPA</b>	<b>25 956,38</b>	107 millions	<b>0,24</b>

*Tableau 4 : Répartition d'émissions par catégories*



*Figure 11 : visualisation d'émission par catégories*

En 2023, TMPA a généré un total de 25 956,38 tonnes de CO2e, réparties entre plusieurs catégories d'émissions. Les émissions liées à l'énergie représentent 33% du total, soit 7 763,88 tCO2e, avec un ratio de 0,08 gCO2e par tonne métrique (TM) de marchandises traitées. Cette part importante s'explique par la forte consommation d'électricité et de combustibles fossiles nécessaires pour les opérations portuaires, y compris l'alimentation des équipements et des infrastructures.

Les émissions liées aux produits achetés constituent la plus grande part, avec 50% du total, soit 13 357,89 tCO2e, et un ratio de 0,12 gCO2e/TM. Cette proportion élevée reflète l'impact carbone associé à la production et au transport des biens et services achetés par le port. Les produits achetés incluent divers matériaux et équipements essentiels pour les opérations

portuaires, dont la production peut être énergivore et générer des émissions significatives de CO<sub>2</sub>e.

Les émissions directes, représentant 13% du total, soit 3 501,90 tCO<sub>2</sub>e, avec un ratio de 0,03 gCO<sub>2</sub>e/TM, proviennent principalement des sources fixes de combustion, telles que les chaudières et les générateurs utilisés sur place. Ces émissions sont directement liées aux activités opérationnelles quotidiennes du port et peuvent être réduites par l'adoption de technologies plus efficaces et moins polluantes.

Enfin, les émissions liées au transport, bien qu'elles ne représentent que 4% du total, soit 1 332,71 tCO<sub>2</sub>e, avec un ratio de 0,01 gCO<sub>2</sub>e/TM, incluent les émissions des véhicules et des équipements de manutention utilisés pour le transport des marchandises au sein du port. Ce faible pourcentage peut s'expliquer par des opérations de transport internes relativement efficaces et potentiellement une moindre dépendance aux véhicules à forte émission.

### **3.3. Répartition par postes d'émissions**

Voici la répartition par catégories d'émission de carbone :

Postes d'émissions	tCO <sub>2</sub> e	Part(%)
Emissions directes des sources mobiles de combustion	1 286 ,7	4
Emissions directes des procédés hors énergie	1 499 ,05	6
Emissions directes fugitives	276 ,162	1
Émissions issues de la biomasse (sols et forêts)	440	2
Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	7 764 ,079	30
Déplacements domicile-travail	1 322 ,95	5
Déplacements des visiteurs et des clients	9 ,8	0,003(presque négligeable)
Achats de biens	1 107 ,17	5
Immobilisations de biens	5 235 ,50	20
Gestion des déchets	2 292 ,62	9
Achats de services	4 722 ,58	18

Tableau 5 : Répartition d'émissions par postes d'émission

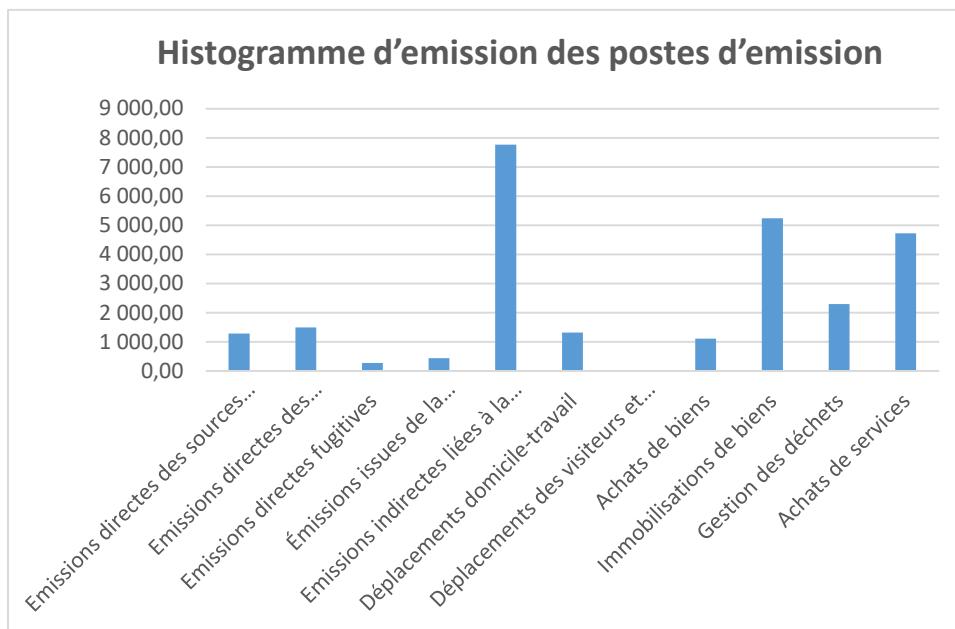


Figure 12 : Histogramme d'émission des postes d'émission

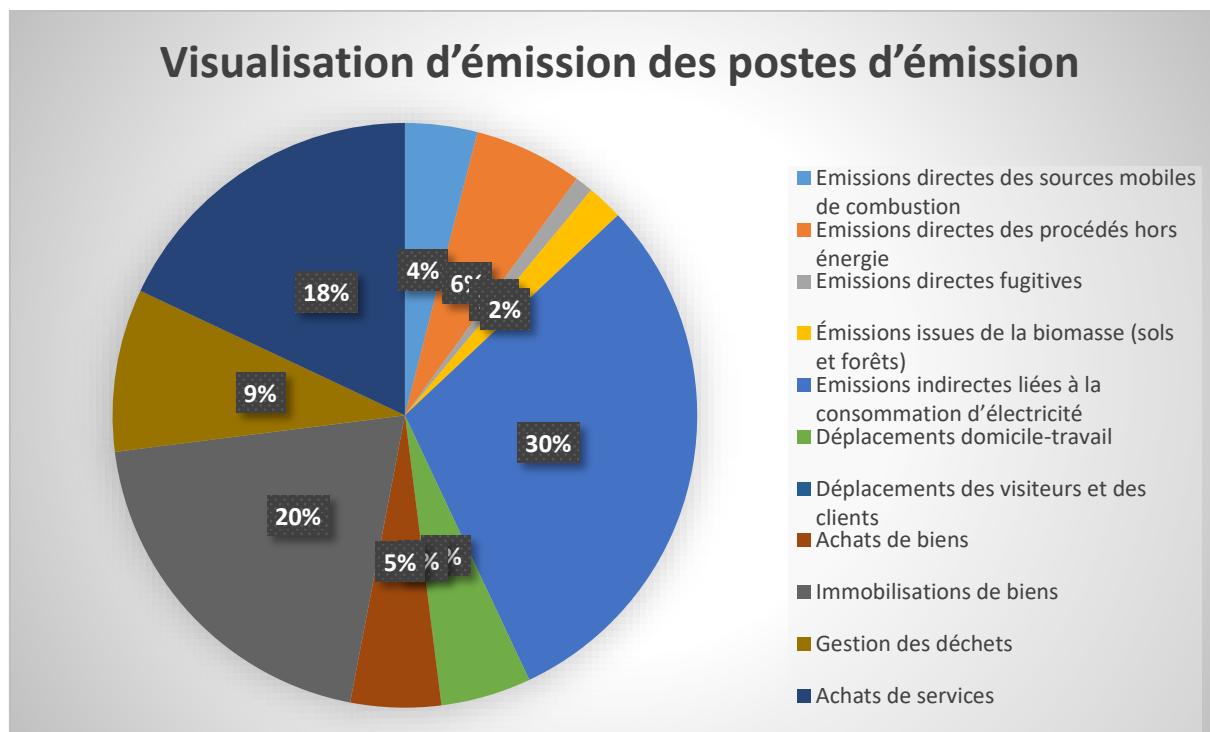


Figure 13 : Visualisation d'émission des postes d'émission

En 2023, les émissions de carbone de TMPA, totalisant 25 956,38 tonnes de CO<sub>2</sub>e, se décomposent en plusieurs postes d'émission, chacune jouant un rôle spécifique dans le bilan global. Voici une analyse approfondie de chaque poste d'émission et des raisons pour lesquelles ils présentent les pourcentages observés cette année :

## 1. Émissions Directes des Sources Mobiles de Combustion

- **Émissions :** 1 286,7 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 4%

**Explication :** TMPA utilise une variété de véhicules et de machines alimentés au diesel, notamment des équipements de manutention des cargaisons tels que des grues, des chariots élévateurs et des camions. De plus, les navires et les bateaux de service opérés par le port consomment également des carburants fossiles. L'utilisation de ces sources mobiles de combustion pour le transport et les opérations internes du port génère des émissions directes qui contribuent ainsi à l'empreinte carbone de la TMPA.

## 2. Émissions indirectes liées à la consommation d'électricité

- **Émissions :** 7 764 ,079tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 30%

**Explication :** La TMPA consomme une quantité importante d'électricité en raison des opérations portuaires telles que l'éclairage des terminaux, des entrepôts et des quais. De plus, les équipements électriques utilisés pour le chargement et le déchargement des cargaisons, ainsi que les bâtiments administratifs et les fonctions de bureau, nécessitent également une consommation élevée d'énergie. Cette consommation élevée est probablement exacerbée par une dépendance aux sources d'énergie non renouvelables, ce qui contribue de manière significative à l'empreinte carbone globale du port.

## 3. Émissions Directes des Procédés Hors Énergie

- **Émissions :** 1 499,05 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 6%

**Explication :** Ces émissions proviennent de processus industriels spécifiques autres que la consommation d'énergie directe, comme les réactions chimiques et les procédés de transformation. Au port de Tanger Med, cela peut inclure des opérations telles que la manutention de marchandises, la réparation navale, ou d'autres activités industrielles nécessitant l'utilisation de matières premières et de processus de production qui génèrent des émissions de CO<sub>2</sub>. La part de 6% souligne l'importance de ces processus dans les activités

portuaires et peut indiquer des efforts pour optimiser les procédés et minimiser leur impact environnemental.

#### 4. Émissions Directes Fugitives

- **Émissions :** 276,162 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 1%

**Explication :** Les émissions fugitives, telles que les fuites dans les équipements ou les réservoirs de stockage, sont mineures. La TMPA met probablement en place des mesures efficaces de maintenance et de contrôle pour minimiser ces émissions, ce qui contribue à leur faible impact sur l'empreinte carbone totale. Bien que la part de 1% soit relativement faible, ces émissions nécessitent une surveillance constante et des efforts pour identifier et réparer les fuites afin de minimiser l'impact environnemental du port.

#### 5. Émissions Issues de la Biomasse (Sols et Forêts)

- **Émissions :** 440 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 2%

**Explication :** Ces émissions sont associées aux changements dans l'utilisation des sols et à la gestion de forêts influencées par les activités portuaires. Cela inclut la déforestation pour les projets d'infrastructure, la conversion des terres pour l'expansion portuaire, et d'autres activités qui perturbent les écosystèmes naturels. La part de 2% reflète l'importance de la gestion durable des terres et des ressources naturelles pour réduire l'empreinte carbone globale du port.

#### 6. Déplacements Domicile-Travail

- **Émissions :** 1 322,95 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 5%

**Explication :** Ces émissions sont générées par les déplacements quotidiens des employés du port entre leur domicile et leur lieu de travail. La part de 5% indique que les trajets domicile-travail représentent une source significative d'émissions de carbone pour le port. Cela peut être dû à une distance importante entre les lieux de résidence des employés et le port, ainsi qu'à la prédominance de modes de transport individuels à combustion interne. Pour réduire

ces émissions, le port pourrait envisager des incitations pour encourager l'utilisation de transports en commun, le covoiturage, ou même le télétravail lorsque cela est possible.

## 7. Autres Postes d'Émissions

### 7.1 Achats de Biens

- **Émissions :** 1 107,17 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 5%

**Explication :** TMPA acquiert divers biens nécessaires pour ses opérations portuaires, incluant des machines et des équipements qui possèdent des émissions de carbone intrinsèques élevées. Les consommables et les fournitures utilisés dans les activités quotidiennes du port génèrent également des émissions indirectes, provenant des processus de production, de transport et de distribution de ces biens. La chaîne d'approvisionnement associée à ces achats de biens contribue donc à une part notable de l'empreinte carbone totale.

### 7.2 Immobilisations de Biens

- **Émissions :** 5 235,50 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 20%

**Explication :** TMPA investit massivement dans des infrastructures à grande échelle, telles que des installations portuaires, des terminaux, des entrepôts et des bâtiments administratifs. En outre, l'utilisation de machines et d'équipements lourds, tels que des grues et des systèmes de manutention des conteneurs, représente une part importante des immobilisations. La construction et la maintenance de ces infrastructures contribuent de manière substantielle aux émissions de carbone, en raison des processus de production, de transport et d'installation associés.

### 7.3 Gestion des Déchets

- **Émissions :** 2 292,62 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 9%

**Explication :** Les opérations portuaires de la TMPA génèrent divers types de déchets, notamment des matériaux d'emballage et d'autres déchets opérationnels. La gestion de ces

déchets, qu'il s'agisse de recyclage, d'incinération ou de mise en décharge, contribue aux émissions de carbone. Une gestion inefficace des déchets peut exacerber ces émissions, soulignant l'importance de pratiques de gestion des déchets durables pour minimiser l'empreinte carbone associée.

#### 7.4 Achats de Services

- **Émissions :** 4 722,58 tCO<sub>2</sub>e
- **Part :** 18%

**Explication :** Ces émissions sont associées aux achats de services externes nécessaires aux opérations du port, tels que le transport maritime, les services logistiques, et les services professionnels. La part de 18% montre que les services externalisés contribuent de manière significative aux émissions totales. Pour réduire ces émissions, le port pourrait privilégier des prestataires de services engagés dans des pratiques durables et adopter des stratégies pour optimiser l'efficacité des services externalisés.

En analysant les différentes sources d'émissions de carbone pour la Tanger Med Port Authority (TMPA), il apparaît que certaines catégories contribuent de manière significative à l'empreinte carbone globale. La consommation d'électricité, représentant 30% des émissions totales avec 7 764,079 tCO<sub>2</sub>e, est la plus grande source d'émissions. Cela est principalement dû aux besoins élevés en énergie pour l'éclairage des terminaux, des entrepôts, et des équipements de chargement et de déchargement. Les immobilisations de biens, contribuant à hauteur de 20% avec 5 235,50 tCO<sub>2</sub>e, sont également une source majeure, en raison des infrastructures portuaires et des équipements lourds nécessaires aux opérations.

Les achats de services représentent 18% des émissions totales avec 4 722,58 tCO<sub>2</sub>e, soulignant l'impact significatif des services externalisés tels que le transport maritime et les services logistiques. La gestion des déchets contribue à 9% des émissions, soit 2 292,62 tCO<sub>2</sub>e, mettant en évidence l'importance de pratiques de gestion des déchets durables. Les déplacements domicile-travail des employés représentent 5% des émissions totales avec 1 322,95 tCO<sub>2</sub>e, ce qui suggère des possibilités de réduction grâce à des incitations pour le transport en commun ou le télétravail.

Les émissions directes des procédés hors énergie et des sources mobiles de combustion contribuent respectivement à 6% (1 499,05 tCO<sub>2</sub>e) et 4% (1 286,7 tCO<sub>2</sub>e). Les émissions directes fugitives, avec 1% et 276,162 tCO<sub>2</sub>e, ainsi que celles issues de la biomasse (2% avec 440 tCO<sub>2</sub>e), sont relativement mineures mais nécessitent une surveillance continue. Les achats de biens représentent 5% des émissions totales avec 1 107,17 tCO<sub>2</sub>e, mettant en évidence l'impact de la chaîne d'approvisionnement sur l'empreinte carbone.

En conclusion, pour réduire l'empreinte carbone globale de la TMPA, il serait stratégique de se concentrer sur l'optimisation de la consommation d'électricité, l'investissement dans des sources d'énergie renouvelables, et l'amélioration de l'efficacité énergétique des infrastructures et des équipements. Des efforts supplémentaires dans la gestion des déchets et la promotion de pratiques de transport durable pour les employés peuvent également contribuer à des réductions significatives des émissions.

## **4. Comparaison avec d'autres ports**

L'analyse des empreintes carbone dans les principaux ports est essentielle pour comprendre l'impact environnemental des opérations maritimes et pour développer des stratégies de réduction des émissions. Ce rapport compare l'empreinte carbone du port de Tanger Med à celle de plusieurs ports importants à l'échelle mondiale : Rotterdam, Los Angeles/Long Beach, Singapour, Shanghai, Sydney et Hambourg. L'objectif est de contextualiser les émissions de Tanger Med dans un cadre global et de mettre en évidence les domaines potentiels d'amélioration.

### **Empreintes Carbone et Initiatives**

#### **1. TMPA, Maroc**

- **Émissions annuelles de CO<sub>2</sub>** : Environ 25 956,38 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent.
- **Émissions globales (2023)** : 107 millions de tonnes.
- **Intensité des émissions** : 0,24 gCO<sub>2</sub>e par tonne de marchandise (TM).
- **Catégories d'émissions :**
  - **Énergie** : 30% (7 764,079 tCO<sub>2</sub>e)
  - **Transport** : 4% (1 332,71 tCO<sub>2</sub>e)

- **Produits achetés** : 50% (13 357,89 tCO2e)
- **Émissions directes** : 13% (3 501,90 tCO2e)

## 2. Port de Rotterdam, Pays-Bas

- **Émissions annuelles de CO2** : Environ 24 millions de tonnes de CO2 équivalent.
- **Initiatives de réduction** : Captage et stockage du carbone (CSC), hydrogène, amélioration de l'efficacité énergétique.
- **Intensité des émissions** : Significativement plus élevée en raison d'activités industrielles étendues.

## 3. Port de Los Angeles/Long Beach, États-Unis

- **Émissions annuelles de CO2** : Environ 16 millions de tonnes de CO2 équivalent.
- **Initiatives de réduction** : Plan d'action pour l'air pur, alimentation électrique à quai, véhicules électriques et à faibles émissions, carburants alternatifs comme le GNL.
- **Intensité des émissions** : Réduite grâce à l'utilisation de technologies innovantes et à des réglementations strictes.

## 4. Port de Singapour

- **Initiatives de réduction** : Bunkering de GNL, énergie solaire, équipements écoénergétiques, pratiques de navigation écologique.
- **Intensité des émissions** : Données spécifiques moins disponibles, mais efforts significatifs pour réduire les émissions maritimes et opérationnelles.

## 5. Port de Shanghai, Chine

- **Émissions annuelles de CO2** : Millions de tonnes de CO2 équivalent.
- **Initiatives de réduction** : Électrification des équipements portuaires, efficacité énergétique, sources d'énergie propres, projets pilotes pour l'alimentation électrique à quai et le bunkering de GNL.

- **Intensité des émissions** : Élevée en raison de l'ampleur des opérations, mais faisant partie des objectifs de réduction agressifs de la Chine.

## 6. Port de Sydney, Australie

- **Émissions annuelles de CO2** : Plusieurs centaines de milliers de tonnes de CO2 équivalent.
- **Initiatives de réduction** : Efficacité énergétique, énergies renouvelables, options de transport à faibles émissions.
- **Intensité des émissions** : Plus faible comparée aux plus grands ports, mais proactive dans les pratiques durables.

## 7. Port de Hambourg, Allemagne

- **Émissions annuelles de CO2** : Environ 1,7 million de tonnes de CO2 équivalent.
- **Initiatives de réduction** : Alimentation électrique à quai, électrification du port, participation au système européen d'échange de quotas d'émission (ETS).
- **Intensité des émissions** : Relativement faible grâce aux normes environnementales strictes en Europe et aux stratégies proactives.

## Analyse Comparative

En comparant TMPA avec d'autres grands ports :

- **Intensité des émissions** : L'intensité des émissions de TMPA de 0,24 gCO2e par TM est relativement faible, indiquant des opérations efficaces et une gestion efficace des émissions de carbone comparé aux émissions beaucoup plus importantes de ports comme Rotterdam et Los Angeles/Long Beach.
- **Catégories d'émissions** : Le pourcentage élevé d'émissions provenant des produits achetés (50%) à TMPA souligne l'impact significatif des activités de la chaîne d'approvisionnement. Cela contraste avec des ports comme Rotterdam et Singapour, où les activités industrielles et la consommation d'énergie sont plus dominantes.
- **Initiatives de réduction** : Des ports comme Rotterdam et Hambourg sont à la pointe de la mise en œuvre de technologies avancées telles que le CSC et la participation aux

systèmes d'échange de quotas d'émission. Tanger Med pourrait tirer parti de ces exemples pour renforcer ses propres stratégies de réduction des émissions.

- **Adoption technologique** : Les ports des régions développées (par exemple, Los Angeles/Long Beach, Singapour) adoptent des technologies vertes à un rythme plus rapide, motivés par des réglementations plus strictes et des capacités d'investissement plus élevées. Tanger Med, bien qu'efficace, pourrait bénéficier d'avancées technologiques similaires et de collaborations internationales.

## Conclusion

L'empreinte carbone de Tanger Med est relativement plus faible comparée à certains des plus grands ports mondiaux, montrant l'efficacité de ses opérations. Cependant, il existe une marge significative d'amélioration, en particulier dans la réduction des émissions provenant des produits achetés et l'adoption de technologies innovantes et de meilleures pratiques des ports leaders mondiaux. En renforçant ses initiatives de réduction des émissions et en investissant dans des pratiques durables, Tanger Med peut consolider sa position en tant que port vert et contribuer aux efforts mondiaux pour lutter contre le changement climatique.

## 5. Etude de corrélation et Forcasting

### 5.1. Etude de corrélation

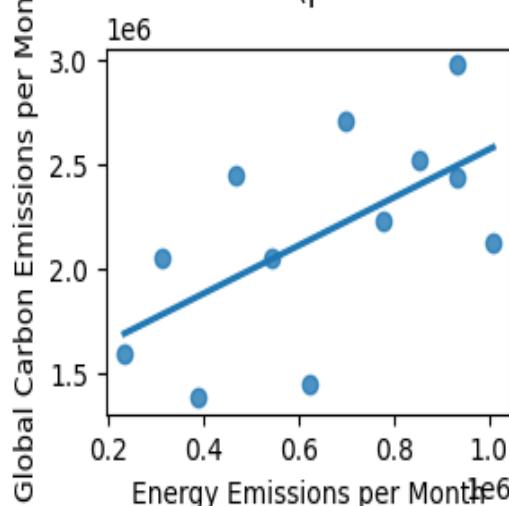
MOIS	ENERGY	Transport	PRODUITS	D	G
JANVIER	621126.32	106620.36	400736.76	315171.32	1443654.76
FEVRIER	388203.95	79965.27	667894.61	245131.02	1381194.85
MARS	776407.9	133275.46	935052.45	385210.61	2229946.42
AVRIL	543484.53	93289.82	1202210.29	210114.88	2049099.52
MAY	698764.1	119925.91	1469368.13	420229.76	2708287.8999999994
JUIN	931689.48	159930.55	1602947.05	280153.17	2974720.25
JUILLET	465844.74	66637.73	1736525.97	175095.73	2444104.17
AOUT	310563.16	53310.18	1335789.21	350191.46	2049854.0099999998
SEPTEMBRE	854048.69	146603.01	1068631.37	455239.94	2524523.0100000002
OCTOBRE	1009130.47	173239.99	801473.53	140076.59	2123920.58
NOVEMBRE	232922.37	39982.64	1001841.91	315171.32	1589918.24
DECEMBRE	931689.48	159930.55	1135420.83	210114.88	2437155.74

Tableau 6 : répartition d'émission par mois e fonctions de catégories

Corrélation entre la consommation de l'énergie et le bilan de globale d'émissions :

## Energy Emissions per Month vs Global Carbon Emissions

Correlation: 0.60 (p-value: 3.79e-02)



**Corrélation entre la consommation d'énergie et la consommation globale est :**  
**0.6031989827602784 (p-value : 0.037857871654329425)**

### Analyse :

À TMPA, la corrélation positive de 0,6032 avec un p-value de 0,0379 entre les émissions d'énergie et les émissions de carbone suggère une relation significative entre ces deux variables. Cette corrélation indique que lorsque les émissions d'énergie augmentent pour faire fonctionner les infrastructures portuaires et les opérations logistiques, les émissions de carbone ont tendance à augmenter également.

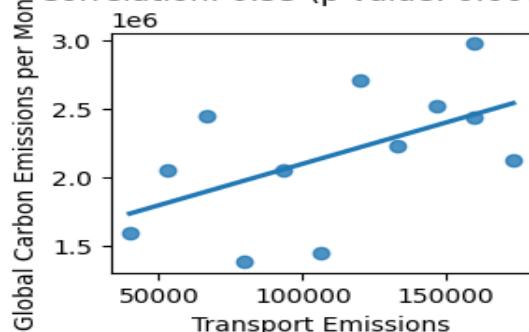
Les infrastructures modernes et les équipements de manutention des conteneurs, nécessaires pour le traitement efficace des marchandises, ainsi que les besoins énergétiques élevés des opérations portuaires, influencent directement cette corrélation. Les mois présentant une activité portuaire accrue, comme pendant les périodes de pointe du commerce maritime ou des opérations logistiques intensives, montrent souvent des niveaux d'émissions de carbone plus élevés en parallèle avec une consommation d'énergie accrue.

Cette corrélation souligne l'importance de surveiller et de gérer de près la consommation d'énergie à TMPA pour minimiser l'impact environnemental associé aux émissions de carbone. Cela peut inclure des initiatives visant à améliorer l'efficacité énergétique des infrastructures portuaires et à explorer des solutions de transport et de logistique plus durables à l'avenir.

**Corrélation entre le transport et le bilan de globale d'émissions :**

### Transport Emissions vs Global Carbon Emissions

Correlation: 0.55 (p-value: 6.66e-02)



Corrélation entre la consommation du transport et la consommation globale est:  
0.6031989827602784 (p-value: 0.037857871654329425)

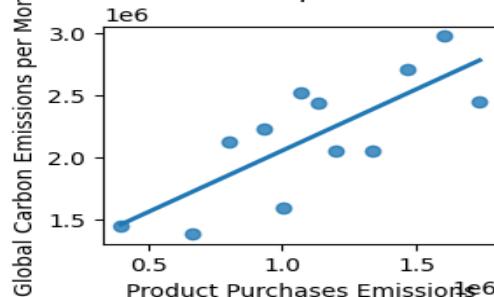
### Analyse :

La corrélation entre les émissions de transport et les émissions globales de carbone par mois à TMPA a été analysée, révélant une corrélation de 0,5455 avec un p-value de 0,0666. Cette corrélation suggère une relation modérée positive où l'augmentation des émissions de transport est associée à une augmentation des émissions de carbone, bien que cette relation ne soit pas statistiquement significative à un seuil de 0,05. TMPA, en tant que hub logistique majeur, dépend fortement du transport maritime et terrestre pour le mouvement des marchandises et le transit des passagers, influençant ainsi les émissions totales de carbone du complexe portuaire. Les fluctuations mensuelles des émissions de transport peuvent être influencées par les variations saisonnières dans le volume des échanges commerciaux et les périodes de pointe du tourisme ou des activités de transport de marchandises. Cette analyse souligne l'importance de continuer à surveiller et à évaluer les facteurs impactant les émissions de carbone à TMPA, afin d'orienter les initiatives de réduction de l'empreinte carbone du port.

### Corrélation entre les produits achetés et le bilan de globale d'émissions :

#### Product Purchases Emissions vs Global Carbon Emissions

Correlation: 0.77 (p-value: 3.21e-03)

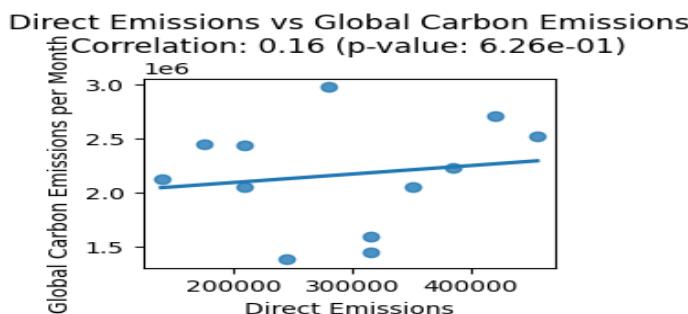


Corrélation entre la consommation des produits achetés et la consommation globale est :  
0.6031989827602784 (p-value : 0.037857871654329425)

### Analyse :

Pour analyser la corrélation entre les émissions dues aux achats de produits et les émissions globales de carbone par mois à TMPA, une forte corrélation de 0,7728 avec un p-value de 0,0032 a été observée. Cette corrélation significative indique une relation positive marquée entre ces deux variables, démontrant que les variations dans les émissions dues aux achats de produits sont fortement liées aux fluctuations des émissions de carbone mensuelles du complexe portuaire. Les émissions associées aux achats de produits à TMPA représentent une part substantielle de l'empreinte carbone totale, englobant les impacts environnementaux de la fabrication, du transport et de la distribution des biens et services nécessaires aux opérations portuaires. Ces émissions peuvent varier selon les saisons et sont influencées par les fluctuations économiques et commerciales affectant la demande et l'approvisionnement en biens. En conclusion, cette corrélation souligne l'importance cruciale de prendre en compte les pratiques d'approvisionnement et de consommation dans la gestion de l'empreinte carbone de TMPA, encouragée par l'adoption de stratégies visant à promouvoir la durabilité environnementale et à réduire l'impact carbone global du port.

#### **Corrélation entre les émissions directes et le bilan de globale d'émissions :**



**Correlation between carbon footprint and household income: 0.1571578790347044 (p-value: 0.6257009135065406)**

#### **Analyse :**

Pour analyser la corrélation entre les émissions directes et les émissions globales de carbone par mois à TMPA, une corrélation de 0,1572 avec un p-value de 0,6257 a été observée. Cette corrélation indique une relation faible et non significative entre ces deux variables.

La corrélation de 0,1572 suggère que les émissions directes du complexe portuaire ne sont que légèrement associées aux variations des émissions de carbone mensuelles. Le p-value élevé de 0,6257 indique que cette corrélation n'est pas statistiquement significative à un seuil de 0,05, soulignant que les variations observées pourraient être dues au hasard plutôt qu'à une relation causale réelle.

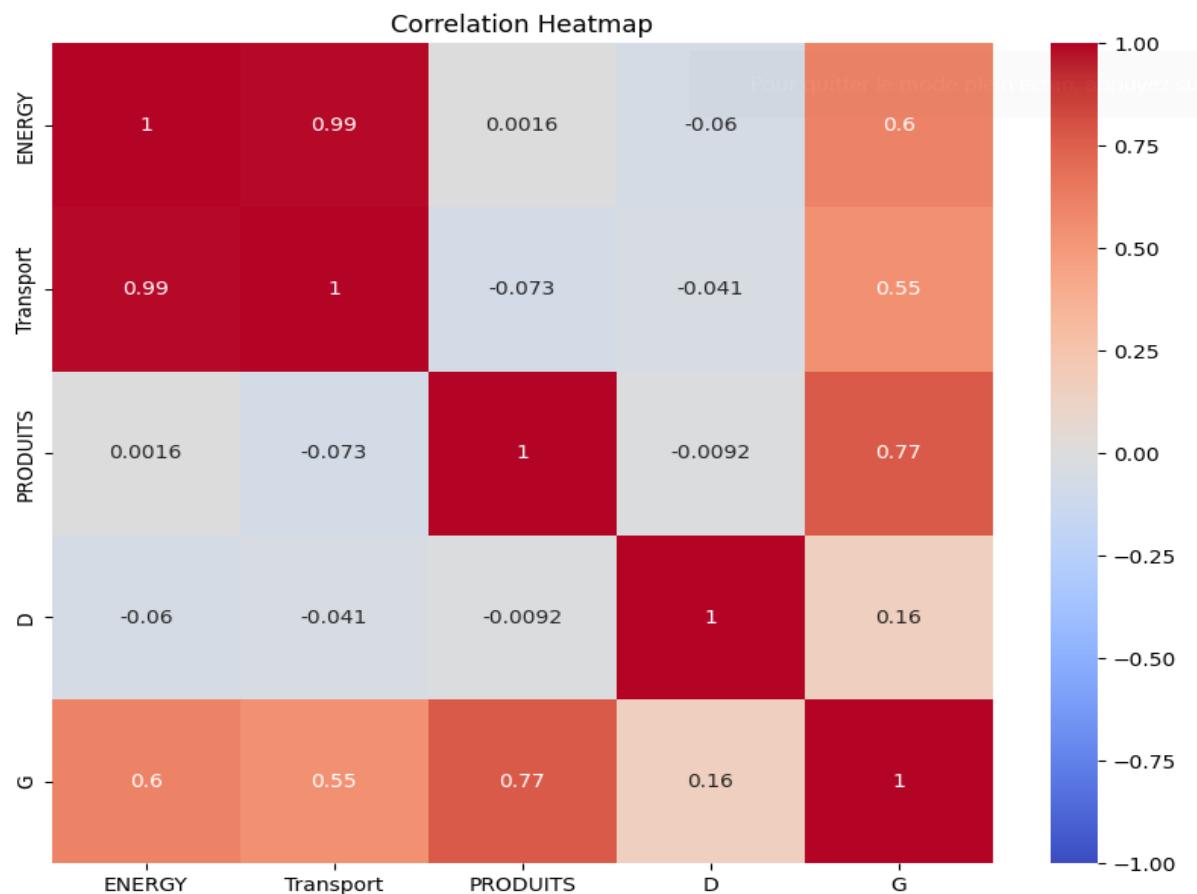
Les émissions directes à TMPA comprennent principalement celles générées par les sources fixes de combustion et d'autres processus industriels spécifiques. Leur impact sur les émissions totales de carbone peut varier en fonction des conditions opérationnelles et des pratiques de gestion environnementale du port.

En conclusion, cette analyse montre que les émissions directes ne sont pas fortement corrélées avec les émissions mensuelles totales de carbone. Cela souligne l'importance de continuer à surveiller et à évaluer divers facteurs pour une gestion efficace de l'empreinte carbone du complexe portuaire.

#### Corrélation Matrix :

	<b>ENERGY</b>	<b>Transport</b>	<b>PRODUITS</b>	<b>D</b>	<b>G</b>
<b>Energy</b>	<b>1.000000</b>	<b>0.991977</b>	<b>0.001601</b>	<b>-0.060143</b>	<b>0.603199</b>
<b>Transport</b>	<b>0.991977</b>	<b>1.000000</b>	<b>-0.072701</b>	<b>-0.041219</b>	<b>0.545508</b>
<b>Produits</b>	<b>0.001601</b>	<b>-0.072701</b>	<b>1.000000</b>	<b>-0.009163</b>	<b>0.772811</b>
<b>D(émissions directes)</b>	<b>-0.060143</b>	<b>-0.041219</b>	<b>-0.009163</b>	<b>1.000000</b>	<b>0.157158</b>
<b>G(émission globale)</b>	<b>0.603199</b>	<b>0.545508</b>	<b>0.772811</b>	<b>0.157158</b>	<b>1.000000</b>

*Tableau 7 : Matrice de corrélations*



*Figure 14 : The heatmap correlation*

### Analyse :

L'analyse de la heatmap de corrélation montre que la plupart des catégories d'émissions de carbone à TMPA ont des corrélations faibles à modérées entre elles. Cela suggère que les différentes sources d'émissions opèrent de manière relativement indépendante, mais certaines catégories, comme les produits achetés et les émissions directes, montrent une relation plus notable. Cette compréhension permet d'identifier des domaines spécifiques où des mesures de réduction ciblées peuvent être efficaces pour diminuer l'empreinte carbone globale du port.

## **5.2. Etude d'un modèle prédictif**

Pour ce projet, nous allons utiliser la régression linéaire pour effectuer des analyses prédictives des émissions futures dans les prochaines années, en me concentrant spécifiquement sur les données disponibles pour les années 2020, 2021, 2022 et 2023. Cette sélection découle principalement de considérations de confidentialité et de disponibilité des données. En tant que stagiaire, l'accès aux données sensibles est limité, ce qui nécessite de travailler avec les informations disponibles et accessibles dans le cadre du projet. De plus, en raison de la nature

récente du projet, le jeu de données actuel pourrait ne pas inclure suffisamment d'années antérieures pour une analyse approfondie au-delà de cette période définie. Cette approche vise à construire un modèle prédictif robuste malgré ces limitations, en utilisant la méthodologie de régression linéaire pour extrapoler les tendances des émissions à TMPA. Cette approche méthodique permettra d'obtenir des prévisions significatives tout en respectant les exigences de confidentialité et en assurant la qualité des résultats attendus dans le cadre du projet de recherche.

Index	year	GE
0	2020	14293.0
1	2021	4828.0
2	2022	22078.54
3	2023	25956.378

Tableau 8 : tableau d'émission par année

#### La régression linéaire :

Year vs. Global Emissions

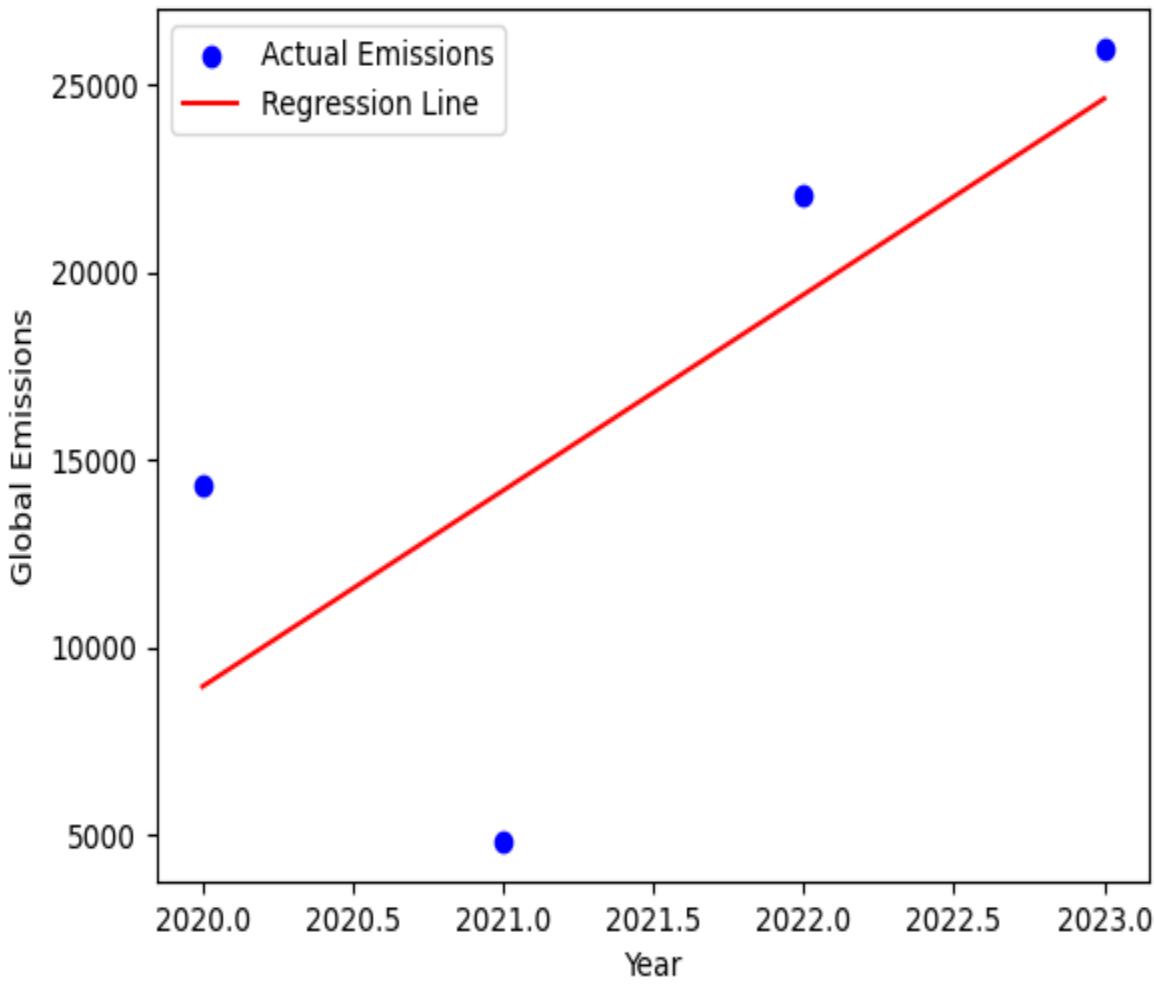
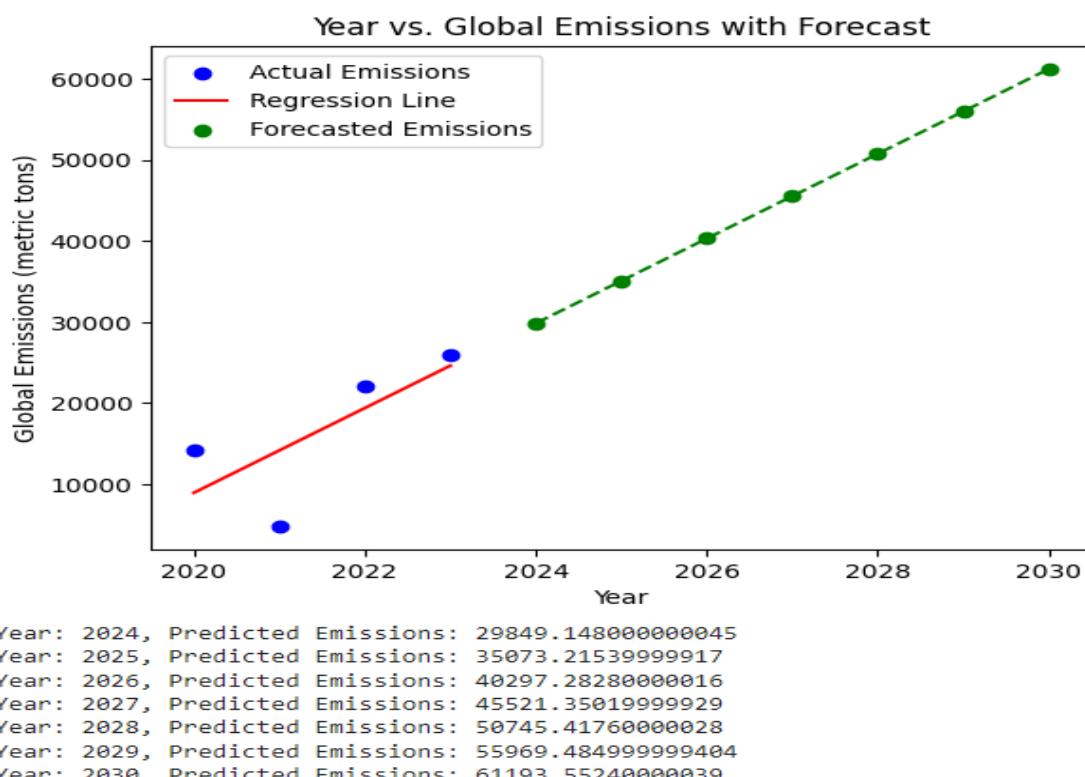


Figure 15 : Régression linéaire

Le graphique ci-dessus présente la régression linéaire des émissions globales par rapport aux années 2020 à 2023 pour TMPA :

1. **Tendance de la Régression :** La ligne rouge représente la régression linéaire ajustée aux données réelles (points bleus). On observe une tendance générale à l'augmentation des émissions globales avec le temps, illustrée par la pente positive de la ligne de régression. Cela suggère que les émissions globales ont augmenté de manière significative sur cette période spécifique.
2. **Ajustement du Modèle :** Le modèle de régression linéaire semble bien ajusté aux données disponibles, car la ligne rouge passe assez près des points de données bleus. Cela indique que la régression linéaire est une méthode appropriée pour modéliser cette relation sur cette plage d'années.
3. **Interprétation des Coefficients :** Le coefficient de la régression linéaire représente la pente de la ligne, qui est environ 5598.4 dans ce cas. Cela signifie que, en moyenne, les émissions globales augmentent d'environ 5598.4 unités (dans l'unité de mesure des émissions) par année.

**Passons maintenant vers le Forcasting (avec le graphe ci-dessous) :**



*Figure 16 : Analyse prédictive par régression linéaire (Forcasting)*

## **Analyse :**

Le graphique montre une ligne rouge qui représente la régression linéaire ajustée aux données réelles des émissions globales (points bleus). Cette ligne illustre la tendance croissante des émissions observée de 2020 à 2023 à TMPA. Les points verts et la ligne en pointillés représentent les émissions prévues pour les années 2024 et 2025 selon le modèle de régression.

D'après le modèle, les émissions devraient continuer d'augmenter de manière constante au cours des prochaines années. Cette prévision met en évidence une augmentation continue des émissions globales à TMPA, conformément à la tendance établie au cours des années précédentes. Cette analyse prédictive offre des informations cruciales pour la planification environnementale et les politiques de développement durable, soulignant l'importance de stratégies visant à réduire l'impact environnemental des opérations portuaires.

En conclusion, l'utilisation de la régression linéaire pour prédire les émissions futures à TMPA démontre son utilité dans la prise de décisions proactives et la mise en œuvre de stratégies efficaces de réduction des émissions. Cela permet d'anticiper les tendances futures et d'adopter des mesures préventives pour promouvoir la durabilité environnementale dans le cadre des activités portuaires.

## **6. Eléments d'appréciation sur les incertitudes**

### **6.1. Incertitudes**

Lors de l'élaboration du bilan empreinte carbone, certaines incertitudes peuvent surgir concernant les postes d'émission spécifiques. Par exemple, les émissions indirectes associées au transport peuvent varier en raison des fluctuations des comportements de mobilité, des choix de véhicules, et des distances parcourues. Les émissions liées à l'énergie dépendent largement de la source d'énergie utilisée (renouvelable ou non renouvelable) et de l'efficacité énergétique des équipements, ce qui peut entraîner des variations significatives. De même, les émissions directes issues des processus industriels ou de la consommation domestique de combustibles fossiles peuvent être difficiles à estimer précisément en raison des changements dans les taux d'utilisation et des technologies employées. Les produits achetés, représentant les émissions liées à la chaîne d'approvisionnement et à la production des biens consommés, présentent également des incertitudes dues à la diversité des pratiques de fabrication et aux variations géographiques. Ainsi, pour obtenir une image la plus fidèle possible du bilan carbone, il est crucial de considérer et d'ajuster ces incertitudes en utilisant des méthodes de calcul robustes et

des données actualisées.

ITEM	Unité	Quantité	ref. Emissio	Unité	Emission	Incertitude
TMPA	Litres	178130,021	3,24	KgCO2/Litre	577 141,27	10%
Batiments TMPA & MEDHUB - R22	KG	7	1810	KgCO2/Kg	12 670,00	30%
Batiments TMPA & MEDHUB - R404A	KG	31	3922	KgCO2/Kg	121 582,00	30%
Batiments TMPA & MEDHUB - R407C	KG	41	1526	KgCO2/Kg	62 566,00	30%
Batiments TMPA & MEDHUB - R410A	KG	38	2088	KgCO2/Kg	79 344,00	30%
TMPA	kWh	12 037 332	0,645	KgCO2/KW	7 764 078,98	10%
TMPA	Litres	188320	3,24	KgCO2/Litre	610 156,80	10%
TMPA	Litres	110000	3,24	KgCO2/Litre	356 400,00	10%
Achats de biens TMPA	DHS	33 799 078	32	kgCO2e/kMAD	1 081 570,50	50%
Constructions TMPA	DHS	403 292 691	33	kgCO2e/kMAD	443 621,96	50%
Installations techniques, matériels et Outils TMPA	DHS	54 837 046	64	kgCO2e/kMAD	701 914,19	50%
Matériel de Transport TMPA	DHS	7 542 508	64	kgCO2e/kMAD	96 544,10	50%
Mobilier de bureau et aménagement TMPA	DHS	19 254 602	10	kgCO2e/kMAD	64 182,01	50%
Immobilisations corporelles TMPA	DHS	595 339 193	33	kgCO2e/kMAD	3 929 238,67	50%
Autres immobilisations TMPA	DHS	5 999	10	kgCO2e/kMAD	6,00	50%
TMPA	DHS	337 327 446	14	kgCO2e/kMAD	4 722 584,24	50%

*Tableau 9 : Incertitudes*

## **6.2. Exclusions**

Les postes suivants sont soit non applicables à Tanger Med, soit manquent d'informations de la part de TMPA : émissions directes des sources fixes de combustion, émissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité, transport de marchandises amont et aval, déplacements professionnels, actifs en leasing amont et aval, utilisation et fin de vie des produits vendus, investissements, et autres émissions indirectes. Ces éléments ne sont pas pertinents pour les opérations de Tanger Med ou ne disposent pas de données suffisantes pour une évaluation précise des émissions associées.

## **7. Conclusion**

L'analyse des émissions de carbone de la Tanger Med Port Authority (TMPA) montre que certaines catégories sont les principaux contributeurs. La consommation d'électricité est la plus grande source, représentant 30% des émissions totales (7 764,079 tCO2e), en raison des besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et les équipements de manutention. Les immobilisations de biens représentent 20% des émissions (5 235,50 tCO2e), en raison des infrastructures portuaires et des équipements lourds. Les achats de services constituent 18% des émissions (4 722,58 tCO2e), principalement à cause des services externalisés comme le transport maritime et les services logistiques. La gestion des déchets contribue à 9% des émissions (2 292,62 tCO2e), et les déplacements domicile-travail des employés représentent 5% (1 322,95 tCO2e), indiquant des possibilités de réduction par des solutions de transport durable. Les émissions directes des procédés hors énergie et des sources mobiles de combustion

contribuent respectivement à 6% (1 499,05 tCO<sub>2</sub>e) et 4% (1 286,7 tCO<sub>2</sub>e). Les émissions directes fugitives, à 1% (276,162 tCO<sub>2</sub>e), ainsi que celles issues de la biomasse (2% avec 440 tCO<sub>2</sub>e), sont mineures mais nécessitent une surveillance continue. Les achats de biens représentent 5% des émissions (1 107,17 tCO<sub>2</sub>e). En comparant ces résultats à ceux d'autres ports similaires, il apparaît que TMPA se situe dans la moyenne, bien que certains ports aient des performances environnementales meilleures grâce à des technologies plus avancées et à des pratiques de gestion durable.

L'étude des corrélations entre les différentes sources d'émissions et les facteurs influents, comme les émissions d'énergie, de transport et des produits achetés, montre des liens significatifs. L'analyse prédictive utilisant la régression linéaire a permis de modéliser et de prévoir les émissions futures, fournissant ainsi un outil précieux pour la planification environnementale.

Pour aller plus loin, le prochain chapitre abordera les méthodes de réduction et de compensation des émissions de carbone. Nous explorerons des stratégies innovantes et efficaces, allant des améliorations technologiques aux initiatives de compensation carbone, afin de permettre à TMPA de réduire son empreinte environnementale et de contribuer activement à la lutte contre le changement climatique.



hapitre



## Stratégies de Réduction des Émissions

## **1. Introduction**

Dans ce dernier chapitre, nous abordons les méthodes de réduction des émissions de carbone et les stratégies de compensation associées à TMPA. Ce chapitre se concentre sur les initiatives visant à atténuer l'empreinte carbone du complexe portuaire tout en explorant les moyens de compenser les émissions résiduelles. La réduction des émissions implique l'adoption de pratiques et de technologies visant à minimiser l'impact environnemental des opérations portuaires, tandis que la compensation vise à contrebalancer les émissions inévitables par des actions telles que la séquestration du carbone, les projets de reforestation, ou d'autres initiatives de compensation carbone. Ce chapitre explore les différentes approches disponibles, leurs implications et leur potentiel à contribuer à la durabilité environnementale de TMPA, tout en soulignant l'importance d'une approche intégrée pour atteindre les objectifs de réduction des émissions et de compensation carbone.

## **2. Actions de reduction**

À TMPA, plusieurs méthodes de réduction des émissions de carbone peuvent être envisagées pour promouvoir la durabilité environnementale et réduire l'empreinte carbone du complexe portuaire :

### **1. Optimisation de l'Efficacité Énergétique**

- Utilisation de systèmes de gestion intelligente de l'énergie pour surveiller et optimiser la consommation d'énergie en temps réel.
- Adoption de pratiques d'optimisation des processus industriels pour réduire les pertes d'énergie et améliorer l'efficacité.

### **2. Transition vers les Énergies Renouvelables**

- Intégration de parcs éoliens pour compléter les installations solaires existantes et diversifier les sources d'énergie renouvelable.

### **3. Amélioration de la Logistique et du Transport**

- Utilisation de véhicules électriques pour les opérations internes et les déplacements autour du port.
- Promotion de pratiques de transport durable parmi les partenaires et les transporteurs utilisant le port.

#### 4. Gestion et Réduction des Déchets

- Mise en place de programmes de gestion des déchets visant à minimiser la production de déchets et à maximiser le recyclage.
- Promotion du recyclage des matériaux pour réduire les émissions de méthane et d'autres gaz à effet de serre.

#### 5. Aménagement Écologique et Conservation de la Biodiversité

- Pratiques de conservation de la biodiversité pour protéger et restaurer les habitats naturels autour des sites portuaires.
- Restauration écologique pour maintenir et améliorer les écosystèmes locaux.

#### 6. Éducation et Sensibilisation Environnementale

- Développement de programmes éducatifs pour le personnel du port et les parties prenantes locales afin de promouvoir les meilleures pratiques environnementales.
- Sensibilisation à l'adoption de comportements durables à travers des campagnes et des formations.

#### 7. Partenariats et Collaboration

- Collaboration avec des partenaires industriels pour développer des initiatives de réduction des émissions de carbone basées sur la recherche et l'innovation.
- Partenariats avec des institutions académiques et des organisations environnementales pour renforcer les initiatives de durabilité.

Ces approches variées peuvent être intégrées dans une stratégie globale de réduction des émissions de carbone à TMPA, renforçant ainsi l'engagement du port envers la durabilité environnementale tout en contribuant à la lutte contre le changement climatique à l'échelle locale et mondiale. Chaque méthode joue un rôle crucial dans la promotion d'une gestion

responsable des ressources et dans la création d'un environnement portuaire plus propre et plus durable.

### **3. Actions de compensation**

À TMPA, plusieurs méthodes détaillées de compensation des émissions de carbone peuvent être envisagées pour renforcer les initiatives de durabilité environnementale du complexe portuaire :

#### **1. Reforestation et Afforestation :**

- **Reforestation** : Planter des arbres dans des zones dégradées ou déforestées autour du port. Les arbres absorbent le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère lors de la photosynthèse, aidant ainsi à compenser les émissions de carbone du port.
- **Afforestation** : Créer de nouvelles forêts là où il n'y en avait pas auparavant, ce qui augmente la capacité globale de stockage du carbone et soutient la biodiversité locale.

#### **2. Projet de Séquestration du Carbone :**

- **Stockage du Carbone dans les Sols** : Utiliser des pratiques agricoles telles que la gestion des sols et la plantation de cultures de couverture pour augmenter la teneur en carbone organique du sol.
- **Biocharbonisation** : Transformer la biomasse en biochar, un charbon végétal stable qui peut être incorporé dans les sols pour stocker le carbone à long terme.

#### **3. Compensation via des Crédits Carbone :**

- Acheter des **crédits carbone certifiés** issus de projets de réduction des émissions ailleurs dans le monde. Par exemple, soutenir des projets de reforestation dans les pays en développement ou des initiatives d'efficacité énergétique dans les industries polluantes.

#### **4. Mesures d'Efficacité Énergétique :**

- Mettre en œuvre des technologies et des pratiques pour améliorer l'efficacité énergétique des installations portuaires, telles que l'installation d'éclairage LED, l'optimisation des moteurs et des systèmes de gestion intelligente de l'énergie.

#### **5. Soutien aux Communautés Locales :**

- Développer des **programmes sociaux et environnementaux** qui bénéficient aux communautés locales, comme des programmes de sensibilisation à

l'environnement, des initiatives de création d'emplois verts et des projets de développement durable intégrant les pratiques agricoles et les techniques de conservation des ressources naturelles.

Ces approches variées permettent à Tanger Med de choisir des solutions adaptées à ses besoins spécifiques tout en contribuant à atténuer les émissions de carbone et à promouvoir une gestion environnementale responsable. Chaque méthode peut être intégrée dans une stratégie globale visant à compenser les émissions résiduelles du port tout en renforçant son engagement en faveur de la durabilité.

## **4. Conclusion**

Dans le dernier chapitre traitant des méthodes de compensation et de réduction des émissions de carbone à TPMA, plusieurs approches stratégiques ont été explorées pour atténuer l'impact environnemental du complexe portuaire. Les méthodes de compensation envisagées incluent la plantation d'arbres et la participation à des projets de séquestration du carbone, visant à compenser les émissions résiduelles après avoir maximisé les efforts de réduction.

En termes de réduction des émissions, plusieurs stratégies ont été recommandées, notamment l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations portuaires, la transition vers les énergies renouvelables pour alimenter les opérations, et l'optimisation des processus logistiques pour réduire les kilomètres parcourus par les véhicules et les navires. De plus, la gestion des déchets et des ressources, ainsi que l'adoption de pratiques de transport plus durables, sont essentielles pour réduire l'empreinte carbone globale de TPMA.

Ces approches sont cruciales pour répondre aux exigences croissantes de durabilité environnementale et pour positionner Tanger Med comme un leader régional dans la gestion responsable des ressources et la protection de l'environnement. En intégrant ces stratégies dans ses plans de développement futurs, le complexe portuaire peut non seulement améliorer son bilan carbone, mais aussi contribuer de manière significative à la lutte mondiale contre le changement climatique.

## **CONCLUSION GENERALE**

Dans ce rapport, nous avons entrepris une analyse exhaustive de l'empreinte carbone de TMPA, en examinant divers aspects cruciaux et en utilisant des méthodes statistiques rigoureuses. Le premier chapitre a présenté le contexte général, en abordant l'organisation hôte et la gestion du projet, fournissant ainsi une vue d'ensemble des opérations portuaires. Le deuxième chapitre a défini les paramètres organisationnels et opérationnels, en détaillant l'utilisation de méthodes statistiques telles que la corrélation et la régression linéaire, ainsi que la méthodologie de calcul appliquée pour déterminer les émissions de carbone. Le troisième chapitre s'est concentré sur le calcul et le bilan carbone, en mettant en lumière les résultats obtenus, les analyses comparatives avec d'autres ports internationaux, et l'adaptation de modèles prédictifs pour estimer les futures émissions. Le chapitre final a discuté des méthodes de compensation et de réduction des émissions, essentielles pour atténuer l'impact environnemental du port.

Il est important de noter la difficulté d'obtenir des données précises de la TMPA en raison de leur confidentialité. En tant qu'internes, nous n'avons pas eu un accès complet à toutes les informations nécessaires, ce qui a limité la portée de notre analyse. Néanmoins, ces données sont cruciales pour une évaluation rigoureuse et une gestion efficace de l'empreinte carbone.

Par ailleurs, il est pertinent de mentionner le potentiel d'utilisation de méthodes de Machine Learning plus avancées pour améliorer les prévisions des émissions de carbone. En outre, le développement d'un site web dédié où toutes ces informations seraient accessibles pourrait non seulement améliorer la précision des prévisions mais aussi augmenter la transparence et la disponibilité des données. Cette plateforme pourrait servir d'outil essentiel pour une gestion plus proactive et informée des émissions de carbone, facilitant ainsi une meilleure prise de décision et la mise en œuvre de stratégies de réduction des émissions.

## **Bibliographie**

<https://fm6e.org/>

<https://www.tangermedport.com/fr/>

<https://www.tangermed.ma/fr/>

<https://www.anp.org.ma/fr/>

<https://www.ademe.fr/>

[https://youmatter.world/fr/definitions/scope-1-2-3-definition/#:~:text=Scope%201%202%203%C2d%C3%A9finition,bilan%20carbone%20\(ou%20bilan%20GES\)&text=Dans%20ce%20cadre%20les%20scopes,scope%203%20le%20plus%20large.](https://youmatter.world/fr/definitions/scope-1-2-3-definition/#:~:text=Scope%201%202%203%C2d%C3%A9finition,bilan%20carbone%20(ou%20bilan%20GES)&text=Dans%20ce%20cadre%20les%20scopes,scope%203%20le%20plus%20large.)

<https://www.hellocarbo.com/>