

# **ETUDE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DU PASSAGE PORTUAIRE**

**RAPPORT FINAL**

**26 novembre 2010**

Cette étude a été réalisée par le groupement constitué des cabinets suivants :

	<b>AJI-Europe</b>	( <a href="http://www.aji-europe.fr">www.aji-europe.fr</a> / 01 46 89 01 22)
	( Le Cabinet AJI – Europe a été le mandataire du groupement pour cette étude)	
	<b>MLTC</b>	( <a href="http://www.mltc.fr">www.mltc.fr</a> / 01 43 12 96 70)
	Maritime Logistics & Trade Consulting	
	<b>Citepa</b>	( <a href="http://www.citepa.org">www.citepa.org</a> / 01 44 83 68 87)
	Centre interprofessionnel d'études sur la pollution de l'air	
	<b>EFEC Consultants</b>	(01 45 34 35 20)

Nous tenons à remercier l'ensemble des organisations professionnelles, responsables de l'administration et entreprises qui nous ont permis de mener à bien cette étude.

Le comité de pilotage, présidé par Matthieu Chabanel, sous directeur à la direction des services de transport (DST), puis par Philippe Maler, chargé de mission auprès du directeur général des infrastructures des transports et de la mer (DGITM), était constitué des membres suivants :

<b>Administration</b>		
DST	Matthieu	Chabanel
DGITM	Philippe	Maler
DST	Pierre	Bidet
Mission Flotte de Commerce	Denise	Juin Sevin
Mission Flotte de Commerce	Barbara	Waked
SAGS	Pierre	Franc
DGEC	Diane	Simiu
DGEC	Laetitia	El Beze
Dragage ports	Michel	David
CETMEF	Lionel	Kaniewski
ADEME	Gilles	Aymoz
Ministère de la Santé	Marie	Fiori
<b>Bureaux d'études</b>		
AJI-Europe	Christian	Delavelle
AJI-Europe	David	Fayolle
EFEC Consultants	Charles	Meunier
CITEPA	Yann	Martinet
CITEPA	Jean Pierre	Fontelle
MLTC	Romain	Pays

<b>Ports</b>		
Grand Port Maritime du Havre	Genevieve	Freger
Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire	Mathias	Guerin
Grand Port Maritime de Marseille	Magali	Deveze
Grand Port Maritime de Marseille	Alexandra	Brotelle
Grand Port Maritime de Marseille	François	Giraud
Grand Port Maritime de Bordeaux	Julien	Mas
Grand Port Maritime de Bordeaux	Thibault	Guillon
Grand Port Maritime de Dunkerque	Maurice	Evain
Grand Port Maritime de Dunkerque	Pascal	Gregoire
Grand Port Maritime de Rouen	Sandrine	Samson
Grand Port Maritime de Rouen	Christelle	Larsonneur
Grand Port Maritime de Rouen	Philippe	Lenoir
Grand Port Maritime de La Rochelle	Bernard	Plisson
Grand Port Maritime de La Rochelle	Philippe	Reydant
<b>Organisations professionnelles</b>		
BP2S	Jean Marie	Millour
Fédération Française des pilotes maritimes	Frédéric	Moncany De Saint Aignan
Fédération Française des pilotes maritimes	Yves	Richard
Union des Ports de France	Mathilde	Pollet
Armateurs de France	Patrick	Rondeau
Unim	Xavier	Galbrun



## Résumé

### Contexte et objectifs de l'étude

Dans le cadre de l'objectif prioritaire exprimé par l'Etat à la suite du Grenelle de l'environnement, d'acquérir le savoir-faire en matière d'évaluation de l'empreinte environnementale des services, la présente étude vise à inventorier l'ensemble des sources d'émissions de CO<sub>2</sub>, de SO<sub>x</sub>, de NO<sub>x</sub> et de particules produites lors du passage portuaire des navires de commerce, à concevoir un outil de calcul des consommations énergétiques et des émissions de GES et de polluants résultant du passage portuaire, par grandes filières logistiques, puis à utiliser cet outil pour évaluer la consommation énergétique et les émissions correspondantes dans les sept Grands Ports Maritimes français.

### Périmètre

Le périmètre de l'étude est défini par trois catégories de consommation d'énergie et d'émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées au passage portuaire :

- les consommations et les émissions localisées dans le périmètre du port, liées aux opérations des navires ainsi qu'à l'activité des équipements fixes et mobiles participant directement à la manutention des produits;
- les consommations et les émissions indirectes liées aux activités nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'activité portuaire (bureaux, écluses, éclairage des quais) ;
- les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants délocalisées, liées à la production d'électricité par les centrales situées à l'extérieur des ports.

L'analyse est basée sur une typologie en 15 catégories de navires et 6 filières logistiques (conteneurs, vracs secs, vracs liquides, Ro-Ro, auto carriers et marchandises diverses).

### Enseignements clés de l'étude

La consommation totale d'énergie des opérations liées au passage portuaire dans les 7 GPM français est estimée à ~430 000 TEP pour l'année 2009.

Pour les 7 GPM, les émissions de la partie maritime du passage portuaire représentent en moyenne de 84 à 97% des émissions totales du passage portuaire selon le polluant concerné et 82% pour le CO<sub>2</sub>.

Les émissions délocalisées représentent respectivement 99% (SO<sub>x</sub>), 29% (CO<sub>2</sub>), 8% (NO<sub>x</sub>) et 7% (TSP) des émissions liées au passage portuaire terrestre.

Dans le cas des deux chaînes théoriques prises comme exemples (porte-conteneurs 2200 EVP et vraquier Handymax sur un maillon maritime de 4000 km), la part des émissions de polluants liées au passage portuaire dans le total des émissions de chaque chaîne de transport est comprise entre 13 et 23% selon le polluant et la filière considérés. Pour le CO<sub>2</sub>, cette part est comprise entre 11 et 13% selon la filière considérée.

La part des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées au passage portuaire dans l'ensemble des émissions d'une chaîne de transport internationale est très sensible à la longueur du maillon maritime

Les résultats des calculs d'émissions liés au volet terrestre du passage portuaire présentent une sensibilité élevée aux valeurs retenues pour les facteurs d'émission de l'électricité.

Le renforcement des réglementations sur les émissions de polluants et les efforts déployés par les différents acteurs concernés contribuent à réduire les émissions liées au passage portuaire.

**Cibles :** Pouvoirs publics, autorités portuaires, gestionnaires de terminaux portuaires, armateurs, fabricants d'équipements portuaires, fabricants d'équipements de manutention, collectivités locales

**Mots clés :** Passage portuaire, Emissions, GES, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Particules, Impact environnemental



## Abstract

### Context and objectives of the study

In the framework of the "Grenelle de l'environnement", the French public authorities have defined as a priority the acquisition of the required know-how to assess the environmental impact of service activities. In this context, this study aims at making a goods movement air emissions inventory in maritime ports (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and particulate matters), designing a tool to quantify the energy consumption and GHG and pollutants air emissions for each type of goods movement and applying this tool in order to assess goods movement energy consumption and GHG and pollutants emissions in the seven French "Grands ports maritimes".

### Scope of the study

This study covers three types of energy consumptions and CO<sub>2</sub> and pollutants emissions:

- the direct consumptions and emissions occurring within the geographical perimeter of each port and related to the activity of fixed and mobile handling equipment as well as ships port operations;
- the indirect consumptions and emissions related to general activities of each port, such as office heating and lighting, lock gates operation, piers lighting....;
- the CO<sub>2</sub> and pollutants emissions outside each port, dealing with the production of electricity in power plants.

The whole study is structured around a typology in 15 ships categories and 6 logistic schemes (containers, dry and liquid bulk, Ro-Ro, auto carriers and general cargo).

### Key findings of the study

In 2009, the total energy consumed for goods movement in the seven ports reached about 430 000 TOE.

For the 7 "Grands Ports maritimes", the emissions of pollutants corresponding to the "maritime side" of goods movement represent between 84 and 97% of total goods movement pollutants emissions, depending on the kind of pollutant. For CO<sub>2</sub> emissions, this proportion is 82%.

The emissions dealing with electricity production in power plants outside the ports represent respectively 99% (SO<sub>x</sub>), 29% (CO<sub>2</sub>), 8% (NO<sub>x</sub>) and 7% (TSP) of the emissions of the "terrestrial side" of goods movement.

For the two "theoretical" transport chains taken as examples (container-carrier 2200 EVP and bulk carrier "Handymax", with a maritime link of 4000 km), the proportion of pollutants emissions dealing with goods movement in the maritime ports represent between 13 and 23% of total pollutants emissions of the whole supply chain. For CO<sub>2</sub> emissions, this proportion is in the range 11 - 13%.

The proportion of emissions dealing with goods movement in the emissions of the whole supply chain is very sensitive to the length of the maritime link.

The emissions dealing with goods movement in the seven ports are very sensitive to the value selected for the emission factor of electricity production.

The increasingly stringent environmental regulations, together with the efforts undertaken by the port authorities, terminal operators and shippers, contribute to the decrease of goods movement emissions in the seven harbours.

**Targets:** Public authorities, Port authorities, Terminal operators, Shippers, Port equipment manufacturers, Handling equipment manufacturers, Municipal and regional authorities.

**Key words:** Goods movement, Maritime ports, Emissions, GHG, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Particulate matters, Environmental impact



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>■</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	<b>11</b>
1.1		CONTEXTE	11
1.2		OBJECTIFS	11
<b>2</b>	<b>■</b>	<b>CHAMP DE L'ETUDE</b>	<b>13</b>
2.1		LES 7 GPM CONCERNES PAR L'ETUDE	13
2.2		NATURE DES GES ET DES POLLUANTS ANALYSES	13
2.3		PERIMETRE GEOGRAPHIQUE	14
<b>3</b>	<b>■</b>	<b>TYPLOGIES DES NAVIRES ET DES FILIERES LOGISTIQUES</b>	<b>17</b>
3.1		TYPLOGIE DES NAVIRES	17
3.2		TYPLOGIE DES FILIERES LOGISTIQUES	18
<b>4</b>	<b>■</b>	<b>METHODOLOGIE DE CALCUL DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET DES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ET DE POLLUANTS</b>	<b>19</b>
4.1		REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	19
4.2		METHODOLOGIE UTILISEE POUR LA PRESENTE ETUDE / LIMITES DE L'ETUDE	20
4.3		DESCRIPTION DE L'OUTIL DE SIMULATION DES EMISSIONS	22
4.4		RECUEIL DES DONNEES	25
<b>5</b>	<b>■</b>	<b>RESULTATS DE LA SIMULATION APPLIQUEE AUX 7 GPM</b>	<b>27</b>
5.1		RESULTATS GLOBAUX	27
5.2		RESULTATS DETAILLES DE LA PARTIE MARITIME	31
5.3		RESULTATS DETAILLES DE LA PARTIE TERRESTRE	34
5.4		PARTICULES NON ENERGETIQUES	40
<b>6</b>	<b>■</b>	<b>ENJEUX RELATIFS DES EMISSIONS DU PASSAGE PORTUAIRE DANS L'ENSEMBLE DE LA CHAINE DE TRANSPORT</b>	<b>43</b>
6.1		DESCRIPTION DES CHAINES DE TRANSPORT UTILISEES COMME EXEMPLES	43
6.2		RESULTATS DES SIMULATIONS	43
6.3		SENSIBILITE DES CALCULS D'EMISSIONS DE CO <sub>2</sub> ET DE POLLUANTS A LA DISTANCE DU MAILLON MARITIME	45
6.4		SENSIBILITE DES CALCULS D'EMISSIONS DE CO <sub>2</sub> ET DE POLLUANTS AU TYPE DE NAVIRE	47

<b>7</b>	<b>■</b>	<b>PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>■</b>	<b>ANNEXE 1 : FORMULES PARAMETREES</b>	<b>52</b>
8.1		PARTIE MARITIME	52
8.2		PARTIE TERRESTRE	54
<b>9</b>	<b>■</b>	<b>ANNEXE 2 : DONNEES UTILISEES POUR LE VOLET TERRESTRE DU PASSAGE PORTUAIRE</b>	<b>58</b>
9.1		FACTEURS D'EMISSION DE CO <sub>2</sub>	58
9.2		FACTEURS D'EMISSION DES NO <sub>x</sub>	59
9.3		FACTEURS D'EMISSION DES SO <sub>x</sub>	61
9.4		FACTEURS D'EMISSION DES PARTICULES	62
9.5		RATIOS DE CONSOMMATION ENERGETIQUE	63
9.6		VALEURS PAR DEFAUT	64
<b>10</b>	<b>■</b>	<b>ANNEXE 3 : DONNEES UTILISEES POUR LE VOLET MARITIME DU PASSAGE PORTUAIRE</b>	<b>67</b>
<b>11</b>	<b>■</b>	<b>ANNEXE 4 : BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>70</b>

## CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

### 1.1 CONTEXTE

Conformément à l'objectif prioritaire exprimé par l'Etat, à la suite du Grenelle de l'environnement, d'acquies le savoir faire en matière d'évaluation de l'empreinte environnementale des services, la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), après de nombreux travaux consacrés aux modes de transport terrestres, a mené une étude sur l'efficacité énergétique et environnementale du transport maritime. Ces études ont permis d'approcher l'empreinte du transport multimodal, et d'avancer, lorsque celles-ci ont un sens, des comparaisons modales. Toutes ces études modales donnent de précieuses indications sur le transport lorsque celui-ci est effectué à vitesse constante, c'est à dire en régime permanent.

La DGITM, notamment chargée de la tutelle des Grands Ports Maritimes, a estimé que pour compléter ces études, il était nécessaire qu'elle dispose également d'une évaluation de l'empreinte environnementale du « passage portuaire », en particulier au plan des émissions aériennes.

Du « point de vue » du navire, le passage portuaire commence, à l'arrivée de celui-ci, à la fin de la « route libre » (la machine de propulsion ne fonctionnant plus en régime permanent), c'est-à-dire en général au moment où le pilote embarque (ou, si l'entrée du navire est différée, au moment du début de son mouillage d'attente) et se termine, au départ du navire, au moment où, pilote débarqué, le navire est de nouveau en « route libre » (la machine de propulsion fonctionnant à nouveau en régime permanent).

Du « point de vue » de la marchandise, le passage portuaire –en entrée ou en sortie– comprend la période pendant laquelle elle est à bord du navire ainsi que les périodes concernées par toutes les opérations de manutention « bord/terre » ou « terre/bord », toutes les opérations de manutention terrestre internes au terminal portuaire et toutes les opérations de manutention « terre/autre mode » ou « autre mode/terre ».

Contrairement aux modes de transport terrestres tels que le rail, la route et le fluvial, la plupart des activités de transport liées aux opérations de passage portuaire sont effectuées en régime non permanent.

### 1.2 OBJECTIFS

La présente étude vise à identifier et inventorier l'ensemble des sources d'émissions de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> et particules produites lors du passage portuaire des navires de commerce, en déduire un outil validé applicable aux ports français et utiliser le modèle obtenu pour évaluer les émissions dans les 7 Grands Ports Maritimes français.

Les principaux sous objectifs de l'étude sont donc les suivants :

- Evaluer de manière exhaustive les émissions de gaz à effet de serre (GES), de polluants (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) et de particules rapportées de manière unitaire à la marchandise

à l'occasion du passage portuaire. Produire un tableau récapitulatif exhaustif et paramétré de cet inventaire ;

- Construire un outil d'évaluation des consommations énergétiques et des émissions de GES et de polluants applicable à tous les profils de ports ;
- Tester cet outil sur un ou deux cas réels simples, chaque cas décrivant le passage d'une filière donnée dans un port donné ;
- Appliquer cet outil à chacun des sept Grands Ports Maritimes français, pour toutes les filières identifiées.

Il n'est bien entendu pas question, dans l'esprit des initiateurs de cette étude, de stigmatiser tel ou tel acteur de la chaîne de transport, voire tel ou tel port. L'objectif est, au contraire, d'apporter des ordres de grandeur globaux, utiles à tous les acteurs concernés en vue d'approfondir les réflexions sur le sujet.

D'autre, part, il est important de souligner que cette étude constitue un « point zéro », destiné à être développé par la suite au fur et à mesure de l'évolution de la réglementation, des pratiques et de la technologie.

Le présent document décrit la méthodologie utilisée et les résultats obtenus à l'issue de cette étude.

## 2

### CHAMP DE L'ETUDE

#### 2.1 LES 7 GPM CONCERNES PAR L'ETUDE

L'évaluation des émissions a été réalisée sur les 7 GPM français, dont les trafics par grandes catégories de produits et les nombre d'escales de navires sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

**Trafics (x1000 t) des 7 GPM, par filière  
(année 2009)**

x1000 t	Bordeaux	Dunkerque	Le Havre	Marseille	Nantes	La Rochelle	Rouen
Conteneurs	772	1 801	22 196	8 667	1 570	57	1 012
Vracs secs	2 408	17 369	3 877	8 474	7 938	4 087	9 786
Vracs liquides	5 384	12 423	45 581	60 200	19 511	2 637	11 585
Roulier	181	13 430	4 214	5 854	733	788	920
<b>Total</b>	<b>8 746</b>	<b>45 023</b>	<b>75 868</b>	<b>83 194</b>	<b>29 752</b>	<b>7 569</b>	<b>23 303</b>

**Nombres d'escales des 7 GPM, par filière  
(année 2009)**

	Bordeaux	Dunkerque	Le Havre	Marseille	Nantes	La Rochelle	Rouen
Conteneurs	106	421	2 240	1 596	355		737
Vracs secs	526	1 082	412	543	1 555	374	857
Vracs liquides	588	1 060	742	1 935	992	218	1 516
Roulier	60	3 965	1 110	1 952	204	68	24
<b>Total</b>	<b>1 280</b>	<b>6 528</b>	<b>4 504</b>	<b>4 609</b>	<b>3 106</b>	<b>660</b>	<b>3 134</b>

Notes :

- Les caractéristiques-clés des infrastructures, des trafics et des logistiques utilisées dans les 7 GPM (flux, trafics, organisations logistiques) sont présentées dans un fichier séparé (« Description\_GPM.doc »).
- La rubrique « roulier » inclut les ferries.

#### 2.2 NATURE DES GES ET DES POLLUANTS ANALYSES

La liste suivante de GES et de polluants à étudier en priorité dans le cadre de cette étude a été arrêtée en accord avec le comité de pilotage. Elle correspond aux principaux enjeux du passage portuaire en termes de pollution et d'effet de serre :

- ✓ CO<sub>2</sub>
- ✓ NO<sub>x</sub>
- ✓ SO<sub>x</sub>
- ✓ Particules (énergétiques et non énergétiques)
  - dont particules (PM 10)
  - dont particules (PM 2,5)

L'analyse bibliographique montre en effet que les autres polluants et GES représentent des enjeux moins essentiels au plan quantitatif en terme d'impact environnemental et sur la santé.

Pour mémoire, le WPCI<sup>1</sup> souligne que les GES les plus importants dans les émissions de GES liées aux opérations de passage portuaire sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O).

De son côté, l'IPCC liste les autres GES suivants<sup>2</sup>:

- ✓ hydrofluorocarbones (HFC)
- ✓ perfluorocarbones (PFC)
- ✓ hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)
- ✓ trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>)
- ✓ trifluorométhyle pentafluorure de soufre (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>)
- ✓ éthers halogénés (C<sub>4</sub>F<sub>9</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>OCHF<sub>2</sub>, CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OCHF<sub>2</sub>)
- ✓ autres produits halogénés non couverts par le Protocole de Montréal, dont : CF<sub>3</sub>I, CH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>, CHCl<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>.

En pratique, le CO<sub>2</sub> représente plus de 99% des émissions (en tonnage) de GES du passage portuaire, conséquence directe du fait que les émissions de GES sont dues principalement à la combustion d'énergie fossile. Or le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O ne se forment qu'en quantité très faible lors de la combustion de l'essence et du gazole. D'autre part, les HFC correspondent à des fuites dans les systèmes d'air conditionné des bâtiments et des conteneurs « reefers » mais correspondent à des tonnages très réduits. Les autres GES sont émis d'activités industrielles très spécifiques et ne sont pas concernés par les opérations de passage portuaire.

## 2.3 PERIMETRE GEOGRAPHIQUE

### 2.3.1 Limites géographiques et logistiques du passage portuaire

La définition du périmètre géographique est un aspect crucial de l'étude, en particulier au niveau des deux points suivants :

- la définition de la zone d'approche des navires. Plusieurs possibilités sont en effet envisageables : point d'embarquement du pilote, passage de la bouée d'entrée de chenal....
- la limite « terrestre » du passage portuaire (les études réalisées par plusieurs ports américains sont basées sur des limites différentes, pouvant aller, pour les pré et post-acheminements terrestres, de la « barrière » d'entrée du port jusqu'à la limite du comté).

D'autre part, dans un souci de cohérence des calculs d'émissions, il est indispensable que la présente étude respecte trois conditions essentielles :

- la complémentarité avec les autres maillons de la chaîne logistique afin d'éviter tout double comptage, ou inversement l'omission d'une prestation. Le périmètre de calcul a donc été défini, pour chaque filière, de telle façon que la complémentarité avec les calculs d'émissions réalisés dans le cadre des approches modales (en particulier avec les coefficients d'émission de CO<sub>2</sub> du mode routier et du mode ferroviaire définis par l'ADEME) soit assurée.
- L'exclusion du champ de l'étude des activités qui, même si elles sont localisées dans les limites de la zone portuaire, sont de nature strictement industrielle et ne font donc pas partie des opérations de passage portuaire. Il s'agit en particulier :
  - ✓ des émissions liées aux activités industrielles localisées dans des ateliers situés à l'intérieur du périmètre de la zone portuaire ;
  - ✓ des émissions liées aux travaux de construction des infrastructures portuaires (jetées, quais, bâtiments....) ;

<sup>1</sup> WPCI - "Carbon Footprinting Working Group - Guidance Document".

<sup>2</sup> IPCC - "Guidelines from the Intergovernmental Panel on Climate Change".

- ✓ des travaux et opérations de maintenance lourde dans le port (réfection ou rénovation des infrastructures portuaires).
- la différenciation nette entre les émissions locales et les émissions « délocalisées » :  
La consommation énergétique des équipements tels que les grues, les chariots élévateurs.... fonctionnant avec des combustibles fossiles (gazole, essence) génère localement des émissions de polluants et de CO<sub>2</sub>. Au contraire, la consommation énergétique des équipements consommant de l'électricité génère des émissions de polluants et de CO<sub>2</sub> délocalisées au niveau des unités de production d'électricité (sur la base du « mix » énergétique d'énergies primaires correspondant à la consommation française d'électricité).

**Compte tenu de ces lignes directrices, le périmètre de l'étude est défini par trois catégories de consommations d'énergie et d'émissions de GES et de polluants liées au passage portuaire (cf. schéma ci-dessous) :**

- ✓ les consommations d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants localisées dans le périmètre du port, liées à l'activité des équipements fixes et mobiles participant directement à la manutention des produits (navires, engins de manutention...). Ces émissions correspondent essentiellement aux consommations d'énergies fossiles. Elles sont au cœur de l'analyse et sont donc évaluées le plus finement possible ;
- ✓ les consommations d'énergie et les émissions directes de CO<sub>2</sub> et de polluants délocalisées, liées à l'activité des équipements fixes et mobiles participant directement à la manutention des produits (engins à propulsion électrique, portiques, bandes transporteuses, pompes et compresseurs...). Il s'agit des émissions liées à la production des centrales de production d'électricité (nucléaire, thermique, hydraulique, ...) situées à l'extérieur des ports ;
- ✓ les émissions indirectes liées aux activités nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'activité portuaire (bureaux, écluses, éclairage des quais...) : l'étude s'attachera à estimer les ordres de grandeur de ces émissions. Sauf cas particulier, ces émissions ne sont pas affectables à des filières spécifiques.

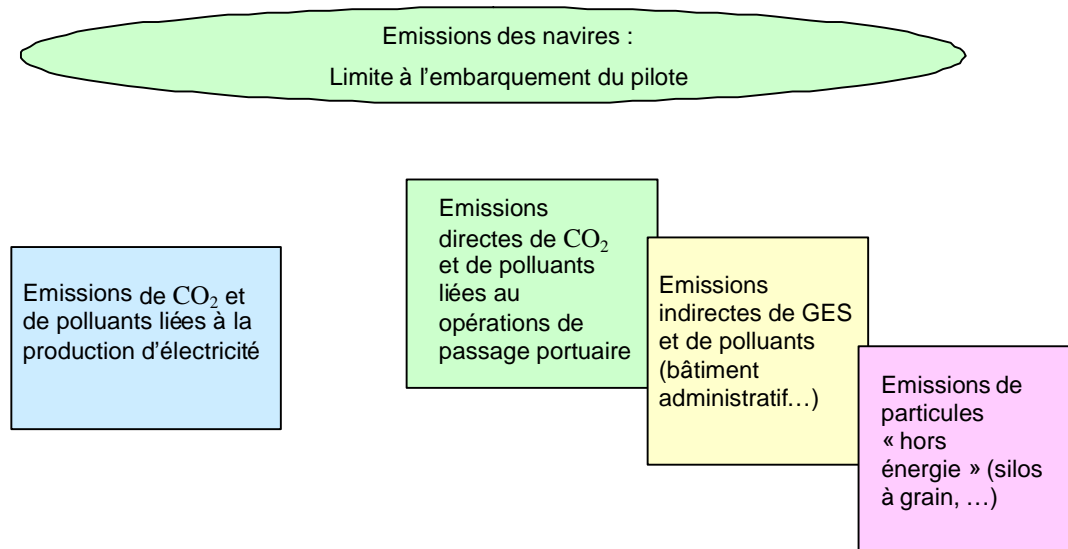
Notes :

- Les émissions de particules liées à des processus autres que la combustion (envolements...) font l'objet d'une évaluation dans une note séparée.
- Les émissions des navires au mouillage (en attente d'accostage) ne sont pas prises en compte. Durant cette phase, les générateurs auxiliaires fonctionnent. De plus, le navire se doit d'être prêt à appareiller ce qui implique une consommation de la motorisation principale car la propulsion doit pouvoir se mettre en service rapidement.

## Schéma des limites géographiques et logistiques du passage portuaire

A l'extérieur du périmètre du port

A l'intérieur du périmètre du port



Les deux catégories suivantes ne sont pas incluses dans le champ de l'étude :

- ✓ les émissions liées aux travaux de construction des infrastructures et de maintenance lourde ;
- ✓ Les émissions liées aux activités de transformation et de conditionnement dans des usines et entrepôts situés dans le périmètre du port mais ne participant pas aux opérations de passage portuaire.

### 2.3.2 Emissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées à la production d'énergie

Pour les combustibles fossiles, les émissions liées à la production d'énergie sont exclues du champ de l'étude. Ce choix, effectué en accord avec le Comité de pilotage, est justifié entre autre par le fait que les émissions polluantes liées à la production ne sont pas connues avec une précision suffisante.

Pour l'électricité, le facteur d'émission est basé sur les données du Citepa, qui correspondent au mix énergétique actuel de la production française. Les émissions liées à la production d'énergie sont incluses, ainsi que les pertes en ligne (hypothèse retenue pour la valeur moyenne des pertes en ligne : 8% de la consommation électrique).

## ■

## TYPOLOGIES DES NAVIRES ET DES FILIERES LOGISTIQUES

### 3.1 TYPOLOGIE DES NAVIRES

Pour chaque filière étudiée, le maillon maritime est étudié à partir d'une flotte représentative. Compte tenu de l'hétérogénéité de la flotte mondiale, nombre de navires sont uniques ou construits sur des séries de tailles relativement réduites. Il n'était pas envisageable d'adapter notre modèle pour chacun des navires faisant escale selon ses propres caractéristiques.

Une typologie a donc été élaborée en reprenant les caractéristiques des navires faisant escale dans des ports français. Ainsi, le tableau ci-dessous dresse la liste des navires retenus dans notre typologie. Chaque navire faisant escale dans un port français concernant une des filières étudiées peut être rapproché d'un de ces navires et donc intégré à notre modèle.

Filière	Navires	TPL
Conteneurs	PC 800 EVP	9 800
	PC 1600 EVP	21 200
	PC 2500 EVP	33 900
	PC 5500 EVP	67 900
	PC 8500 EVP	102 600
	PC 10000 EVP	115 300
Pétrole brut	VLCC	300 000
	Aframax	100 000
Produits pétroliers	Handy Product	37 000
	Small Tanker	12 000
Vracs secs	Capesize	180 000
	Panamax	76 000
	Handymax	52 000
	Handysize	31 000
Roulier	Navire roulier 2000 ml	5 900

Les données techniques des navires que nous avons retenus sont des moyennes mondiales. Néanmoins, plutôt que de retenir l'intégralité de la flotte mondiale, chaque moyenne est basée sur un échantillon regroupant seulement les navires relativement récents (ensemble des navires construits depuis 2000 inclus).

Ce dernier choix repose sur :

- La volonté d'obtenir un modèle dont les données puissent être valables durant plusieurs années ;
- La constatation que les navires faisant escale en France ont une moyenne d'âge inférieure à la flotte mondiale en activité.

### 3.2 TYPOLOGIE DES FILIERES LOGISTIQUES

La caractérisation des points de consommation d'énergie liés au passage portuaire suppose une bonne compréhension des différentes étapes du passage des marchandises, par filière, depuis le moment (exemple d'une marchandise importée) où le navire entre dans la zone d'étude jusqu'au moment où la marchandise est chargée sur un mode de post-acheminement, ou bien entre dans un processus de traitement industriel (conditionnement, transformation..).

Les différentes filières retenues sont les suivantes :

- Conteneurs
- Vrac secs
- Vrac liquides (dont hydrocarbures)
- Rouliers

Pour la partie « terrestre » du passage portuaire, la filière « roulier » est dissociée en « Ro-Ro », « Auto carriers » et « Marchandises diverses ».

---

## METHODOLOGIE DE CALCUL DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET DES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ET DE POLLUANTS

### 4.1 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

#### 4.1.1 WPCI

Le WPCI (World Port Climate Initiative) a rédigé un document de cadrage intitulé « Carbon Footprinting Working Group » destiné à fournir aux ports un cadre global homogène pour le calcul de l'impact environnemental du passage portuaire. Ce document décrit trois types d'approches possibles :

- l'approche basée sur les consommations (« Activity based approach ») consistant à utiliser les données de consommation d'énergie et/ou d'émissions relatives à chaque point de consommation à l'intérieur d'un port donné. Cette approche est susceptible de fournir des résultats très précis mais nécessite de disposer de données extrêmement détaillées et se traduit par un investissement très lourd en temps de collecte et d'analyse des données ;
- l'approche basée sur des indicateurs physiques (« Surrogate-based approach ») consistant à estimer les consommations d'énergie et les émissions de polluants à partir d'indicateurs physiques représentatifs de l'activité concernée. Cette approche est plus rapide que la première. La qualité des résultats dépend de la pertinence des indicateurs physiques utilisés ;
- l'approche mixte (« Hybrid approach ») consistant à mixer les deux approches précédentes.

#### 4.1.2 Travaux réalisés par les ports américains

Les ports américains sont incontestablement les plus avancés dans le monde en terme de réalisation d'études d'impact environnemental du passage portuaire. Trois ports ont développé des systèmes d'information détaillés et régulièrement actualisés :

- ✓ Los Angeles
- ✓ Long Beach
- ✓ Seattle

Les ports de New York et de Houston ont également réalisé des travaux intéressants.

Il convient de souligner la profonde différence de contexte entre les ports américains (en particulier ceux de l'Etat de Californie) et les ports de l'Union Européenne en matière de législation environnementale. Les ports californiens sont en effet soumis à une pression réglementaire très forte destinée à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du passage portuaire.

Les premiers inventaires d'émissions ont été réalisés en 2004, sur la base d'une méthodologie unique développée par les grands ports américains, en 5 grandes catégories d'émissions :

- ✓ navires maritimes ("ocean-going vessels")
- ✓ navires portuaires ("harbour craft")
- ✓ engins et équipements de manutention portuaire ("off-road cargo handling equipment")
- ✓ locomotives ("railroad locomotives")
- ✓ poids-lourds ("on-road heavy-duty vehicles").

Ces inventaires n'incluent pas les émissions liées à la consommation d'énergie électrique.

### **4.1.3 Autres travaux sur le sujet**

De nombreux autres travaux ont été effectués ou sont en cours de réalisation sur le sujet. On peut citer en particulier :

- les travaux de l'AIPCN (Association mondiale pour des infrastructures de transport maritimes et fluviales). Par exemple, le GPMH, le CETMEF et la section française de l'AIPCN ont organisé les Journées "Port et environnement" les 10 et 11 mars au Havre, sur le thème "Pour une conception et une exploitation des ports plus efficaces vis-à-vis de l'environnement" ;
- les travaux menés par AREVA dans le cadre du projet européen EFFORTS.

### **4.1.4 Bases de données sur les facteurs d'émission**

Les bases de données suivantes constituent des sources clés pour les facteurs d'émission :

- Les bases « EMEP-Corinair » et « Diesel.net » pour les émissions de polluants ;
- La base LIPASTO (Finlande), développée par l'institut VTT pour le compte des autorités finlandaises. Les engins électriques ne sont pas comptés car il s'agit d'émissions délocalisées. L'outil « Portensys » adapté à la problématique de simulation des émissions de CO<sub>2</sub> dans les ports finlandais (« press-button ») n'est pas accessible.

## **4.2 METHODOLOGIE UTILISEE POUR LA PRESENTE ETUDE / LIMITES DE L'ETUDE**

### **4.2.1 Approche générale**

La méthodologie s'appuie sur un modèle de calcul des consommations d'énergie puis, par le biais de facteurs d'émissions, de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants. Ce modèle a été développé sous Excel. Chaque calcul de consommation et d'émission est explicité par une formule paramétrée.

Des tests ont d'abord été réalisés sur deux filières (céréales au port de La Rochelle et conteneurs au port de Rouen). Ils avaient pour but de tester la méthode afin de vérifier la cohérence des résultats obtenus à partir d'exemples concrets. Ils ont clairement montré que le degré de détail des informations disponibles auprès des ports et des opérateurs de terminaux est extrêmement variable. Certains opérateurs de terminaux sont en effet en mesure de fournir des informations détaillées pour chaque engin de manutention (année de mise en service,

énergie consommée, puissance, nombre annuel d'heures de fonctionnement moteur.....) permettant ainsi d'effectuer un calcul fin de la consommation et des émissions produites par chaque engin. A contrario, dans d'autres cas, l'information disponible se limite au nombre d'engins par catégorie, voire à la consommation annuelle globale de combustible, tous engins confondus.

Afin de s'adapter à cette diversité des situations, l'outil de simulation a été conçu de manière à pouvoir effectuer des calculs de consommation et d'émissions à partir de données plus ou moins agrégées. Cette approche « à géométrie variable » présente l'avantage d'une flexibilité maximale, permettant d'appliquer l'outil aux situations contrastées rencontrées dans les sept GPM.

#### **4.2.2 Sources d'information utilisées**

Les consommations spécifiques d'énergie par type d'équipement (fixe ou mobile) proviennent :

- des données obtenues auprès des fabricants d'équipements portuaires fixes et mobiles ;
- des données obtenues auprès de plusieurs ports français ;
- des entretiens avec plusieurs opérateurs de terminaux.

Les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> et de polluants ont été établis en comparant et en recoupant les sources suivantes :

- les études d'impact réalisées depuis 2002 par plusieurs ports américains ;
- les fabricants d'équipements portuaires fixes et mobiles ;
- le guide des facteurs d'émission de l'ADEME (v5 et v6) ;
- la base Lipasto (Finlande) ;
- la base EMEP/Corinair ;
- la base « Dieselnets » ;
- les données du Citepa.

Les facteurs d'émission utilisés dans le cadre de la présente étude sont détaillés en annexe.

#### **4.2.3 Evaluation des émissions de CO<sub>2</sub>**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont directement proportionnelles à la consommation d'énergie. Elles sont calculées en appliquant un facteur d'émission spécifique à chaque type d'énergie utilisée. Elles sont exprimées en général en kg de CO<sub>2</sub> par litre de combustible (pour les combustibles fossiles) et en kg de CO<sub>2</sub> par kWh (pour l'électricité).

#### **4.2.4 Evaluation des émissions de NO<sub>x</sub>**

Le calcul des émissions de NO<sub>x</sub> est plus complexe que pour le CO<sub>2</sub> car les émissions dépendent à la fois de l'âge et de la puissance de l'équipement considéré. Les facteurs d'émission des NO<sub>x</sub> sont exprimés, selon les bases de données, soit en grammes de NO<sub>x</sub> par litre de combustible fossile consommé, soit en grammes de NO<sub>x</sub> par kWh consommé.

Les hypothèses retenues pour les émissions des navires (cf. données détaillées en annexe 3) sont basées sur des valeurs réelles observées pour différents types de navires. Ces valeurs correspondent à des taux d'émissions compris entre le "Tier 1" et le "Tier 2" de la réglementation.

#### **4.2.5 Evaluation des émissions de SO<sub>x</sub>**

Les hypothèses retenues concernant la teneur en soufre des combustibles marins sont les suivantes (voir tableau détaillé en annexe 3) :

- ✓ Navires en approche et en sortie (moteurs principaux et moteurs auxiliaires) : 1% dans les ports de la zone SECA ; 2,7% dans les autres ports
- ✓ Navires à quai : 0,1%
- ✓ Navires de service : 1%.

Compte tenu des réductions drastiques imposées par les normes, les émissions de SO<sub>x</sub> sont globalement très faibles pour les équipements de manutention terrestres (fixes et mobiles) ainsi que pour les véhicules. Jusqu'à récemment, elles étaient très significatives au niveau des navires. Toutefois, la nouvelle réglementation applicable depuis le 01/01/2010 imposant l'utilisation de fioul BTS dans les moteurs auxiliaires contribue à réduire très fortement les émissions de SO<sub>x</sub>.

#### **4.2.6 Evaluation des émissions de particules**

Les émissions de particules sont issues d'une part des phénomènes de combustion de l'énergie fossile et de la biomasse et, d'autre part, d'opérations diverses telles que manutention de produits pulvérulents (*i.e.* stockage des grains, chargement et déchargement de minerai ou de charbon, abrasion mécanique, envols, etc.).

L'étude se voulant la plus exhaustive possible dans la mesure où les données sont disponibles, chaque type de flux est caractérisé selon une ségrégation par classe granulométrique s'appuyant sur les seuils repris dans la Directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant « la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe », a savoir :

- TSP : quantité totale de particules en suspension (anglicisme couramment utilisé signifiant « Total Suspended Particles ») ;
- PM10 : fraction des particules en suspension présentant un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm, soit susceptibles de pénétrer superficiellement les voies aériennes (*i.e.* les bronches) ;
- PM2,5 : fraction des particules en suspension présentant un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm, soit susceptible d'atteindre en profondeur les voies aériennes (*i.e.* les alvéoles pulmonaires).

Cette directive unique sur la qualité de l'air en fusionne quatre autres ainsi qu'une décision du Conseil pour fixer des normes et des objectifs concernant la réduction des concentrations de particules très fines (PM<sub>2,5</sub>). Celles-ci comptent parmi les polluants considérés comme les plus dangereux pour la santé humaine, au même titre que les particules plus grossières (PM<sub>10</sub>). Concernant ces dernières, déjà réglementées, les normes de qualité de l'air existantes ne se trouvent pas modifiées. De facto, la connaissance des émissions se décline selon cette granulométrie, particulièrement concernant les facteurs d'émission. Il y est notamment fait appel dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontière longue distance, de même que dans les inventaires d'émission nationaux couverts par le SNIEPA (Système National d'Inventaires des Emissions de Polluants Atmosphériques) au niveau français (CEE-NU, SECTEN), dont la méthodologie d'estimation est décrite dans le rapport OMINEA (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France) du CITEPA.

Les émissions des particules non énergétiques ne rentrent pas dans le champ de l'étude mais font toutefois l'objet d'une estimation au §5.4.

### **4.3 DESCRIPTION DE L'OUTIL DE SIMULATION DES EMISSIONS**

#### **4.3.1 Structure générale de l'outil**

L'outil est contenu dans le fichier Excel « GPM X - Emissions passage portuaire.xls ». Il permet de calculer les émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub> et de polluants d'un port maritime, par grandes filières de trafic (conteneurs, vracs secs, passagers...), par catégories de sources émettrices (sources fixes, sources mobiles) et par type d'activité portuaire (navires océaniques, services aux navires, manutention, ...).

Le modèle est structuré en trois volets.

### **1- Volet « global »**

Ce volet comporte trois onglets :

- ✓ « 1- Liste\_onglets » : descriptif succinct des onglets du fichier ;
- ✓ « 2- Récap\_global » : récapitulatif des émissions « maritimes » et « terrestres » du passage portuaire :
  - émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants par filière
  - ratios d'efficacité énergétique et environnementale par filière ;
- ✓ « 3- Trafic\_maritime » : données statistiques portuaires.

### **2- Volet « consommations et émissions maritimes du passage portuaire »**

Ce volet est structuré en quatre onglets :

- ✓ « 4- Graphs\_émissions-maritimes » ;
- ✓ « 5- Navire\_océanique » ;
- ✓ « 6- Services\_aux\_navires » ;
- ✓ « 7- Facteurs\_unitaires\_maritime ».

### **3- Volet « consommations et émissions terrestres du passage portuaire »**

Ce volet est structuré en sept onglets :

- ✓ « 8- Graphs\_émissions\_terrestres » :
  - émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants par filière
  - émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants par type d'activité
  - ratios d'efficacité énergétique et environnementale par filière ;
- ✓ « 9- Cumul\_émissions\_terrestres » : somme les émissions calculées dans les onglets 10 et 11 ;
- ✓ « 10- « Emissions\_terrestres\_VD » : constitue le cœur de l'analyse. Il permet de calculer filière par filière les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants ainsi que les ratios d'efficacité énergétique et environnementale pour les trafics n'ayant pas déjà été renseignés dans l'onglet 11. Le calcul est basé sur des ratios et valeurs par défaut spécifiques à chaque filière ;
- ✓ « 11- Emissions\_terrestres\_autres » : cet onglet constitue le cœur de l'analyse. Il permet de compiler et de structurer les données détaillées relatives à un terminal donné lorsque celles-ci sont disponibles. Il peut contenir autant de colonnes qu'il y a de terminaux dans le port ;
- ✓ « 12- Facteurs\_émissions » : ensemble des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Ces facteurs d'émissions sont détaillés en annexe ;
- ✓ « 13- Ratios\_Conso\_énergie » : ensemble des ratios de consommation énergétique. Ces ratios sont détaillés en annexe ;
- ✓ « 14- Valeurs\_par\_défaut » : ensemble des ratios à utiliser par défaut au cas où l'on ne dispose pas d'informations suffisamment détaillées pour une filière ou un terminal donné. Chaque fois qu'un opérateur ou une autorité portuaire ne dispose pas du détail suffisant, il est possible de s'appuyer sur ces valeurs par défaut, élaborées à partir de l'analyse et de la comparaison des sources d'information suivantes :
  - données fournies par plusieurs GPM

- données des constructeurs d'équipements
  - données bibliographiques
  - données obtenues à travers des entretiens avec les autorités portuaires et plusieurs opérateurs de terminaux.
- Ces valeurs par défaut sont détaillées en annexe.

#### 4.3.2 Structure détaillée de l'outil pour la partie maritime

Pour la partie maritime, le calcul des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants est scindé en 2 parties.

L'onglet 5 répertorie les émissions directement issues des navires océaniques. Celles-ci ont 3 sources d'origine :

- ✓ **Motorisation principale** : Prise en compte de 3 étapes : approche, manœuvre, départ. Pour chaque étape, des taux de charge sont calculés ou estimés pour obtenir les puissances nécessaires ;
- ✓ **Motorisation auxiliaire** : Prise en compte de 4 étapes : approche, manœuvre, quai, départ. Une estimation du taux de charge permet d'obtenir les puissances nécessaires ;
- ✓ **Chaudière** : Le remplissage moyen des soutes du navire permet d'obtenir une estimation de la puissance nécessaire. Ces chaudières permettent le réchauffage du combustible lourd (de 110 à 150°C) afin de rendre la viscosité compatible avec la centrifugation, la circulation et l'utilisation par les moteurs. Elles peuvent également dans une moindre mesure être utilisées pour le navire lui-même (turbopompes, chauffages, etc.) ou pour la cargaison.

#### Note

- Le modèle permet de diviser l'approche du port en deux étapes pour les ports d'estuaire
- La puissance nécessaire pour les navires disposant de propulseurs d'étrave peut également être calculée.

L'onglet 6 répertorie pour sa part les activités dites de « services maritimes liés à l'escale ». Il se compose des éléments suivants :

- ✓ **Le remorquage** : Son activité dépend de la taille du navire et de la durée de la manœuvre nécessaire ;
- ✓ **Le pilotage** : L'activité consiste à débarquer un pilote à bord du navire. Elle est réalisée soit à l'aide d'une pilotine, petit navire d'intervention (majorité des cas), soit à l'aide d'un hélicoptère (sur certains ports seulement pour les navires de taille importante) ;
- ✓ **Lamanage** : Utilisation de petites embarcations dédiées à l'aide à la manœuvre des amarres ;
- ✓ **Dragage** : Seule la donnée globale calculée sur l'activité réalisée en 2008 est indiquée. Cette source d'émission est considérée comme étant non affectable à une escale donnée. Il ne s'agit ici que du dragage d'entretien.

#### 4.3.3 Structure détaillée de l'outil pour la partie terrestre

Le calcul des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants est effectué par filière et par type d'activité. Le tableau se présente sous la forme de 8 zones horizontales (les activités) et de 7 zones verticales (les filières).

Les blocs « activités » sont les suivants :

- Données globales
- Calcul des émissions « Equipements fixes et mobiles de manutention sur quai et de transfert bord à quai »
- Calcul des émissions « Brouettage »
- Calcul des émissions « Scanners, reefers »
- Calcul des émissions « Véhicules légers »

- Calcul des émissions « Bâtiments + éclairage + écluses »
- Récapitulatif des émissions (directes et indirectes)
- Ratios d'efficacité énergétique et environnementale.

Les blocs « filières » sont les suivants :

- Conteneurs
- Vrac secs
- Vrac liquides
- Ro-Ro
- Auto carriers
- Marchandises diverses
- Non affectable.

La structure des onglets 10 et 11 ne diffère que dans les zones verticales qui sont :

- ✓ les filières pour l'onglet 10 (valeurs par défaut)
- ✓ les terminaux ayant répondu pour l'onglet 11 (valeurs observées).

**Le bloc « données globales »** comprend les informations suivantes, pour chaque filière (onglet 10) ou terminal (onglet 11) :

- Trafic : en EVP (filière conteneurs), tonnes (filières vracs et marchandises diverses), nombre de remorques (filière Ro-Ro) et nombre de véhicules (filière auto carriers) ;
- Répartition des pré et post-acheminements par mode ;
- Informations sur le brouettage : distance moyenne et part du brouettage par mode ;
- Informations spécifiques sur la filière conteneur : proportion de conteneurs scannés et reefers, durée moyenne de stockage d'un reefer sur parc ;
- Informations spécifiques sur la filière roulier : nombre de remorques manutentionnées par heure, proportion de remorques non accompagnées et distance moyenne parcourue par chaque véhicule (cas des auto carriers) ;
- Informations spécifiques aux véhicules légers : nombre de véhicules de service et de véhicules déplacement/travail et distance moyenne annuelle parcourue par ces véhicules ;
- Informations spécifiques aux écluses : puissance totale des moteurs, nombre cumulé de passages de navires / an dans l'écluse et temps de fonctionnement (ouverture + fermeture) par passage ;
- Informations spécifiques aux bâtiments : surface totale des bâtiments de bureaux, nature et répartition des types d'énergies utilisées pour le chauffage ;
- Surface totale éclairée (quais, aires de manutention...)

**Les blocs de « Calcul des émissions »** comprennent les lignes suivantes :

- Calcul des consommations d'énergie par type d'énergie : en tonnes (combustibles fossiles) ou kWh (électricité) et en tep ;
- Calcul des émissions de GES et polluants : CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> et TSP (PM<sub>10</sub> exclues)

**Les blocs récapitulatifs** (« Récapitulatif des émissions » et « Ratios d'efficacité énergétique et environnementale ») somment les différents résultats obtenus pour les 5 blocs de calcul des émissions.

L'ensemble des formules paramétrées est présenté en annexe 1.

#### 4.4 RECUEIL DES DONNEES

La fiabilité des résultats obtenus est fortement conditionnée par le degré de détail et d'exhaustivité des réponses reçues de la part des GPM. A cet égard, il convient de rappeler que la méthode employée (cf. paragraphe 4.2) pour pallier aux données manquantes a consisté à utiliser des valeurs par défaut chaque fois que nécessaire, ces valeurs par défaut étant basées sur les données issues de la littérature relatives à d'autres ports et opérateurs portuaires.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de terminaux ayant répondu par port et la part de trafic représentée par ces opérateurs (en vert > 50% du trafic de la filière, en jaune < 50% du trafic de la filière) :

- ✓ pour les émissions liées au coté « terrestre » du passage portuaire, on peut déplorer que la proportion des réponses reçues dans le total de l'activité des GPM soit faible ;
- ✓ pour les émissions liées au coté « maritime » du passage portuaire, la situation est satisfaisante puisque les 7 GPM ont fourni des données de trafic avec le degré de détail suffisant pour effectuer des calculs d'émissions précis.

Sachant, comme on le verra au chapitre suivant, que le coté « maritime » du passage portuaire représente en moyenne plus de 80% des émissions totales du passage portuaire selon le polluant concerné, on peut donc considérer que le faible taux de réponse des ports et des opérateurs portuaires pour les activités terrestres du passage portuaire (couvrant 16% des trafics des 7 GPM) ne remet pas en question la fiabilité globale des résultats obtenus.

GPM	Bord-eaux	Dunkerque	Le Havre	Marseille	Nantes	La Rochelle	Rouen
Filière	Nombre de gestionnaires de terminaux ayant répondu						
Conteneurs		1		2	1		2
Vracs secs	3	1		4	2	1	2
Vracs liquides	2	2		1			3
Rouliers				3			
Marchandises diverses				3			3
Autorité Portuaire							
Maritime (escales)							

# 5

## RESULTATS DE LA SIMULATION APPLIQUEE AUX 7 GPM

Les résultats ci-dessous concernent les consommations énergétiques et les émissions de GES et de polluants du passage portuaire pour l'ensemble des 7 GPM. Ils permettent d'apprécier les enjeux globaux du passage portuaire et les enjeux relatifs de ses différentes composantes.

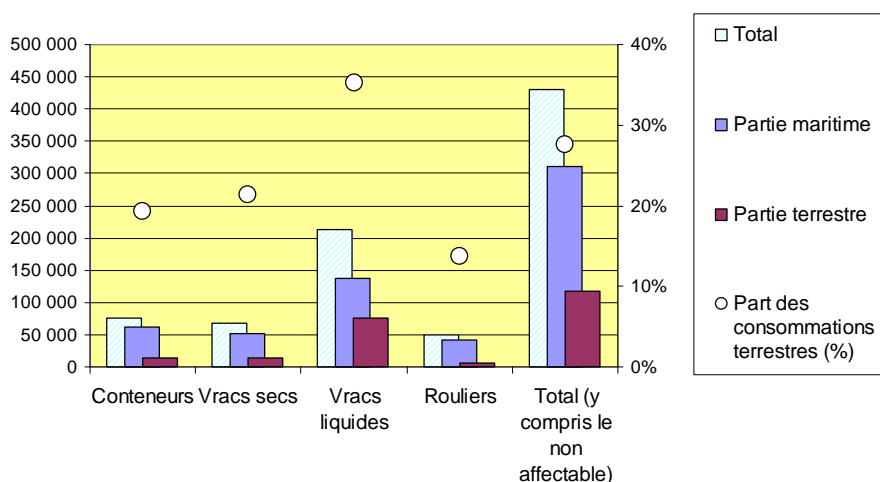
Le périmètre couvert par tous les graphiques de ce chapitre exclut les émissions de particules non énergétiques. Ce point particulier est traité au chapitre 5.4.

### 5.1 RESULTATS GLOBAUX

#### 5.1.1 Consommations globales

La consommation totale d'énergie des opérations de passage portuaire dans les 7 GPM français est estimée en 2009 à environ 430 000 tep. La partie maritime représente en moyenne plus de 70% de ce total. Cette part est toutefois contrastée selon les filières. Elle est particulièrement élevée pour les filières conteneurs, vracs secs et surtout rouliers. A l'inverse, pour la filière des vracs liquides, les consommations d'énergie de la partie maritime et de la partie terrestre sont du même ordre.

Consommations totales (tep) par filière, année 2009



Note : Les consommations en tep (« Total », « Partie maritime » et « Partie terrestre ») réfèrent à l'ordonnée de gauche, tandis que la « Part des consommations terrestres (%) » réfère à l'ordonnée de droite.

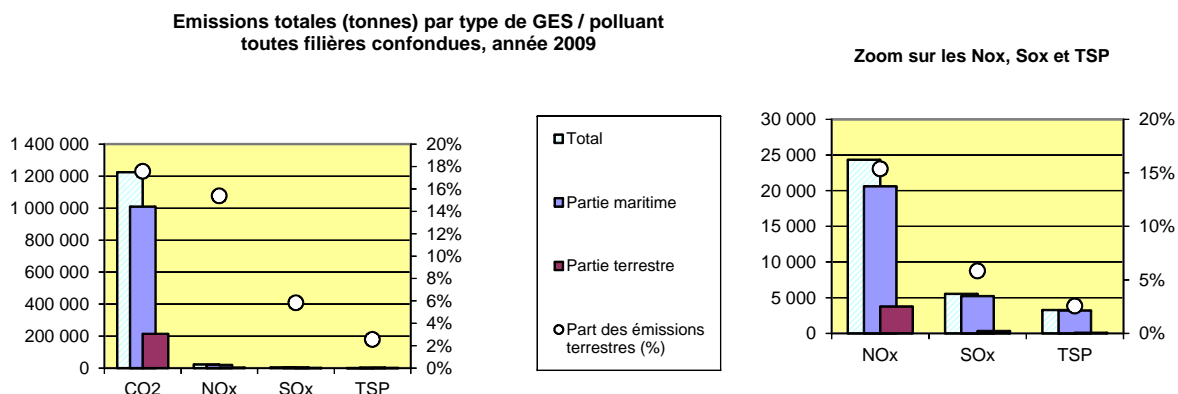
## 5.1.2 Emissions globales

Afin de fixer les idées, les ordres de grandeur des émissions pour les 7 GPM sont les suivants :

- ✓ CO<sub>2</sub> : ~1,2 million de tonnes / an
- ✓ NO<sub>x</sub> : ~24 000 tonnes / an
- ✓ SO<sub>x</sub> : ~6 000 tonnes / an
- ✓ Particules (TSP) : ~3 000 tonnes / an.

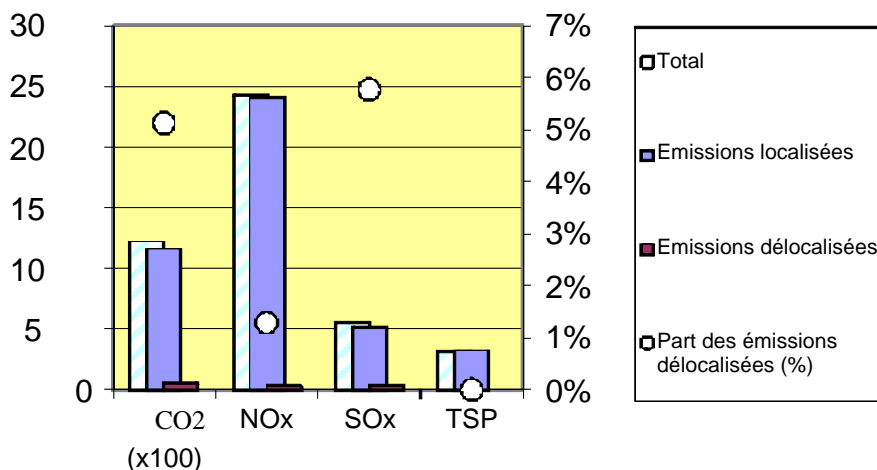
Le graphique de droite fait un « zoom » sur les émissions de NO<sub>x</sub>, de SO<sub>x</sub> et de particules.

Les émissions de la partie maritime représentent de 84% à 97% des émissions totales du passage portuaire selon le polluant concerné, et 82% pour le CO<sub>2</sub>.



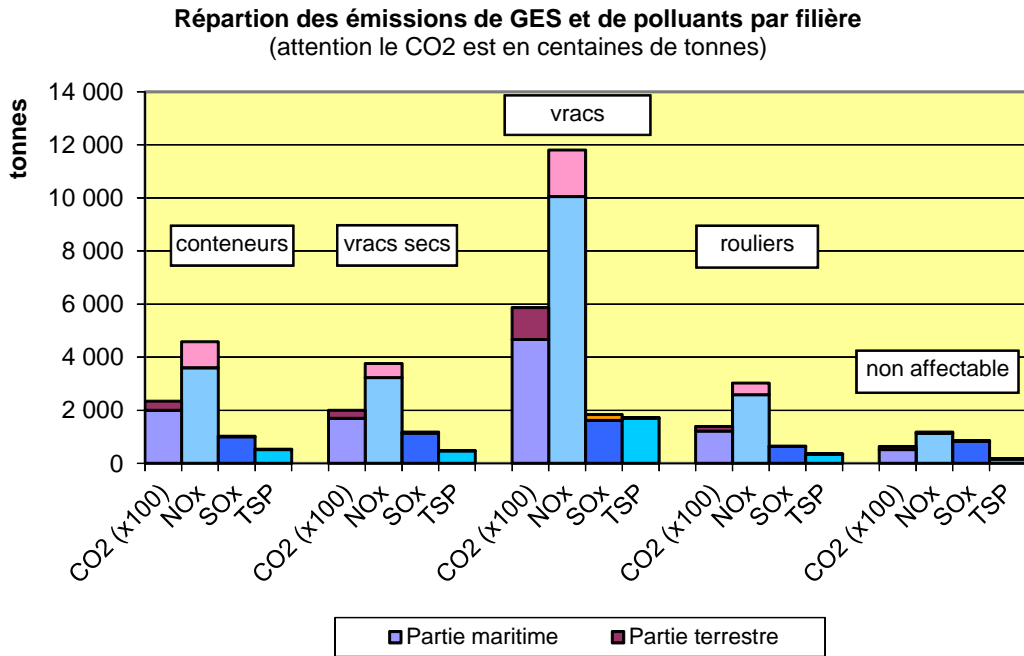
Une faible partie de ces émissions (0 à 6% selon le GES ou le polluant concerné) est délocalisée hors des limites géographiques des ports. Il s'agit des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées à la production d'électricité « réseau ».

**Emissions totales (tonnes) par type de GES /  
toutes filières confondues, année**  
(attention le CO<sub>2</sub> est en centaines de tonnes)



Note importante relative au graphique ci-dessus : pour des raisons de facilité de lecture, l'échelle est 100 fois plus petite pour le CO<sub>2</sub> que pour les polluants.

Le graphique ci-dessous récapitule les émissions de CO<sub>2</sub> et par type de polluant et par filière. En valeur absolue, la filière des vracs liquides représente les émissions les plus importantes.



Note importante : Pour des raisons de facilité de lecture, l'échelle est 100 fois plus petite pour le CO<sub>2</sub> que pour les polluants.

### 5.1.3 Ratios d'efficacité

Les consommations d'énergie et les émissions présentées ci-dessus (en valeur absolue) sont directement proportionnelles aux trafics des ports et ne permettent donc pas d'effectuer de comparaisons entre les filières. Par contre, des ratios d'efficacité (rapportés aux tonnages manutentionnés) permettent de rendre compte de l'efficacité environnementale de chaque filière.

Les filières des vrac secs et des vracs liquides affichent des ratios d'efficacité meilleurs que celles des conteneurs et des rouliers. La nature même des produits (vracs) et leurs modes de manutention permettent des économies d'échelle à la tonne de marchandise manutentionnée, que ne permettent pas les conteneurs ou les marchandises roulantes.

De même les navires vraquiers ont un ratio charge utile / poids total navire + marchandise supérieur à ceux des autres catégories de navires.

Filière conteneurs – 36,1 Mt				
Efficacité énergétique	Tep			
Consommations (tep)	76 562			
Ratio kep / tonne manutentionnée	2,12			
Efficacité environnementale	CO <sub>2</sub>	NOx	SOx	TSP
Emissions (tonnes)	234 761	4 585	1 024	535
Ratio kg émis / tonne manutentionnée	6,51	0,13	0,03	0,01

Filière vracs solides – 53,9 Mt				
Efficacité énergétique	tep			
Consommations (tep)	64 176			
Ratio kep / tonne manutentionnée	1,19			
Efficacité environnementale	CO <sub>2</sub>	NOx	SOx	TSP
Emissions (tonnes)	199 962	3 763	1 180	477
Ratio kg émis / tonne manutentionnée	3,71	0,07	0,02	0,01

Filière vracs liquides – 157,3 Mt				
Efficacité énergétique	tep			
Consommations (tep)	217 924			
Ratio kep / tonne manutentionnée	1,39			
Efficacité environnementale	CO <sub>2</sub>	NOx	SOx	TSP
Emissions (tonnes)	586 627	11 805	1 839	1 729
Ratio kg émis / tonne manutentionnée	3,73	0,08	0,01	0,01

Filière roulier – 26,1 Mt				
Efficacité énergétique	tep			
Consommations (tep)	49 314			
Ratio kep / tonne manutentionnée	1,89			
Efficacité environnementale	CO <sub>2</sub>	NOx	SOx	TSP
Emissions (tonnes)	139 671	3 020	641	361
Ratio kg émis / tonne manutentionnée	5,35	0,12	0,02	0,01

#### 5.1.4 Détail des émissions de particules d'origine énergétique

97,7% des émissions de particules du passage portuaire correspondent au volet maritime du passage portuaire. Ceci s'explique logiquement par le fait que la consommation d'énergie fossile est très majoritairement concentrée sur les navires, particulièrement dans leurs phases d'approche et à quai. Ce ratio est quasiment identique pour les TSP, les PM10 et les PM2,5.

##### Total des émissions de particules d'origine énergétique

	Emissions directes (tonnes)	Emissions indirectes (tonnes)	Total (tonnes)
TSP	2 970	296	3 265
PM10	2 824	281	3 104
PM2,5	2 660	266	2 925

% PM10	95,1%	95,0%	95,1%
% PM2,5	89,6%	89,8%	89,6%

### Partie maritime

	Emissions directes (tonnes)	Emissions indirectes (tonnes)	Total (tonnes)
TSP	2 895	293	3 189
PM10	2 751	279	3 029
PM2,5	2 589	264	2 853

% PM10	95,0%	95,0%	95,0%
% PM2,5	89,4%	89,9%	89,5%

### Partie terrestre

	Emissions directes (tonnes)	Emissions indirectes (tonnes)	Total (tonnes)
TSP	74,2	2,1	76,3
PM10	73,2	2,0	75,2
PM2,5	70,6	1,6	72,2

% PM10	98,7%	93,5%	98,5%
% PM2,5	95,2%	75,5%	94,7%

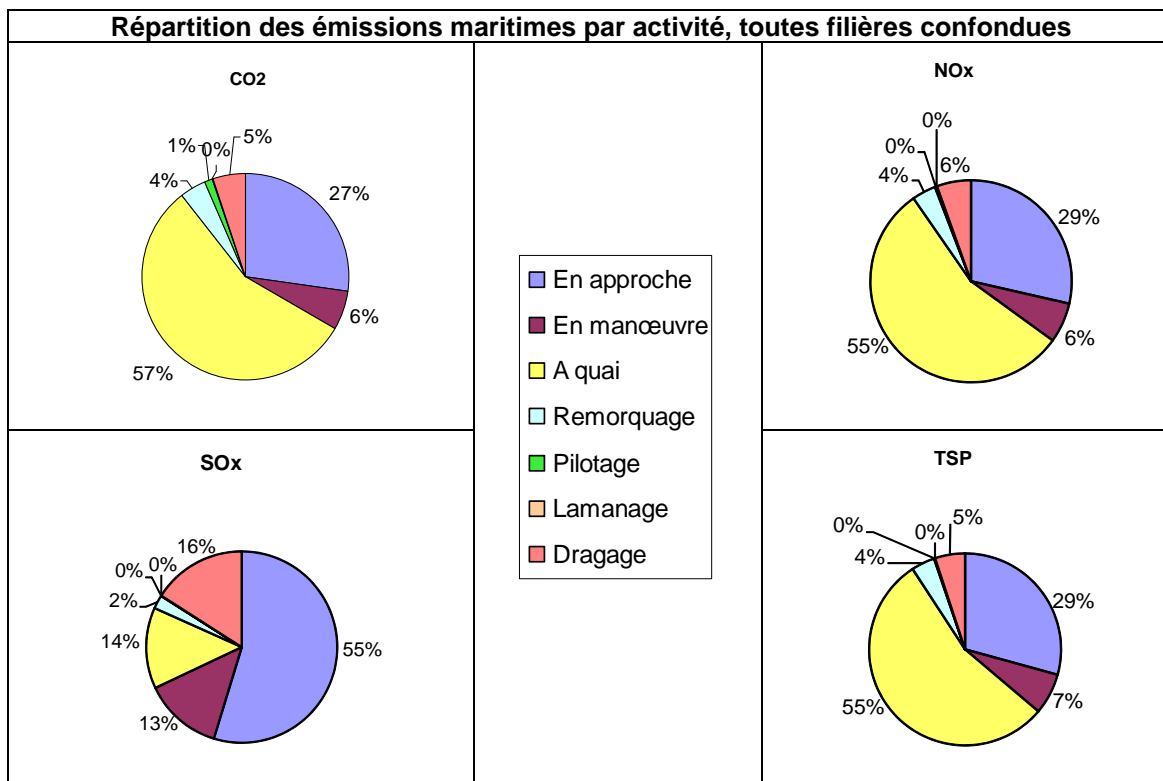
## 5.2 RESULTATS DETAILLES DE LA PARTIE MARITIME

### 5.2.1 Emissions de CO<sub>2</sub> et de polluants, par type d'activité

Les émissions des navires océaniques représentent plus de 80% du total des émissions de la partie maritime. Les navires en manœuvre et à quai représentent dans ce total 27% (SOx) à ~60% (CO<sub>2</sub> et polluants). Cette proportion est à l'image de la dimension temporelle des différentes activités du passage portuaire. Durant une escale, le temps passé à quai excède en général la durée des autres activités. La part des émissions de SOx à quai est particulièrement faible car la teneur en soufre du combustible utilisé est de 0,1%, contrairement aux autres phases où cette teneur atteint entre 1% (ports de la zone SECA) et 2,7% (valeur moyenne européenne).

L'activité de remorquage apparaît comme marginale en termes d'émissions. Ceci s'explique par le fait que les durées d'intervention de ces navires sont réduites à une fraction de temps courte à l'échelle de chaque escale.

Le pilotage, et plus encore le lamanage, représentent une très faible part des émissions. Ces activités combinent en effet une motorisation relativement limitée (à l'exception du recours à l'hélicoptère dans le cas du pilotage) et des interventions de courte durée.



**Emissions maritimes toutes filières confondues**

	Tonnes
CO <sub>2</sub>	1 009 631
NO <sub>x</sub>	19 471
SO <sub>x</sub>	5 222
TSP	3 189

**5.2.2 Emissions par filière**

**Récapitulatif des consommations et émissions maritimes par filière**

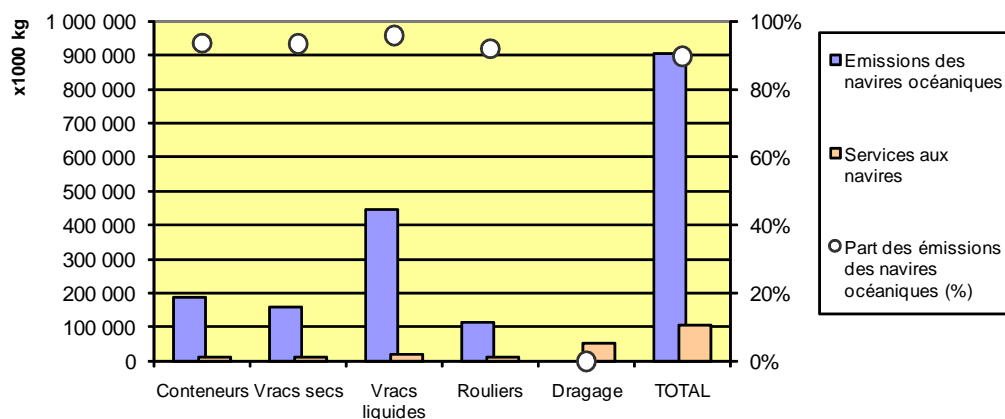
	Conteneurs (tonnes)	Vracs secs (tonnes)	Vracs liquides (tonnes)	Roulier (tonnes)	Total (y compris le non affectable)
tep	61 811	49 903	142 622	42 646	<b>312 971</b>
CO <sub>2</sub>	199 445	169 908	467 026	121 991	<b>1 009 631</b>
NO <sub>x</sub>	3 603	3 229	10 053	2 585	<b>19 471</b>
SO <sub>x</sub>	998	1 138	1 621	633	<b>5 222</b>
TSP	515	466	1 694	352	<b>3 189</b>

Les émissions du passage portuaire maritime reflètent l'importance relative du trafic de chaque filière. Dans le cas de la filière des vracs liquides, elles sont amplifiées par l'utilisation de moyens de pompage à bord des navires lors des opérations de déchargement (l'énergie consommée par ces pompes est alors comptée dans la partie maritime du passage portuaire). Cette filière est la seule à avoir de recours de manière systématique à un outil de manutention situé à bord du navire. L'utilisation de ces pompes requiert une production d'énergie à bord. De fait, le taux de charge de la motorisation auxiliaire des navires dédiés au transport de vrac liquide est 3 à 4 fois supérieur à celui des autres types de navires.

Notons que de nombreux navires sont gréés (notamment des portes conteneurs jusqu'à 3 000 EVP) mais cette flotte n'a généralement pas recours à ses moyens propres de manutention

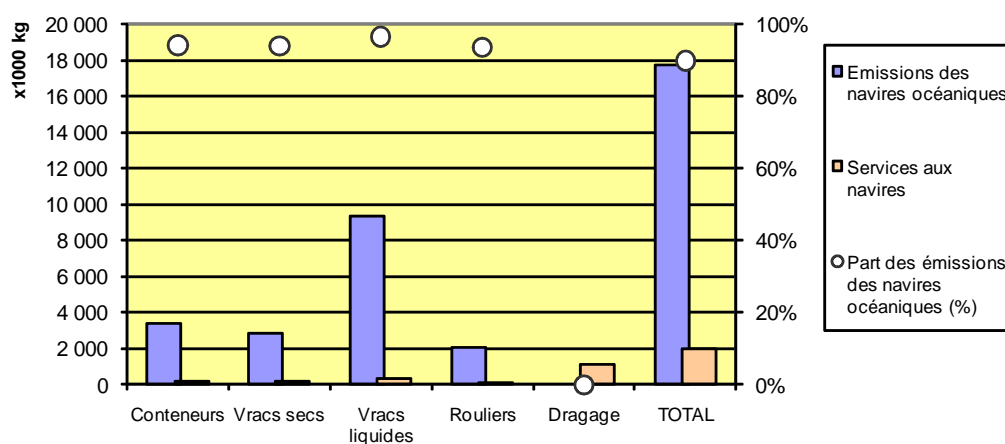
dans les ports français. Le recours aux outillages portuaires est quasi-systématique dans les Grands Ports Maritimes.

**Emissions de CO2, par filière**



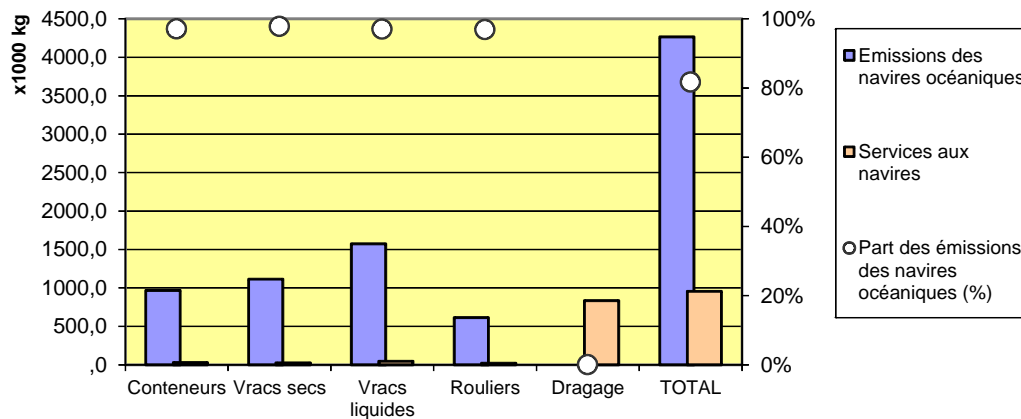
	Conteneurs	Vracs secs	Vracs liquides	Rouliers
kg CO <sub>2</sub> émis / ktonne manutentionnée	5 529	3 150	2 969	4 670

**Emissions de NOx, par filière**



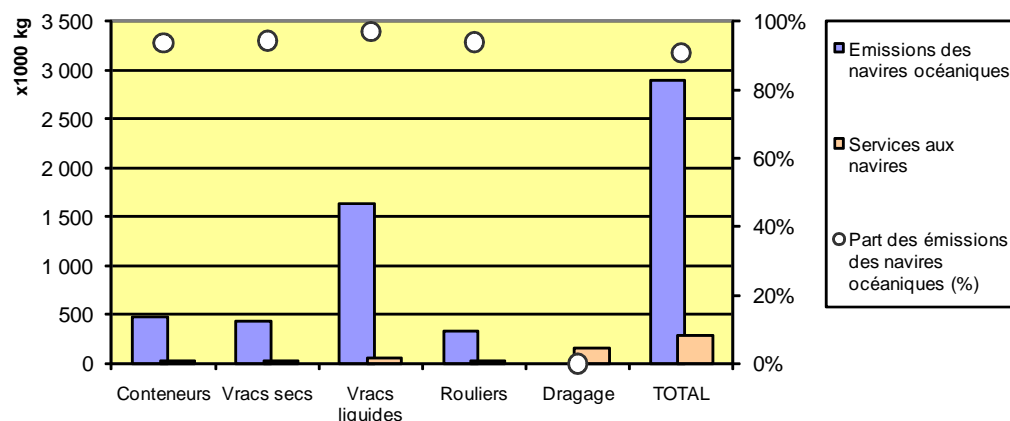
	Conteneurs	Vracs secs	Vracs liquides	Rouliers
kg NOx émis / ktonne manutentionnée	100	60	64	99

### Emissions de SOx, par filière



	Conteneurs	Vrac secs	Vrac liquides	Rouliers
kg SOx émis / ktonne manutentionnée	28	21	10	24

### Emissions de TSP, par filière



	Conteneurs	Vrac secs	Vrac liquides	Rouliers
kg TSP émis / ktonne manutentionnée	14	8	11	13

## 5.3 RESULTATS DETAILLES DE LA PARTIE TERRESTRE

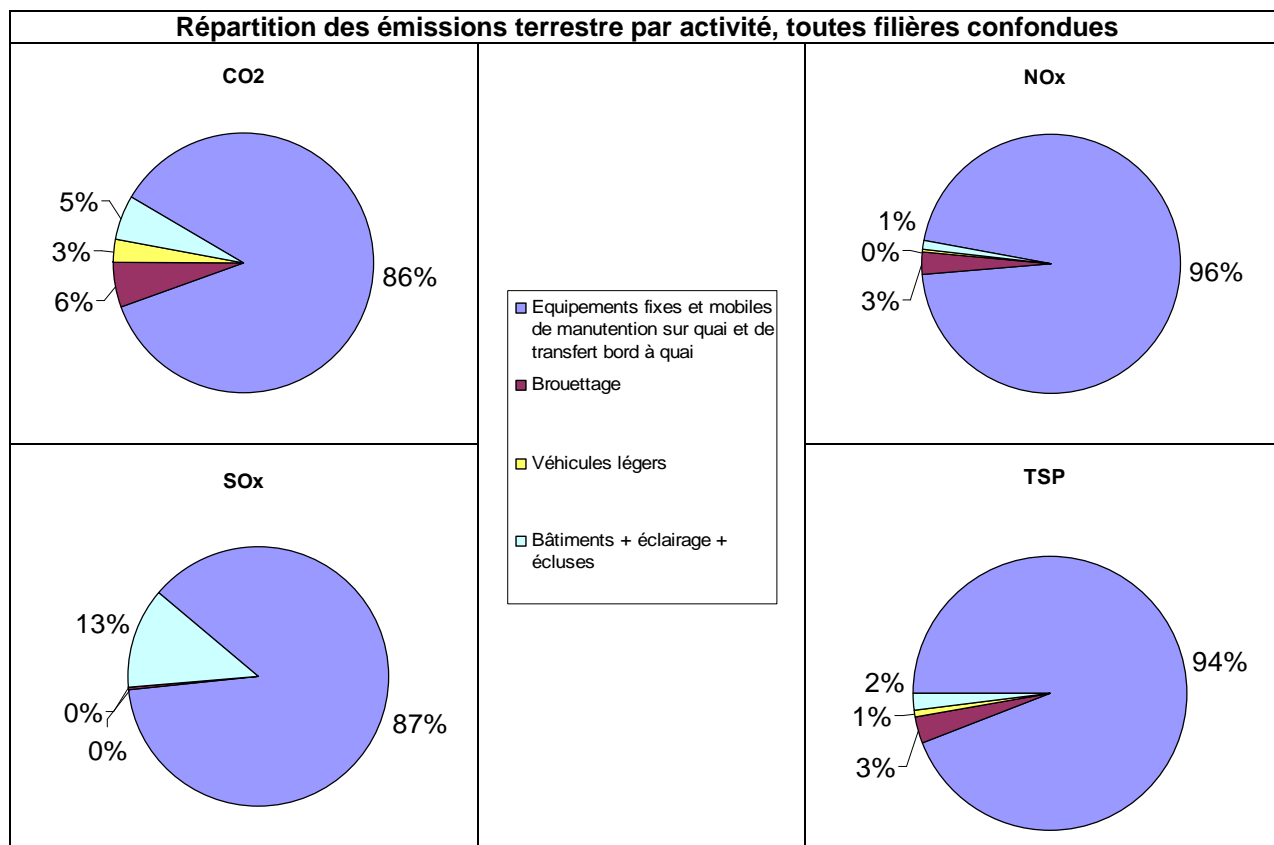
### 5.3.1 Emissions par type d'activité

Les émissions liées aux opérations de transbordement et manutention sur quai sont prépondérantes. Elles représentent de 86 à 96% du total des émissions terrestres du passage portuaire. Ceci s'explique principalement par deux facteurs :

- Les tonnages manutentionnés sont importants et demandent donc une énergie conséquente (et donc des émissions liées importantes) pour les traiter ;
- La manutention horizontale est principalement effectuée à l'aide d'engins fonctionnant avec des combustibles fossiles, dont les facteurs d'émission sont plus élevés que pour les engins électriques.

Les émissions directes (manutention et brouettage) représentent de 87 à 99% des émissions terrestres du passage portuaire (pour le CO<sub>2</sub> et suivant le polluant considéré).

Pour les SO<sub>x</sub>, les émissions sont presque totalement délocalisées (production d'électricité) car les combustibles fossiles utilisés par les équipements de manutention portuaire sont quasiment exempts de soufre.



**Emissions terrestres toutes filières confondues**

	Emissions directes (tonnes)	Emissions indirectes (tonnes)
CO <sub>2</sub>	197 212	17 827
NO <sub>x</sub>	3 684	57
SO <sub>x</sub>	283	41
TSP	74	2

**5.3.2 Détail des émissions par filière**

**Récapitulatif des consommations et émissions terrestres par filière**

	Conteneurs (tonnes)	Vracs secs (tonnes)	Vracs liquides (tonnes)	Roulier (tonnes)	Total (y compris le non affectable)
tep	14 751	14 273	75 302	6 668	<b>118 241</b>
CO <sub>2</sub>	35 316	30 053	119 601	17 680	<b>215 039</b>
NO <sub>x</sub>	981	533	1 751	435	<b>3 741</b>
SO <sub>x</sub>	26	42	218	8	<b>323</b>
TSP	20	11	35	9	<b>76</b>

La filière des vracs liquides présente les émissions les plus importantes en valeur absolue, quel que soit le GES ou polluant considéré (même si une partie de ces émissions est délocalisée – cf. §5.3.3). Ces émissions proviennent principalement de 3 types d'opérations :

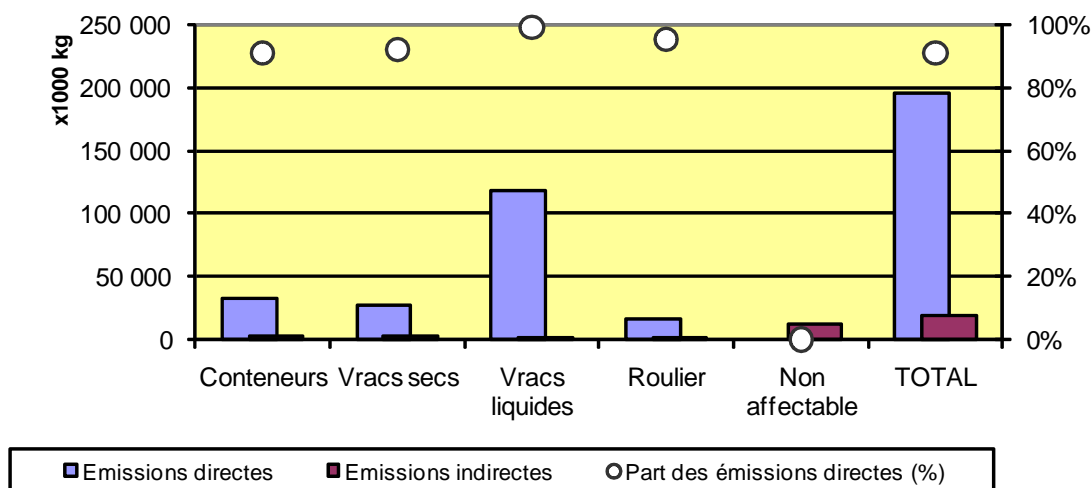
- Les transferts de liquides entre navires (ou bacs de stockage intermédiaires) et équipements de pré et post-acheminement (PL, trains et barges) ;
- Le pompage de refoulement depuis les quais vers les navires (17,2% des tonnages totaux de vracs liquides et 8,7% des tonnages totaux toutes filières confondues) ;
- Le réchauffage des bacs de stockage pour les hydrocarbures (40,7% des tonnages totaux de vracs liquides et 20,6% des tonnages totaux toutes filières confondues)

Les émissions de la filière conteneurs sont supérieures à celle de la filière vracs secs, malgré des tonnages traités moins importants (16,2% contre 21,0% des tonnages totaux), du fait des spécificités logistiques suivantes :

- La manutention des conteneurs impose des ruptures de charge plus nombreuses que la manutention des vracs (qui se fait en continu) ;
- La filière conteneurs utilise beaucoup de moyens de manutention à combustibles fossiles (principalement pour la manutention horizontale) avec des facteurs d'émission proportionnellement plus élevés que pour l'électricité. Cela se retrouve dans les résultats des émissions de SOx, qui sont très nettement inférieurs à ceux de la filière des vracs secs (les engins thermiques utilisent des carburants exempts de soufre).

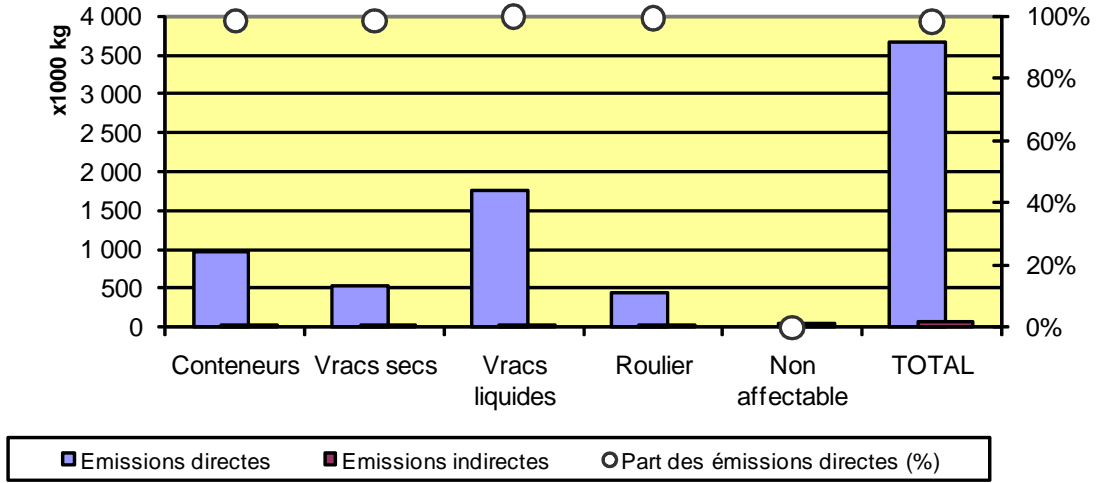
Les émissions indirectes (véhicules légers de service et bâtiments) sont faibles. Elles représentent moins de 10% du total des émissions terrestres (toutes filières confondues). Dans le cas des émissions de SOx, qui sont liées à la production délocalisée d'électricité, ces émissions indirectes peuvent toutefois devenir importantes (dans le cas des filières conteneurs et rouliers, une part significative des émissions directes est liée à des engins thermiques fonctionnant avec un carburant exempt de soufre).

### Emissions de CO<sub>2</sub>, par filière



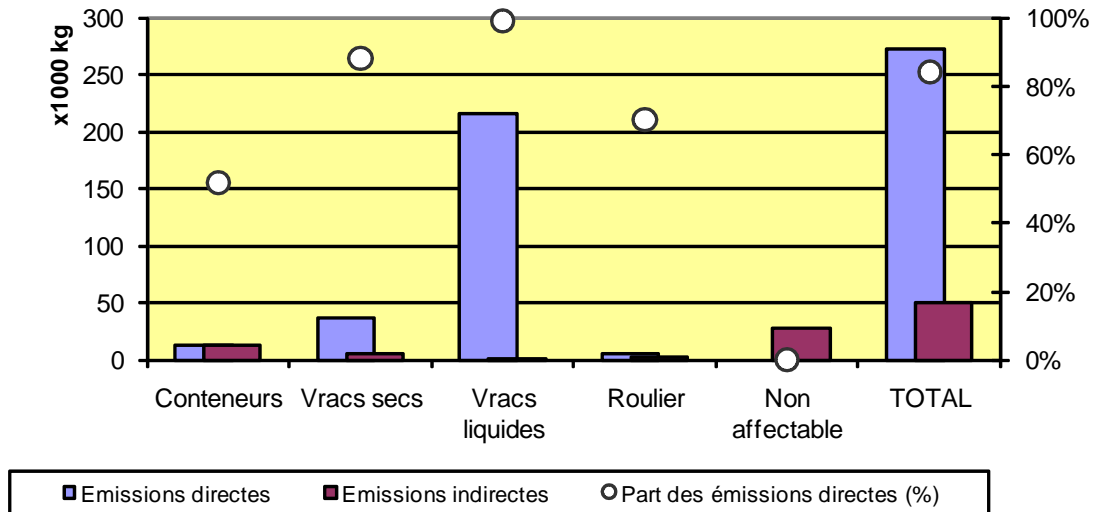
	Conteneurs	Vracs secs	Vracs liquides	Roulier	Total
kg CO <sub>2</sub> émis / ktonne manutentionnée	979	557	760	677	786

### Emissions de NOx, par filière



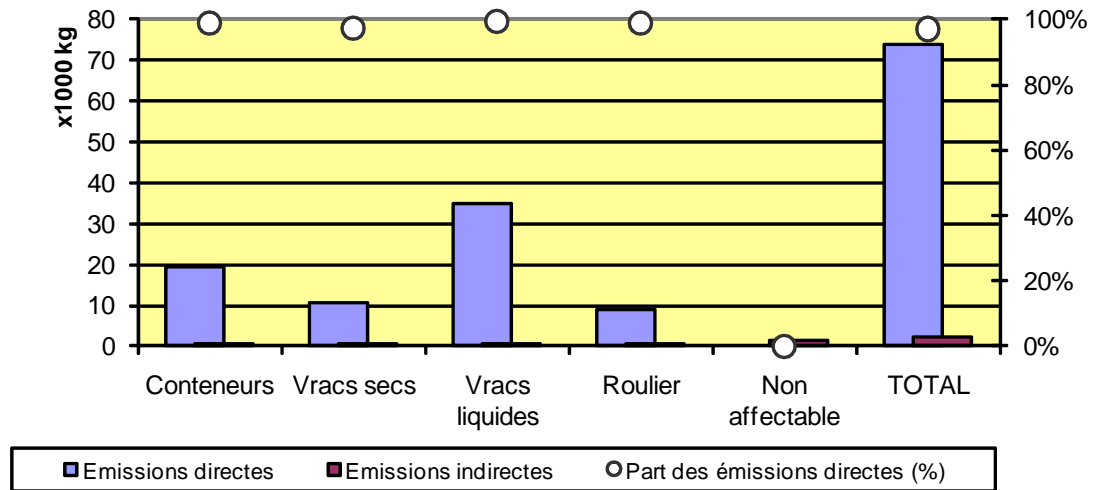
	Conteneurs	Vrac secs	Vrac liquides	Roulrier	Total
kg NOx émis / ktonne manutentionnée	27,2	9,9	11,1	16,7	13,7

### Emissions de SOx, par filière



	Conteneurs	Vrac secs	Vrac liquides	Roulrier	Total
kg SOx émis / ktonne manutentionnée	0,7	0,8	1,4	0,3	1,2

### Emissions de TSP, par filière



	Conteneurs	Vrac secs	Vrac liquides	Roulrier	Total
kg TSP émis / ktonne manutentionnée	0,6	0,2	0,2	0,3	0,3

### 5.3.3 Proportion des émissions délocalisées et des émissions indirectes dans les émissions du côté « terrestre » du passage portuaire

#### Les émissions délocalisées

52,1% de la consommation énergétique du côté « terrestre » du passage portuaire correspond à de l'énergie électrique. Cette consommation correspond principalement aux équipements de manutention verticale (pour les transferts bord à quai). Cela se traduit par des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants délocalisées au niveau des unités de production d'électricité.

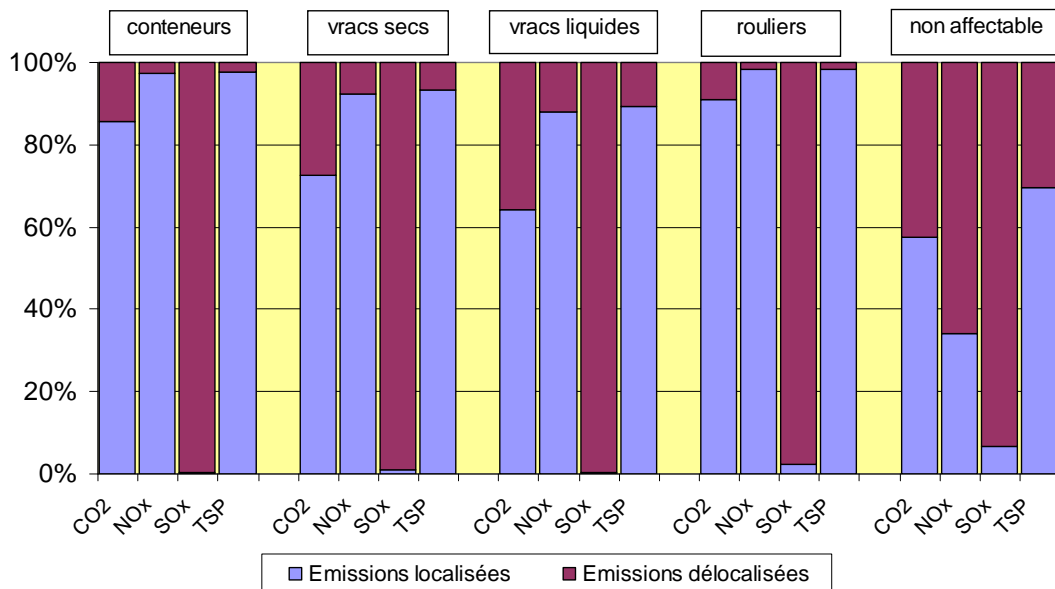
Part des émissions délocalisées de polluants et de CO<sub>2</sub> dans le total des émissions du passage portuaire terrestre

CO <sub>2</sub>	NOx	SOx	TSP
29,2%	8,4%	98,9%	7,2%

La quasi-totalité des émissions de SOx est due à la combustion du fioul lourd dans les centrales thermiques. De leur côté, les véhicules et engins fonctionnant à l'essence et au gazole dans le périmètre des ports n'émettent pratiquement plus de SOx.

Pour les autres polluants (NOx, TSP) et pour le CO<sub>2</sub>, les répartitions sont variables selon les filières. On observe que la part des émissions délocalisées est nettement minoritaire pour toutes les filières. A contrario, cette part est élevée dans le cas des émissions non affectables, du fait de la part importante de l'électricité liée à l'éclairage des routes et des bâtiments, au chauffage de certains bâtiments, aux écluses, ...

### Répartition des émissions localisées / délocalisées de GES et de polluants par filière



### Sensibilité des émissions de polluants et de CO<sub>2</sub> au facteur d'émission de l'électricité

Le consensus actuel dégage un facteur d'émission de l'électricité de 91 g CO<sub>2</sub>/kWh (en prenant en compte les pertes en ligne). Il convient de souligner que ce facteur reflète la structure de la production électrique française et non la structure de consommation, cette dernière pouvant faire appel, selon les pics de consommation, à de l'énergie électrique produite à l'étranger (donc avec des moyens de production différents). Dans cas de pics de consommation, si l'on considère un facteur d'émission de 300 g de CO<sub>2</sub>/kWh (valeur minimale estimée pour l'électricité consommée), le total des émissions de CO<sub>2</sub> du passage portuaire augmente alors de 67%. La sensibilité des émissions au facteur d'émission de l'électricité peut donc être très importante. Néanmoins il faut garder à l'esprit que les méthodologies officielles ne retiennent dans l'établissement du facteur d'émission électrique que l'électricité produite.

Note : Les facteurs d'émissions pris en compte dans le cadre de cette étude pour les combustibles fossiles utilisés ne prennent pas en compte la phase de production de l'énergie.

### Les émissions indirectes

Les émissions indirectes sont principalement liées aux bâtiments, à l'éclairage des routes et aux écluses (ces trois postes représentent de 55 à 100% des émissions indirectes selon le GES ou le polluant considéré).

#### Répartition des émissions indirectes par activité

	CO <sub>2</sub>	NOX	SOx	TSP
Véhicules de service et D/T	33,6%	24,7%	0,1%	33,2%
Bâtiments + éclairage des routes + écluses	66,4%	75,3%	99,9%	66,8%

Pour mémoire, les émissions liées au fonctionnement des écluses représentent de l'ordre de 10% des émissions « bâtiments + éclairage des routes + écluses ».

## 5.4 PARTICULES NON ENERGETIQUES

### 5.4.1 Méthodologie

L'estimation des émissions de particules non énergétiques est basée sur les quatre volets suivants :

- envois lors de la manutention de vracs pulvérulents ;
- resuspensions issues de la circulation sur zones de manutention bitumées ou non bitumées ;
- usure des équipements et érosion des voies de circulation.

Comme pour les particules issues d'activités énergétiques, une ségrégation par classes granulométriques<sup>3</sup> est proposée pour chaque source d'émission identifiée de sorte à pouvoir distinguer les particules les plus grossières des plus fines : TSP : quantité totale de particules en suspension (tous diamètres aérodynamiques confondus), PM10 : fraction des particules en suspension présentant un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm, soit susceptibles de pénétrer superficiellement les voies aériennes (i.e. les bronches) et PM2,5 : fraction des particules en suspension présentant un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm, soit susceptibles d'atteindre en profondeur les voies aériennes, i.e. les alvéoles pulmonaires.

Les étapes de calcul nécessaires à l'estimation des émissions sont les suivantes :

- saisie des données sources : qualité et tonnages de vracs pulvérulents sur la zone portuaire, trafic des véhicules et engins sur zones de manutention, bitumage ou non des voies de circulation ;
- mise en oeuvre de modules de calcul destinés à produire des facteurs d'émission par classes granulométriques de particules pondérant les émissions issues des étapes de manutention de chaque type de vracs (transfert vers le site de stockage, érosion éolienne, trafics sur zone, expédition / rechargement sur navire) ou de circulation de véhicules et d'engins sur zone bitumée ou non ;
- détermination des émissions de particules par application des facteurs d'émission calculés aux données de manutention de vracs pulvérulents ou de trafics de véhicules et d'engins.

### 5.4.2 Applications numériques

(1) Envois lors de la manutention de vracs pulvérulents :

- périmètre : chargement, déchargement, transport et stockage de marchandises ;
- paramètres de calcul : vitesse moyenne du vent, tonnage et humidité des vracs, seuil de diamètre aérodynamique des particules ;
- applications numériques :
  - ✓ estimation des émissions de TSP pour la manutention de 300 000 tonnes de luzerne dans un GPM de l'ouest de la France : 9 t ;
  - ✓ estimation des émissions de TSP pour la manutention de 200 000 tonnes de charbon dans un GPM du sud de la France : 275 kg.

(2) Resuspensions issues de la circulation sur zone de manutention bitumée :

- périmètre : zone de manutention bitumée partiellement recouverte de vracs ;
- paramètres de calcul : densité de la couverture par les vracs, trafic et poids moyen des véhicules circulant sur zone, seuil de diamètre aérodynamique des particules, facteur d'émissions primaires ;
- application numérique :

---

<sup>3</sup> Les PM1, usuellement décrites, ne font pas ici l'objet de discrimination particulière en raison d'incertitudes trop élevées, l'état des connaissances sur le sujet étant encore lacunaire.

- ✓ estimation des émissions de TSP pour un trafic annuel de camions de 15t de 50 000 veh.km et 50g/m<sup>2</sup> d'encombrement, jours de pluie déduits, dans un GPM de l'ouest de la France : 138 t.

(3) Resuspensions issues de la circulation sur zone de manutention non bitumée :

- périmètre : zone de manutention non bitumée partiellement recouverte de vracs ;
- paramètres de calcul : part des particules fines dans les vracs éparpillés, trafic et poids moyen des véhicules circulant sur zone, seuil de diamètre aérodynamique des particules ;
- application numérique :
  - ✓ estimation des émissions de TSP pour un trafic annuel d'engins de 10t de 20 000 veh.km sur des minerais éparpillés, jours de pluie déduits, dans un GPM de l'ouest de la France : 52 t.

(4) Usure des équipements et érosion des voies de circulation :

- périmètre : voies de circulation, freins, embrayages, pneumatiques, roues et rails ;
- paramètres de calcul : catégories de véhicules (particuliers, utilitaires légers, camions, autobus, trains) et trafic sur zone, facteurs d'émission associés au seuil de diamètre aérodynamique des particules ;
- application numérique :
  - ✓ estimation des émissions de TSP issues de l'usure des pneumatiques pour un trafic de camions de 32t de 100 000 veh.km/an, (indépendamment du port) : 47 kg.

En comparant les émissions de particules non énergétiques (données réelles fournies par deux GPM recoupées avec des exemples fictifs) avec les émissions énergétiques de TSP correspondantes, les enseignements suivants se dessinent :

- les envois inhérents à la manutention de vracs pulvérulents pèsent ~10% du total des émissions de particules énergétiques ;
- les resuspensions de particules issues d'un trafic de camions de 32t équivalent à 50 000 veh.km sur une zone bitumée parsemée de vracs à raison de 100g/m<sup>2</sup> pèsent ~15% du total des émissions de particules énergétiques ;
- les resuspensions de particules issues d'un trafic d'engins de 10t équivalent à 50 000 veh.km sur une zone non bitumée recouverte d'un mélange de minerais pèsent ~5% du total des émissions de particules énergétiques ;
- les particules inhérentes à l'érosion des pneumatiques d'un trafic de camions de 32t équivalent à 100 000 veh.km pèsent ~0,0015% du total des émissions de particules énergétiques.

Au final, l'ordre de grandeur estimé pour les émissions de particules non énergétiques représente une quantité non négligeable en comparaison des émissions des particules énergétiques.



## ENJEUX RELATIFS DES EMISSIONS DU PASSAGE PORTUAIRE DANS L'ENSEMBLE DE LA CHAÎNE DE TRANSPORT

L'objet de ce chapitre est d'apporter des éléments de réponse à la question suivante :

Les émissions liées aux passages portuaires d'une chaîne de transport représentent-elles une proportion significative (ou au contraire négligeable) des émissions totales de cette chaîne de transport ?

### 6.1 DESCRIPTION DES CHAINES DE TRANSPORT UTILISEES COMME EXEMPLES

Cette analyse s'appuie sur deux exemples théoriques de chaînes de transport international, l'une relative aux conteneurs, l'autre aux vracs secs.

Les paramètres pris en compte pour ces deux simulations sont détaillés dans le tableau ci-dessous. La chaîne de transport est caractérisée par un maillon maritime de 4 000 km et par des pré et post-acheminements routiers égaux respectivement à 200 et 300 km,

maillon logistique	Pré acheminement routier	Post- acheminement routier	Maillon maritime porte- conteneurs	Maillon maritime vraquier
localisation	Usine --> Dakar (Sénégal)	Port FR atlantique --> région Centre	Dakar --> port FR atlantique	Dakar --> port FR atlantique
distance (km)	200	300	4 000	4 000
conso PL (l/100km)	32			
nombre d' EVP	2		PC 2200 EVP	Handymax
FE diesel (kg CO <sub>2</sub> /l)	2,645			
FE diesel (g NO <sub>x</sub> /l)	23			
FE diesel (g SO <sub>x</sub> /l)	0,08			
FE gCO <sub>2</sub> /t.km			16,1	4,9
FE gNO <sub>x</sub> /t.km			0,3	0,09
FE gSO <sub>x</sub> /t.km			0,04	0,07
efficacité gep/t.km			5,2	1,5

### 6.2 RESULTATS DES SIMULATIONS

Pour les deux exemples théoriques choisis et selon les hypothèses retenues pour la simulation, la part des émissions de CO<sub>2</sub> et autres polluants liées au passage portuaire varie, selon les polluants, entre 11 et 23% des émissions d'une chaîne de transport type.

Les deux tableaux ci-après résument ces répartitions entre les différents maillons.

#### Filière conteneurs

	Passage portuaire	Maillons routiers	Maillon maritime
CO <sub>2</sub>	11,5%	19,0%	69,5%
NO <sub>x</sub>	13,5%	9,7%	77,0%
SO <sub>x</sub>	22,4%	0,3%	77,3%

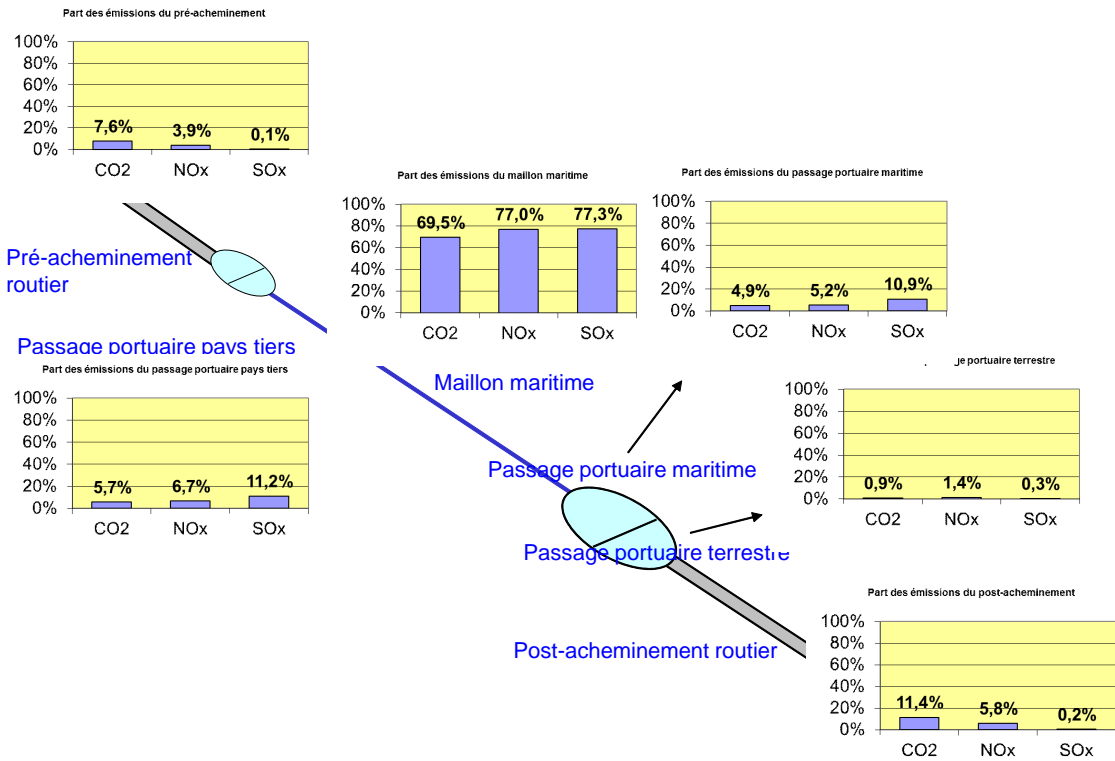
### Filière vracs secs

	Passage portuaire	Maillons routiers	Maillon maritime
CO <sub>2</sub>	13,3%	51,8%	34,9%
NOx	18,6%	33,2%	48,2%
SOx	12,9%	4,2%	82,9%

#### 6.2.1 Filière « Conteneurs »

Dans cet exemple basé sur un porte-conteneurs 2200 EVP, les émissions du passage portuaire (cumul des émissions relatives aux 2 ports) représentent les proportions suivantes des émissions totales de la chaîne de transport :

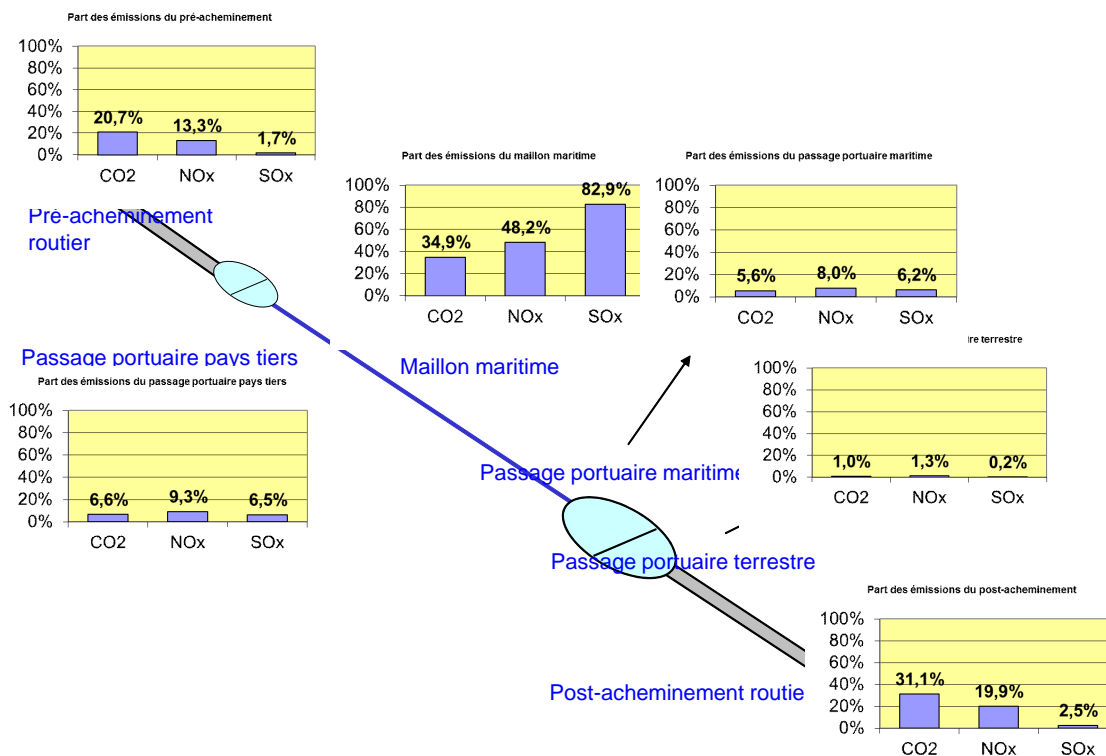
- ✓ CO<sub>2</sub> : 11,5%, dont 1,8% pour la partie terrestre du passage portuaire
- ✓ NOx : 13,5%, dont 2,8% pour la partie terrestre du passage portuaire
- ✓ SOx : 22,4%, dont 0,6% pour la partie terrestre du passage portuaire



## 6.2.2 Filière « Vrac secs »

Dans cet exemple basé sur un navire vraquier Handymax, les émissions du passage portuaire représentent les proportions suivantes des émissions totales de la chaîne de transport :

- ✓ CO<sub>2</sub> : 13,3%, dont 2,0% pour la partie terrestre du passage portuaire ;
- ✓ NOx : 18,6%, dont 2,6% pour la partie terrestre du passage portuaire ;
- ✓ SOx : 12,9%, dont 0,4% pour la partie terrestre du passage portuaire.



## 6.3 SENSIBILITE DES CALCULS D'EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ET DE POLLUANTS A LA DISTANCE DU MAILLON MARITIME

Ce test de sensibilité à la distance du maillon maritime est effectué « toutes choses égales par ailleurs », sachant que dans la réalité, des navires de tailles différentes sont généralement utilisés selon la longueur du maillon maritime. Pour un maillon maritime très long (8000 km) correspondant par exemple à une chaîne de transport entre l'Europe et l'Extrême-Orient, la part des deux passages portuaires (port de départ et port d'arrivée) dans les émissions totales de CO<sub>2</sub> induites par la chaîne de transport atteint 9,8% **dans le cas d'un vraquier Handymax**. A contrario, pour un maillon maritime très court (100 km) cette part s'élève à 20,0% pour le même navire.

Pour les SOx, avec le même type de navire, la part des émissions du passage portuaire se situe dans une fourchette comprise entre 3,5% (pour un maillon maritime de 8000 km) et 33,8% (pour un maillon maritime de 100 km).

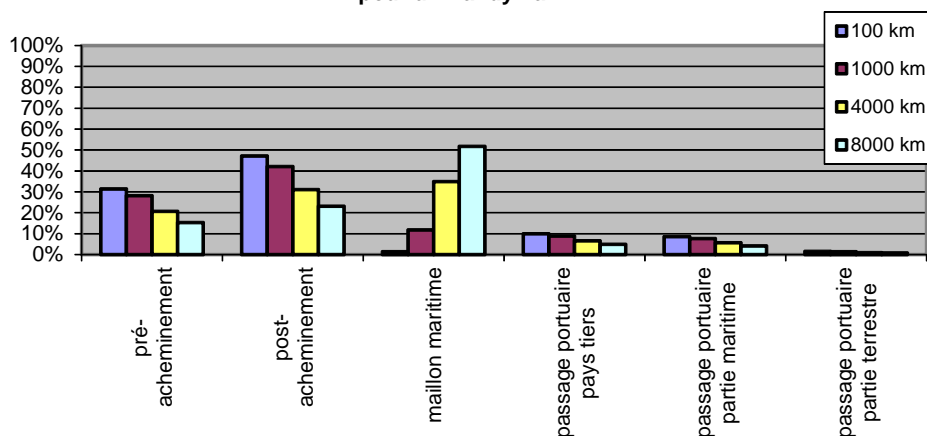
Enfin, pour les NOx, avec le même type de navire, la fourchette est comprise entre 14,6% et 35,2%.

Les graphiques ci-dessous illustrent les parts relatives des différents maillons des chaînes de transport dans le cas du CO<sub>2</sub> et des SOx, pour un navire Handymax.

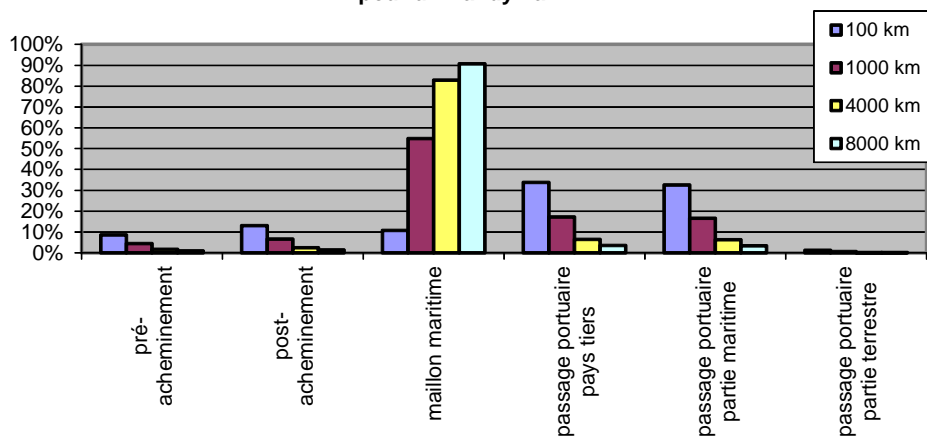
**Dans le cas d'un navire porte-conteneur de 2200 EVP**, les ordres de grandeur des sensibilités en fonction de la distance maritime sont les mêmes.

La part des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées au passage portuaire dans l'ensemble des émissions totales de la chaîne de transport s'avère par conséquent très sensible à la longueur du maillon maritime.

**Part des émissions de CO<sub>2</sub> / t, en fonction de la distance du maillon maritime (km) pour un Handymax**



**Part des émissions de SOx / t, en fonction de la distance du maillon maritime (km) pour un Handymax**



## 6.4 SENSIBILITE DES CALCULS D'EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ET DE POLLUANTS AU TYPE DE NAVIRE

Pour un maillon maritime standard de 4000 km, la part des consommations et émissions de CO<sub>2</sub> et polluants liées au passage portuaire dans l'ensemble des émissions totales de la chaîne de transport s'avère sensible au type de navire : pour un navire avec des performances énergétique et environnementale plus faibles, la part des émissions du passage portuaire (pour les 2 ports) dans l'ensemble de la chaîne diminue de l'ordre de 2 à 6% (du fait de l'augmentation en valeur absolue des émissions du maillon maritime).

Caractéristiques des navires étudiés :

	Filière conteneurs		Filière vracs secs	
	PC 2200 EVP	PC 800 EVP	Handymax	Handysize
gep/t.km	5,2	7,9	1,5	3,2
gCO <sub>2</sub> /t.km	16,1	24,4	4,9	9,4
gNO <sub>x</sub> /t.km	0,3	0,45	0,09	0,29
gSO <sub>x</sub> /t.km	0,04	0,03	0,07	0,16

Filière Conteneurs						
maillon logistique	Pré-acheminement routier	Post-acheminement routier	Maillon maritime	Passage portuaire	Passage portuaire	Passage portuaire
			porte-conteneurs	pays tiers	partie maritime	partie terrestre
<b>Consommation énergétique</b>						
répartition PC 2200 EVP	7,6%	11,4%	69,5%	5,8%	4,7%	1,1%
répartition PC 800 EVP	5,6%	8,3%	77,6%	4,3%	3,4%	0,8%
<b>Emissions de CO<sub>2</sub></b>						
répartition PC 2200 EVP	7,6%	11,4%	69,5%	5,7%	4,9%	0,9%
répartition PC 800 EVP	5,6%	8,4%	77,6%	4,2%	3,6%	0,6%
<b>Emissions de NO<sub>x</sub></b>						
répartition PC 2200 EVP	3,9%	5,8%	77,0%	6,7%	5,2%	1,4%
répartition PC 800 EVP	2,8%	4,2%	83,4%	4,8%	3,8%	1,0%
<b>Emissions de SO<sub>x</sub></b>						
répartition PC 2200 EVP	0,1%	0,2%	77,3%	11,2%	10,9%	0,3%
répartition PC 800 EVP	0,1%	0,2%	71,9%	13,9%	13,5%	0,4%

Pour la filière conteneurs, la part des consommations et émissions de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> du passage portuaire (pour les 2 ports) diminue de ~2%. Cette évolution est directement liée aux facteurs d'émissions du maillon maritime plus élevés à la t.km. Les émissions de SO<sub>x</sub> suivent une tendance inverse, à nuancer par la fiabilité du facteur d'émission associé.

Filière Vracs secs						
maillon logistique	Pré-acheminement routier	Post-acheminement routier	Maillon maritime	Passage portuaire	Passage portuaire	Passage portuaire
			porte-conteneurs	pays tiers	partie maritime	partie terrestre
<b>Consommation énergétique</b>						
répartition Handymax	21,1%	31,6%	33,8%	6,7%	5,2%	1,5%
répartition Handysize	15,2%	22,9%	52,2%	4,9%	3,8%	1,1%
<b>Emissions de CO<sub>2</sub></b>						
répartition Handymax	20,7%	31,1%	34,9%	6,6%	5,6%	1,0%
répartition Handysize	15,7%	23,6%	50,7%	5,0%	4,3%	0,8%
<b>Emissions de NO<sub>x</sub></b>						
répartition Handymax	13,3%	19,9%	48,2%	9,3%	8,0%	1,3%
répartition Handysize	6,4%	9,6%	75,0%	4,5%	3,9%	0,6%
<b>Emissions de SO<sub>x</sub></b>						
répartition Handymax	1,7%	2,5%	82,9%	6,5%	6,2%	0,2%
répartition Handysize	0,8%	1,2%	91,7%	3,1%	3,0%	0,1%

Pour la filière vracs secs, la part des consommations et émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub> du passage portuaire (pour les 2 ports) diminue de l'ordre de 2% à 6%. Cette évolution est directement liée aux facteurs d'émissions du maillon maritime plus élevés à la t.km.



## PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

**1- La consommation totale d'énergie des opérations liées au passage portuaire dans les 7 GPM français est estimée à ~430 000 TEP pour l'année 2009<sup>4</sup>**

Cela représente environ 1,6% de la consommation énergétique totale du transport de marchandises en France.

### Consommation d'énergie de traction des transports de marchandises sur le territoire métropolitain (millions de TEP)

Transports ferroviaires SNCF (3)	0,86
Transports routiers de marchandises	16,23
Navigation intérieure (fioul)	0,06
Transport maritime (1)	2,49
Transport aérien (carburéacteur, essence aviation) (2)	6,46
<b>Total</b>	<b>26,10</b>

(1) diesel marine et fioul; livraisons en France aux soutes maritimes françaises et étrangères, hors lubrifiants

(2) livraisons en France aux aéronefs français et étrangers.

(3) Voyageurs + marchandises.

Note: Les transports ferroviaires de voyageurs et de marchandises ne sont pas dissociables. Le biais qui en résulte est toutefois minime.

Source : Comptes des transports 2009

**2- Pour les 7 GPM, les émissions de la partie maritime du passage portuaire représentent en moyenne de 84 à 97% des émissions totales du passage portuaire selon le polluant concerné et 82% pour le CO<sub>2</sub>.**

Cette part est particulièrement élevée pour les filières conteneurs, vracs secs et surtout rouliers. Pour la filière des vracs liquides, cette part est plus faible même si elle reste prépondérante.

Afin de fixer les idées, les ordres de grandeur des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants pour les 7 GPM sont les suivants :

<sup>4</sup> Les données mentionnées ici correspondent aux périmètres géographique et fonctionnel suivants :

- consommations d'énergie et émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants localisées dans le périmètre du port, liées à l'activité des équipements fixes et mobiles participant directement à la manutention des produits (navires, engins de manutention...).
- consommations d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants délocalisées, liées à la production des centrales de production d'électricité situées à l'extérieur des ports ;
- émissions indirectes liées aux activités nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'activité portuaire (bureaux, écluses, éclairage des quais...).

- CO<sub>2</sub> : ~1,2 million de tonnes / an
- NO<sub>x</sub> : ~24 000 tonnes / an
- SO<sub>x</sub> : ~6 000 tonnes / an
- Particules (TSP) : ~3 000 tonnes / an.

**3- Les émissions délocalisées de polluants et de CO<sub>2</sub> représentent respectivement 99% (SO<sub>x</sub>), 29% (CO<sub>2</sub>), 8% (NO<sub>x</sub>) et 7% (TSP) des émissions liées au passage portuaire terrestre.**

52% de la consommation énergétique du côté « terrestre » du passage portuaire correspond à de l'énergie électrique. Cela se traduit par des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants délocalisées au niveau des unités de production d'électricité.

La quasi-totalité (99%) des émissions de SO<sub>x</sub> du côté « terrestre » est délocalisée ; elle correspond à la combustion du fioul lourd dans les centrales thermiques. De leur côté, les véhicules et engins fonctionnant à l'essence et au gazole dans le périmètre des ports n'émettent pratiquement pas de SO<sub>x</sub>.

Pour le CO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> et les TSP, la proportion des émissions délocalisées du côté « terrestre » est moins élevée mais reste toutefois significative (CO<sub>2</sub> (29%), NO<sub>x</sub> (8%), TSP (7%)).

**4- Dans le cas des deux chaînes théoriques prises comme exemples (porte-conteneurs 2200 EVP et vraquier Handymax, sur un maillon maritime de 4000 km), la part des émissions de polluants liées au passage portuaire (cumul des émissions des ports situés aux deux extrémités) dans le total des émissions de chaque chaîne de transport est comprise entre 13 et 23% selon le polluant et la filière considérés. Pour le CO<sub>2</sub>, cette part est comprise entre 11 et 13% selon la filière considérée.**

Pour une chaîne de transport intercontinentale de 4000 km et pour des navires de taille standard (porte-conteneurs 2200 EVP ou vraquier Handymax) la part des émissions liées au passage portuaire (pour les 2 ports) dans les émissions totales de la chaîne de transport se situe, selon la nature du polluant considéré, dans une fourchette de l'ordre de 13 à 23%. Pour le CO<sub>2</sub>, cette part est de l'ordre de 11 à 14%.

**5- La part des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants liées au passage portuaire dans l'ensemble des émissions d'une chaîne de transport internationale est très sensible à la longueur du maillon maritime**

Deux exemples ont été étudiés : un porte-conteneurs de 2200 EVP et un vraquier handymax. Dans le cas du CO<sub>2</sub>, pour un maillon maritime de 8000 km, correspondant par exemple à une chaînes de transport Europe / Extrême-Orient, la part du passage portuaire (pour les 2 ports) dans les émissions totales de CO<sub>2</sub> induites par la chaîne de transport est de l'ordre de 7 à 10%. A contrario, pour un maillon maritime court (100 km), cette part atteint de 20 à 35%.

Pour les SO<sub>x</sub>, la part des émissions se situe dans une fourchette de 7% à 91%, et pour les NO<sub>x</sub> dans la fourchette de 7% à 53% selon le type de navire et la longueur du maillon maritime.

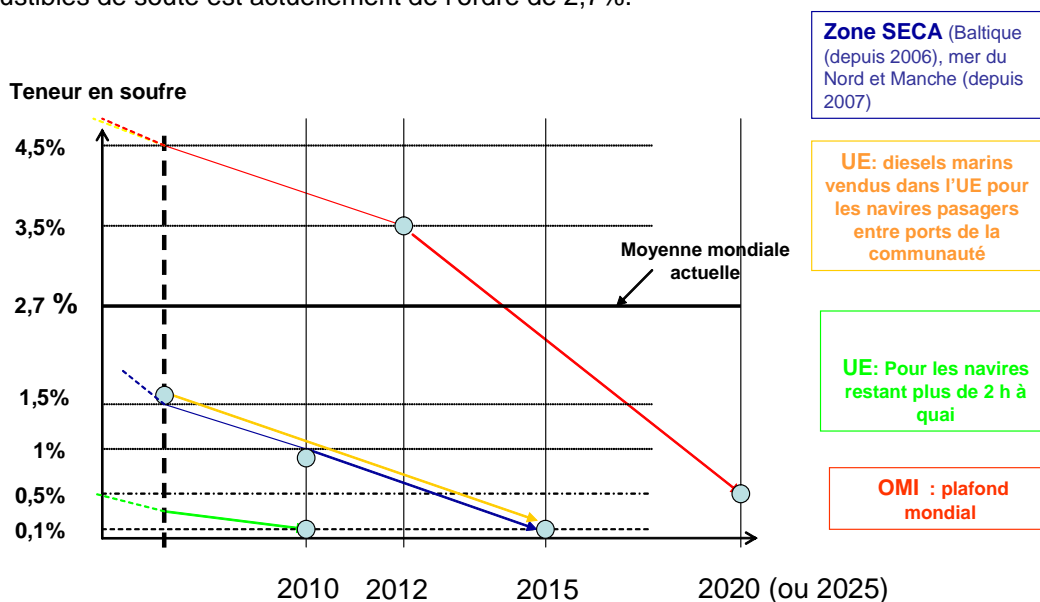
**6- Les résultats des calculs d'émissions liées au passage portuaire partie terrestre sont sensibles au choix des valeurs retenues pour les facteurs d'émission de l'électricité**

Le total des émissions de CO<sub>2</sub> de la partie terrestre du passage portuaire des 7 GPM varie de 67% selon que l'on choisit les niveaux de facteurs d'émission du kWh électrique basés sur le consensus actuel (pour le CO<sub>2</sub> : 91 g CO<sub>2</sub>/kWh, pertes en ligne incluses) ou un facteur d'émission de 300 g CO<sub>2</sub>/kWh (valeur estimée pour l'électricité consommée dans le cas de pics de consommation).

**7- Le renforcement des réglementations sur les émissions et les efforts déployés par les différents acteurs concernés contribuent à réduire les émissions liées au passage portuaire**

La présente étude a pour objectif d'évaluer la consommation énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants pour l'année la plus récente. Elle ne permet donc pas d'appréhender l'évolution de ces émissions dans le temps. Néanmoins, l'évolution de la réglementation sur les émissions permet d'illustrer cet impact<sup>5</sup>.

L'Annexe VI de la convention internationale Marpol définit les contraintes réglementaires en matière de limitation de la teneur en soufre des combustibles lourds utilisés à bord des navires afin de limiter les émissions de SOx<sup>6</sup>. Elle est complétée par la directive 2005/33/CE du 6 juillet 2005 (modifiant la directive 1999/32/CE) qui fixe, entre autres, un niveau maximum de 0,1% pour tous les navires au mouillage dans les ports européens. La teneur en soufre dans les combustibles de soufre est actuellement de l'ordre de 2,7%.



L'annexe VI de MARPOL fixe également des objectifs de réduction des émissions de NOx par paliers. On se trouve actuellement, jusqu'en 2011, dans la plage d'objectif correspondant à une réduction d'environ 20%.

<sup>5</sup> Un autre exemple concerne les actions entreprises par la Fédération française des Pilotes Maritimes qui a entrepris plusieurs actions destinées à réduire les émissions polluantes. Ces actions concernent en particulier les axes suivants :

- ✓ le changement des injecteurs des moteurs de pilotines ;
- ✓ la réduction de la vitesse des pilotines, de 25 à 22 nœuds en moyenne ;
- ✓ le transport de deux pilotes sur une même pilotine, chaque fois que possible ;
- ✓ la réduction du poids des nouvelles pilotines fabriquées.

Grâce à ces actions, la consommation de gazole des activités de pilotage maritime a été réduite d'environ 25% au cours des deux dernières années (pour un total d'environ 100 000 manœuvres effectuées chaque année).

<sup>6</sup> La zone SECA englobe la mer Baltique (depuis octobre 2005), la mer du Nord et la Manche (depuis août 2007).

—■—

## ANNEXE 1 : FORMULES PARAMETREES

### 8.1 PARTIE MARITIME

#### 8.1.1 Navire océanique

Taux de charge de la motorisation principale	
$Tx\ Charge_{f,Navire} (kWh) = ( VC_{f,Navire} (noeuds) / VM_{f,Navire} (Noeuds) )^3$	où Tx Charge est le taux de charge du moteur de la propulsion principale, VC la vitesse constatée sur le tronçon de navigation et VM la vitesse maximale du navire. Ce calcul utilise la loi Propeller comme cela a été pratiqué pour les estimations réalisées au Port de Los Angeles Le taux de charge en manœuvre est une donnée
Consommation d'énergie de la motorisation principale	
$Conso_{f,Navire} (kWh) = Tx\ Charge_{f,Navire} \times PM_{f,Navire} (kW) \times T_{f,Navire} (h)$	où Conso est la consommation d'énergie, Tx Charge est le taux de charge du moteur de la propulsion principale, PM la puissance maximale de la motorisation principale et T le temps de navigation sur le tronçon de navigation.
Emissions de CO <sub>2</sub> et polluants (par filière)	
$E_{f,Navire} (kg) = Conso_{f,Navire} (kWh) \times FE_{f,Navire} (kg/kWh)$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh
Consommation d'énergie de la motorisation auxiliaire	
$Conso_{f,Navire} (kWh) = Tx\ Charge_{f,Navire} \times PM_{f,Navire} (kW) \times T_{f,Navire} (h)$	où Conso est la consommation d'énergie, Tx Charge est le taux de charge du moteur de la motorisation auxiliaire, PM la puissance maximale de la motorisation auxiliaire et T le temps de navigation selon l'activité du navire

### 8.1.2 Service aux navires

Consommation d'énergie du remorquage	
$\text{Conso}_{f,\text{Navire}} \text{ (kWh)} = \text{PM (kW)} \times \text{T x Charge} \times \text{T (h)} \times \text{NRM}_{f,\text{Navire}}$	où PM la puissance moyenne des remorqueurs du port, Tx Charge est le taux de charge du moteur des remorqueurs, T le temps d'intervention des remorqueurs et NRM le nombre moyen de remorqueur selon le navire.
Consommation de carburant du pilotage	
$\text{Conso pilotine}_{f,\text{Navire}} \text{ (l)} = \text{T (h)} \times \text{CMP (l/h)} \times \% \text{pilotine}_{f,\text{Navire}}$ $\text{Conso hélicoptère}_{f,\text{Navire}} \text{ (l)} = \text{Ratio conso hélico (l)} \times \% \text{hélico}_{f,\text{Navire}}$	où Conso pilotine et hélicoptère sont les consommations respectives en diesel marin et kérosène par escale selon le navire, T le temps d'intervention des pilotine, CMP est la consommation horaire moyenne par pilotine, % pilotine est le pourcentage d'intervention par pilotine pour un type de navire, Ratio conso hélico la consommation moyenne en kérosène d'un hélicoptère par sortie et %hélico est le pourcentage d'intervention par hélicoptère
Consommation de carburant du lamage	
$\text{Conso lamage}_{f,\text{Navire}} \text{ (l)} = \text{T (h)} \times \text{CML (l/h)}$	où Conso lamage est la consommation en diesel marin par escale selon le navire, T le temps d'intervention des unités de lamage, CML est la consommation horaire moyenne par unité de lamage

## 8.2 PARTIE TERRESTRE

Détail des formules paramétrées pour le calcul des consommations énergétiques et des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants, par activité.

### 8.2.1 Equipements fixes et mobiles de manutention sur quai et de transfert bord à quai<sup>7</sup>

Consommations d'énergie pour le transfert bord à quai (par filière)	
$\text{Conso}_{f,\text{carb}} \text{ (tonne)} = \text{TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{RCE}_{f,a,\text{carb}} \text{ (l/tonne)} \times \text{CCL}_{\text{carb}} \text{ (tonne/l)} \quad [1]$ $\text{Conso}_{f,\text{elec}} \text{ (kWh)} = \text{TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{RCE}_{f,a,\text{elec}} \text{ (kWh/tonne)} \quad [2]$	où Conso est la consommation d'énergie, TM le trafic maritime, RCE le ratio de consommation d'énergie et CCL le coefficient de conversion des litres en tonne et les indices courent respectivement sur : f les filières, carb les carburants (essence, gazole et fioul), elec l'électricité et a l'activité (transfert bord à quai ou manutention sur quai)
Consommations d'énergie pour la manutention sur quai (par filière)	
$\text{Conso}_{f,\text{carb}} \text{ (tonne)} = \text{TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{RCE}_{f,a,\text{carb}} \text{ (l/tonne)} \times \text{CCL}_{\text{carb}} \text{ (tonne/l)} \quad [3]$ $\text{Conso}_{f,\text{elec}} \text{ (kWh)} = \text{TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{RCE}_{f,a,\text{elec}} \text{ (kWh/tonne)} \quad [4]$	où Conso est la consommation d'énergie, TM le trafic maritime, RCE le ratio de consommation d'énergie et CCL le coefficient de conversion des litres en tonne et les indices courent respectivement sur : f les filières, carb les carburants (essence, gazole et fioul), elec l'électricité et a l'activité (transfert bord à quai ou manutention sur quai)
Consommations d'énergie en tep (par filière)	
$\text{Conso}_{f,\text{carb}} \text{ (tep)} = ( [1] + [3] ) \text{ (tonne)} \times \text{CC}_{\text{carb}} \text{ (tep/tonne)} \quad [5]$ $\text{Conso}_{f,\text{elec}} \text{ (tep)} = ( [2] + [4] ) \text{ (kWh)} \times \text{CC}_{\text{elec}} \text{ (tep/kWh)} \quad [6]$ $\text{Conso}_f \text{ (tep)} = \sum_{\text{carb}} [5] \text{ (tep)} + [6] \text{ (tep)}$	où Conso est la consommation d'énergie et CC le coefficient de conversion des tonnes ou kWh en tep et les indices courent respectivement sur : f les filières, carb les carburants (essence, gazole et fioul) et elec l'électricité
Emissions de CO <sub>2</sub> et polluants (par filière)	
$E_{g,f,\text{carb}} \text{ (kg)} = ( [1] + [3] ) \text{ (tonne)} \times \text{FE}_g \text{ (kg/l)} \times \text{CCT}_{\text{carb}} \text{ (l/tonne)} \quad [7]$ $E_{g,f,\text{elec}} \text{ (kg)} = ( [2] + [4] ) \text{ (kWh)} \times \text{FE}_g \text{ (kg/kWh)} \quad [8]$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh ou polluant et CCT le coefficient de conversion des tonnes en litres

<sup>7</sup> Seules les filières conteneurs, vracs secs, vracs liquides et marchandises diverses sont concernées par ce bloc.

Dans le cas de la filière conteneurs, le trafic et les différents ratios utilisés sont en EVP.

Des ratios en litres / tonne manutentionnée sont utilisés pour les carburants et des ratios en kWh / tonne manutentionnée pour l'électricité.

$E_{g,f} \text{ (kg)} = \Sigma_{\text{carb}} [7] \text{ (kg)} + [8] \text{ (kg)}$	et les indices courent respectivement sur : g les GES et polluants (CO <sub>2</sub> , NOx, SOx et TSP), f les filières, carb les carburants (essence, gazole et fioul) et elec l'électricité
---	--

### 8.2.2 Brouettage<sup>8</sup>

Consommations d'énergie par les engins de brouettage (par filière)	
$\text{Conso}_{f,PL} \text{ (tonne)} = \Sigma_{mp} \text{ TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{PTB}_{f,mp,PL} \text{ (\%)} \times \text{PB}_{f,mp,PL} \text{ (\%)} \times \text{DB}_{f,mp,PL} \text{ (km)} / \text{CM}_{PL} \text{ (tonne)} \times \text{CS}_{PL} \text{ (l/km)} \times \text{CCL}_{\text{carb}} \text{ (tonne/l)} \quad [9]$ $\text{Conso}_{f=\text{conteneur,train}} \text{ (tonne)} = \Sigma_{mp} \text{ TM}_f \text{ (tonne)} \times \text{PTB}_{f,mp,train} \text{ (\%)} \times \text{PB}_{f,mp,train} \text{ (\%)} \times \text{DB}_{f,mp,train} \text{ (km)} / \text{CM}_{\text{train}} \text{ (tonne)} \times \text{CS}_{\text{train}} \text{ (tonne/t.km)} \quad [10]$ $\text{Conso}_f \text{ (tonne)} = [9] \text{ (tonne)} + [10] \text{ (tonne)} \quad [11]$	où Conso est la consommation d'énergie, TM le trafic maritime, PTB la part de trafic brouetté, PB la part brouettée par chaque mode, DB la distance moyenne de brouettage, CM la charge moyenne transportée par l'engin de brouettage, CS la consommation spécifique de l'engin de brouettage et CCL le coefficient de conversion des litres en tonne et les indices courent respectivement sur : f les filières, mp le mode de pré-post-acheminement (rail ou fluvial) et le mode de brouettage (PL ou train)
Consommations d'énergie en tep (par filière)	
$\text{Conso}_f \text{ (tep)} = [11] \text{ (tonne)} \times \text{CC} \text{ (tep/tonne)}$	où Conso est la consommation d'énergie et CC le coefficient de conversion des tonnes en tep et les indices courent respectivement sur : f les filières
Emissions de CO <sub>2</sub> et polluants (par filière)	
$E_{g,f} \text{ (kg)} = [11] \text{ (tonne)} \times \text{FE}_g \text{ (kg/l)} \times \text{CCT} \text{ (l/tonne)}$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh et CCT le coefficient de conversion des tonnes de carburant en litres et les indices courent respectivement sur : g le CO <sub>2</sub> et polluants (NOx, SOx et TSP) et f les filières

### 8.2.3 Scanners, reefers<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Seules les filières conteneurs, vracs secs, ro-ro, auto-carriers et marchandises diverses sont concernées par ce bloc.

Dans le cas de la filière conteneurs, le trafic et les différents ratios utilisés sont en EVP.

Dans le cas de la filière ro-ro, le trafic et les différents ratios utilisés sont en nombre de remorques.

Dans le cas de la filière auto-carriers, le trafic et les différents ratios utilisés sont en nombre de véhicules.

<sup>9</sup> Seules la filière conteneurs est concernée par ce bloc.

Consommations d'énergie (par filière)	
$Conso_{f=conteneur,reefer} \text{ (kWh)} = TM_{f=conteneur} \text{ (EVP)} \times PCR \text{ (\%)} \times TSR \text{ (h)} \times CR \text{ (kWh/h)}$ [12] $Conso_{f=conteneur,scanner} \text{ (kWh)} = TM_{f=conteneur} \text{ (EVP)} \times PCS \text{ (\%)} \times CS \text{ (kWh)}$ [13] $Conso_{f=conteneur} \text{ (kWh)} = [12] \text{ (kWh)} + [13] \text{ (kWh)}$ [14]	où Conso est la consommation d'énergie, TM le trafic maritime, PCR la proportion de conteneurs reefer, TSR le temps de stockage d'un reefer, CR la consommation horaire d'un reefer, PCS la proportion de conteneurs scannés et CS la consommation d'un scanner par EVP et les indices courent respectivement sur : f les filières
Consommations d'énergie en tep (par filière)	
$Conso_{f=conteneur} \text{ (tep)} = [14] \text{ (kWh)} \times CC_{elec} \text{ (tep/kWh)}$	où Conso est la consommation d'énergie et CC le coefficient de conversion des kWh en tep et les indices courent respectivement sur : f les filières et elec l'électricité
Emissions de GES et polluants (par filière)	
$E_{g,f=conteneur,elec} \text{ (kg)} = [14] \text{ (kWh)} \times FE_g \text{ (kg/kWh)}$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh et les indices courent respectivement sur : g les CO <sub>2</sub> et polluants (CO <sub>2</sub> , NOx, SOx et TSP), f les filières et elec l'électricité

#### 8.2.4 Véhicules légers (services et déplacement domicile/travail)<sup>10</sup>

Consommations d'énergie (par filière)	
$Conso_{f,carb,type} \text{ (tonne)} = NV_{f,type} \times RVC_{carb} \text{ (\%)} \times DM_{f,type} \text{ (km)} \times CS_{carb} \text{ (l/km)}$ $CCL_{carb} \text{ (tonne/l)}$ [15] $Conso_f \text{ (tonne)} = \sum_{carb,type} [15] \text{ (tonne)}$	où Conso est la consommation d'énergie, NV le nombre de véhicules, RVC la répartition des véhicules par type de carburant, DM la distance moyenne annuelle parcourue par chaque véhicule, CS la consommation spécifique d'un véhicule et CCL le coefficient de conversion des litres en tonne et les indices courent respectivement sur : f les filières, carb les carburants (essence et diesel) et type le type d'utilisation du véhicule (service ou déplacement domicile-travail)
Consommations d'énergie en tep (par filière)	
$Conso_f \text{ (tep)} = \sum_{carb,type} [15] \text{ (tonne)} \times CC_{carb} \text{ (tep/tonne)}$	où Conso est la consommation d'énergie et CC le coefficient de conversion des tonnes en tep

<sup>10</sup> Toutes les filières (conteneurs, vracs secs, vracs liquides, ro-ro, auto-carriers et marchandises diverses) ainsi que le non affectable sont concernés par ce bloc.

Dans le cas de la filière conteneurs, le trafic et les différents ratios utilisés sont en EVP.

Dans le cas de la filière ro-ro, le trafic et les différents ratios utilisés sont en nombre de remorques.

Dans le cas de la filière auto-carriers, le trafic et les différents ratios utilisés sont en nombre de véhicules.

Des ratios en litres / tonne manutentionnée sont utilisés pour les carburants et des ratios en kWh / tonne manutentionnée pour l'électricité.

	et les indices courent respectivement sur : f les filières, carb les carburants (essence et diesel) et type le type d'utilisation du véhicule (service ou déplacement domicile-travail)
Emissions de GES et polluants (par filière)	
$E_{g,f} \text{ (kg)} = \sum_{\text{carb,type}} [15] \text{ (tonne)} \times FE_g \text{ (kg/l)} \times CCT_{\text{carb}} \text{ (l/tonne)}$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh et CCT le coefficient de conversion des tonnes en litres et les indices courent respectivement sur : g les CO <sub>2</sub> et polluants (CO <sub>2</sub> , NOx, SOx et TSP), f les filières, carb les carburants (essence et diesel) et type le type d'utilisation du véhicule (service ou déplacement domicile-travail)

### 8.2.5 Bâtiments, éclairage des routes, écluses<sup>11</sup>

Consommations d'énergie (par filière)	
$Conso_{f,\text{bâtiments,fioul}} \text{ (tonne)} = SB_f \text{ (m}^2\text{)} \times RTC_{f,\text{fioul}} \text{ (\%)} \times CRC \times FCS_{\text{fioul}}$ [16] $Conso_{f,\text{bâtiments,elec}} \text{ (kWh)} = SB_f \text{ (m}^2\text{)} \times RTC_{f,\text{elec}} \text{ (\%)} \times CRC \times FCS_{\text{elec}} \text{ (kWh/m}^2\text{)}$ [17] $Conso_{f,\text{éclairage}} \text{ (kWh)} = SE_f \text{ (m}^2\text{)} \times FCS_{\text{éclairage}} \text{ (kWh / m}^2\text{)}$ [18] $Conso_{f=\text{non affectable,écluses}} \text{ (kWh)} = PM \text{ (kW)} \times NOF \times NHF \text{ (h)}$ [19]	où Conso est la consommation d'énergie, SB la surface des bâtiments, RTC la répartition par type de chauffage, CRC le coefficient de rigueur climatique, FCS le facteur de consommation surfacique, SE la surface de route éclairée, PM la puissance totale des moteurs des écluses, NOF le nombre d'ouvertures / fermetures des écluses et NHF le nombre d'heures de fonctionnement des écluses et les indices courent respectivement sur : f les filières, fioul le fioul, elec l'électricité et l'activité (bâtiments, éclairage ou écluses)
Consommations d'énergie en tep (par filière)	
$Conso_{f,\text{fioul}} \text{ (tep)} = [16] \text{ (tonne)} \times CC_{\text{carb}} \text{ (tep/tonne)}$ [20] $Conso_{f,\text{elec}} \text{ (tep)} = ([17] + [18] + [19]) \text{ (kWh)} \times CC_{\text{elec}} \text{ (tep/kWh)}$ [21] $Conso_f \text{ (tep)} = [20] \text{ (tep)} + [21] \text{ (tep)}$	où Conso est la consommation d'énergie et CC le coefficient de conversion des tonnes ou kWh en tep et les indices courent respectivement sur : f les filières, fioul le fioul et elec l'électricité
Emissions de GES et polluants (par filière)	
$E_{g,f,\text{fioul}} \text{ (kg)} = [16] \text{ (tonne)} \times FE_g \text{ (kg/l)} \times CCT_{\text{fioul}} \text{ (l/tonne)}$ [22] $E_{g,f,\text{elec}} \text{ (kg)} = ([17] + [18] + [19]) \text{ (kWh)} \times FE_g \text{ (kg/kWh)}$ [23] $E_{g,f} \text{ (kg)} = [22] \text{ (kg)} + [23] \text{ (kg)}$	où E est l'émission de CO <sub>2</sub> ou polluant, FE le facteur d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh et CCT le coefficient de conversion des tonnes en litres et les indices courent respectivement sur : g les CO <sub>2</sub> et polluants (CO <sub>2</sub> , NOx, SOx et TSP), f les filières, fioul le fioul et elec l'électricité

<sup>11</sup> Toutes les filières sont concernées par ce bloc.

## ANNEXE 2 : DONNEES UTILISEES POUR LE VOLET TERRESTRE DU PASSAGE PORTUAIRE

### 9.1 FACTEURS D'EMISSION DE CO<sub>2</sub>

Pour les consommateurs d'énergie fossile, les facteurs d'émission excluent les émissions liées à la production d'énergie. Pour les consommateurs d'énergie électrique, les facteurs d'émission incluent les émissions liées à la production d'électricité ainsi que les pertes en lignes (8% pour ces dernières).

			CO <sub>2</sub>			
			Valeurs	Unités	Commentaires / source	
Véhicules légers	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Essence	197,0	g/km	Lipasto
	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Gazole	200,0	g/km	Lipasto
Véhicules légers	(à titre indicatif / Lipasto)		Essence / éthanol 8,6%	2,371	kg/l	CITEPA
			Gazole / EMHV 6,21%	2,645	kg/l	CITEPA
	Autobus urbains (province)		Gazole	2,645	kg/l	CITEPA
Transport fret	Camions et VUL	<1,7t	Essence	2,371	kg/l	CITEPA
			Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		1,7<PTAC<3,5	Essence	2,371	kg/l	CITEPA
			Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		3,5<PTAC<7,5	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		7,5<PTAC<12	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		12<PTAC<20	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		20<PTAC<26	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
		26<PTAC<32	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA
	PTAC>32	Diesel / EMHV 6,21%	2,645	kg/l	CITEPA	
	Tracteurs routiers	Diesel	2,645	kg/l	CITEPA	
	Rail		Diesel	15,0	gCO <sub>2</sub> /t.km	Guide FE v5 Tableau 97
		273,4286		gCO <sub>2</sub> /kWh	E MEP/Corina ir 2009 tier 2	

Engins de manutention sur quai et de transfert bord à quai			Essence	2,371	kgCO <sub>2</sub> /litre	CITEPA
			Gazole	2,645	kgCO <sub>2</sub> /litre	CITEPA
			Gazole	270,8571	gCO <sub>2</sub> /kWh	E MEP/Corina ir 2009 tier 1
			GPL	256,2857	gCO <sub>2</sub> /kWh	E MEP/Corina ir 2009 tier 1
Chauffage	Chaudières fixes (hors industrie)	<50 MWth	Fioul lourd (TBTS)	78	kg/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	75	kg/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	57	kg/GJ	CITEPA
			GPL	64	kg/GJ	CITEPA
		50 à 300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	78	kg/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	75	kg/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	57	kg/GJ	CITEPA
		>300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	78	kg/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	75	kg/GJ	CITEPA
Gaz naturel	57		kg/GJ	CITEPA		
Production d'électricité en France				0,091	kgCO <sub>2</sub> /kWh, en 2004	Guide FE v5 Tableau 22

## 9.2 FACTEURS D'EMISSION DES NOx

			NOx			
			Valeurs	Unités	Commentaires/ source	
Véhicules légers	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Essence	0,3	g/km	Lipasto
	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Gazole	0,6	g/km	Lipasto
Véhicules légers	(à titre indicatif / pour comparaison avec Lipasto)		Essence / éthanol 8,6%	2,371	0,0051474	kg/l
			Gazole / EMHV 6,21%	2,645	0,0107333	kg/l
	Autobus urbains (province)		Gazole	0,0272094	kg/l	CITEPA
Transport	Camions et VUL	<1,7t	Essence	0,0071065	kg/l	CITEPA

fret		Diesel	0,0142821	kg/l	CITEPA	
	1,7<PTAC<3,5	Essence	0,0056211	kg/l	CITEPA	
		Diesel	0,0125948	kg/l	CITEPA	
	3,5<PTAC<7,5	Diesel	0,0232331	kg/l	CITEPA	
	7,5<PTAC<12	Diesel	0,0246256	kg/l	CITEPA	
	12<PTAC<20	Diesel	0,0258535	kg/l	CITEPA	
	20<PTAC<26	Diesel	0,0244543	kg/l	CITEPA	
	26<PTAC<32	Diesel	0,0224809	kg/l	CITEPA	
	PTAC>32	Diesel / EMHV 6,21%	0,0247596	kg/l	CITEPA	
	Tracteurs routiers	Diesel	0,0225502	kg/l	CITEPA	
	Rail	Diesel	15,0	6,0000000	gNOx/kWh	
			273,4286	4,6628571	gNOx/kWh	
Engins de manutention sur quai et de transfert bord à quai		Essence				
		Gazole	0,087	kg NOx/litre de carburant	Fabricants d'équipements / Ports américains / Base EMEP/Corinair	
		Gazole	2,8107429	gNOx/kWh	EMEP/Corinair 2009 tier 1	
		GPL	5,2365429	gNOx/kWh	EMEP/Corinair 2009 tier 1	
Chauffage	Chaudières fixes (hors industrie)	<50 MWth	Fioul lourd (TBTS)	170	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	100	g/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	59	g/GJ	CITEPA
			GPL	50	g/GJ	CITEPA
		50 à 300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	178,6	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	83	g/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	59,3	g/GJ	CITEPA
		>300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	181,7	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	101,6	g/GJ	CITEPA
Gaz naturel	60,8		g/GJ	CITEPA		
Production d'électricité en France			0,0005	kgNOx/kWh	Electrabel - SPE - 1999	

Les plafonds d'émission fixés par les normes internationales pour les équipements « non routiers » tels que les engins portuaires sont indiqués dans le tableau ci-après :

**Emissions limites de NOx par les engins diesel (base EMEP/Corinair)**

Unité: g NOx/kWh

kW	Avant 1998	1998	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007
0-20	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
20-37	14,4	14,4	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	6,4	6,4
37-75	14,4	9,2	9,2	9,2	9,2	8	8	8	4
75-130	14,4	9,2	9,2	9,2	7	7	7	3,5	3,5
130-300	14,4	9,2	9,2	7	7	7	3,5	3,5	3,5
300-560	14,4	9,2	9,2	7	7	7	7	7	7
560-1000	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
>1000	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4

### 9.3 FACTEURS D'EMISSION DES SOx

				SOx		
				Valeurs	Unités	Commentaires/ source
Véhicules légers	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Essence	0,0010	g/km	Lipasto
	1,3 personne/véhicule, cycle urbain		Gazole	0,0013	g/km	Lipasto
Véhicules légers	<i>(à titre indicatif / pour comparaison avec Lipasto)</i>		Essence / éthanol 8,6%	2,371	0,0000758	kg/l
			Gazole / EMHV 6,21%	2,645	0,0000849	kg/l
	Autobus urbains (province)		Gazole	0,0000849	kg/l	CITEPA
Transport fret	Camions et VUL	<1,7t	Essence	0,0000758	kg/l	CITEPA
			Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		1,7<PTAC<3,5	Essence	0,0000758	kg/l	CITEPA
			Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		3,5<PTAC<7,5	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		7,5<PTAC<12	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		12<PTAC<20	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		20<PTAC<26	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		26<PTAC<32	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA
		PTAC>32	Diesel / EMHV 6,21%	0,0000849	kg/l	CITEPA
Tracteurs routiers	Diesel	0,0000849	kg/l	CITEPA		
	Rail		Diesel	15,0		
			Diesel	273,4286	non estimé	gSOx/kWh
Engins de manutention sur quai et de transfert bord à quai			Essence			
			Gazole	0,000	kgSOx/litre	EMEP/Corinair

			Gazole	non estimé	gSOx/kWh	EMEP/Corina ir 2009 tier 1		
			GPL			EMEP/Corina ir 2009 tier 1		
Chauffage	Chaudières fixes (hors industrie)	<50 MWth	Fioul lourd (TBTS)	455	g/GJ	CITEPA		
			Fioul domestique	48	g/GJ	CITEPA		
			Gaz naturel	0,5	g/GJ	CITEPA		
					GPL	2	g/GJ	CITEPA
		50 à 300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	460	g/GJ	CITEPA		
			Fioul domestique	76,8	g/GJ	CITEPA		
			Gaz naturel	0,51	g/GJ	CITEPA		
		>300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	393,8	g/GJ	CITEPA		
			Fioul domestique	163,7	g/GJ	CITEPA		
Gaz naturel	0,5		g/GJ	CITEPA				
Production d'électricité en France				0,0005	Kg SOx/kWh	"Statistiques Environneme ntales" - 1999		

## 9.4 FACTEURS D'EMISSION DES PARTICULES

### Facteurs d'émission

			TSP			
			Valeurs	Unités	Commentaires/ source	
Véhicules légers	1,3 personne/véhicule , cycle urbain		Essence	0,0030	g/km	Lipasto
	1,3 personne/véhicule , cycle urbain		Gazole	0,0400	g/km	Lipasto
Véhicules légers	(à titre indicatif / pour comparaison avec Lipasto)		Essence / éthanol 8,6%	2,371	0,000053 g	kg/l
			Gazole / EMHV 6,21%	2,645	0,001042 g	kg/l
	Autobus urbains (province)		Gazole	0,0008053	kg/l	CITEPA
Transport fret	Camions et VUL	<1,7t	Essence	0,0000306	kg/l	CITEPA
			Diesel	0,0015343	kg/l	CITEPA
		1,7<PTAC<3,5	Essence	0,0000297	kg/l	CITEPA
			Diesel	0,0012186	kg/l	CITEPA
		3,5<PTAC<7,5	Diesel	0,0005875	kg/l	CITEPA
		7,5<PTAC<12	Diesel	0,0007036	kg/l	CITEPA

		12<PTAC<20	Diesel	0,0006844	kg/l	CITEPA
		20<PTAC<26	Diesel	0,0006149	kg/l	CITEPA
		26<PTAC<32	Diesel	0,0004798	kg/l	CITEPA
		PTAC>32	Diesel / EMHV 6,21%	0,0006055	kg/l	CITEPA
		Tracteurs routiers	Diesel	0,0004935	kg/l	CITEPA
		Rail		Diesel	15,0	0,2
				273,4286	0,2657143	gTSP/kWh
Engins de manutention sur quai et de transfert bord à quai			Essence			
			Gazole	2 079,1	g TSP / tonne gazole	E MEP/Corina ir 2009 tier 1
			Gazole	6977,00	g/tonne gazole	E MEP/Corina ir
			GPL	0,0192857	gTSP/kWh	E MEP/Corina ir 2009 tier 1
Chauffage	Chaudières fixes (hors industrie)	<50 MWth	Fioul lourd (TBTS)	15	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	14,5	g/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	0	g/GJ	CITEPA
			GPL	0	g/GJ	CITEPA
		50 à 300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	25,5	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	12,3	g/GJ	CITEPA
			Gaz naturel	1,35	g/GJ	CITEPA
		>300 MWth	Fioul lourd (TBTS)	8,88	g/GJ	CITEPA
			Fioul domestique	12,6	g/GJ	CITEPA
Gaz naturel	1,35		g/GJ	CITEPA		
Production d'électricité en France					kgTSP/kWh	

## 9.5 RATIOS DE CONSOMMATION ENERGETIQUE

Tableau récapitulatif des ratios de consommation énergétique rapportés au passage portuaire d'unités physiques (ratios cumulatifs).

		Conteneurs		Vracs solides		Vracs liquides		March. Diverses	
Ensemble des opérations de manutention sur parc	Essence								
	Gazole	litre/EVP	2,846	litre/tonne	0,067	litre/tonne	0,081875	litre/tonne	0,021
	Gaz					GJ/tonne	0,00351		

	Electricité	kWh/EVP	0	kWh/tonne	0,026	kWh/tonne	1,529		1,439
Ensemble des opérations de transfert bord à quai	Essence								
	Gazole	litre/EVP	0	litre/tonne	0,021	litre/tonne (sorties)	0	litre/tonne	0,067
	Fioul								
	Electricité	kWh/EVP	7,183	kWh/tonne	1,439	kWh/tonne (sorties)	7,808	kWh/tonne	0,026

Source : recoupement des données de consommation et de trafic des 7 GPM

## 9.6 VALEURS PAR DEFAUT

	Valeurs	Unités
Poids moyen brut d'un EVP	15	Tonnes
Nombre moyen d'EVP par train	50	EVP/train
Chargement moyen d'un train	1 000	Tonnes/train
Nombre moyen d'EVP par camion	2	EVP/véhicule
Charge utile moyenne d'un camion tracteur	20	Tonnes
Nombre de remorques manutentionnées / heure	5	Nombre
Proportion des remorques non accompagnées	10%	%
Distance moyenne parcourue par chaque tug entre navire et parc manutention conteneurs	0,5	km
Distance moyenne parcourue par chaque tug entre parc manutention conteneurs et limite du terminal	0,5	km
Distance moyenne parcourue par chaque véhicule (auto-carrier)	0,5	km

### Opérations de brouettage

#### PL

1,7<PTAC<3,5	Essence	13,1	l/100km	Guide FE
	Diesel	9,6	l/100km	Guide FE
3,5<PTAC<7,5	Diesel	15,1	l/100km	Guide FE
7,5<PTAC<12	Diesel	21,9	l/100km	Guide FE
12<PTAC<20	Diesel	29,6	l/100km	Guide FE
20<PTAC<26	Diesel	38,5	l/100km	Guide FE
26<PTAC<32	Diesel	42,8	l/100km	Guide FE
Tracteurs routiers	Diesel	37,1	l/100km	Guide FE

#### Train

	Fioul	5,1	g fioul/txkm	Guide FE: 15g CO2/txkm, soit 5,1g de fioul/txkm
--	-------	-----	--------------	---

		Conteneurs	Vracs secs	Marchandises diverses
Brouettage vers plateforme ferroviaire	Distance moyenne	8	3,7	8
	Part du brouettage par camion	100%	94%	100%
	Part du brouettage par fer	0%	6%	0%

Brouettage vers quais fluviaux	Distance moyenne	4	2,05	4
	Part du brouettage par camion	50%	88%	50%
	Part du brouettage par fer	50%	12%	50%

Brouettage routier	Essence	conteneurs		Vracs solides		Roulier		Marchandises diverses	
	Gazole	litre/EVPxkm	0,2	litre/tonnexkm	0,016	litre/véhiculexkm ou par remorque xkm	0,55	Litre / tonnexkm	0,016
	Electricité								
Brouettage ferroviaire	Essence								
	Fioul	litre/EVPxkm	0,073	litre/tonnexkm	0,0068			Litre / tonnexkm	0,0068
	Electricité								

## Véhicules légers

### VUL

1, 3 personne/véhicule, cycle urbain	<1,7t	Essence	8,4	l/100km	Guide FE	Lipasto: 8,4
1, 3 personne/véhicule, cycle urbain		Diesel	7,2	l/100km	Guide FE	Lpasto: 7,5

	Conteneurs	Vracs secs	Vracs liquides	Rouliers	Auto-carriers	Marchandises diverses	Passagers	Non affectable
Nombre de véhicules de service	18	14,4	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	91,0
Nombre de véhicule en D/T	6	47,8	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	230,0
Distance moyenne parcourue par un véhicule de service	9 000	17 688	3 171	9 000	9 000	9 000	9 000	12 237
Distance moyenne parcourue par les véhicules en D/T	6 400	7 929	4 300	6 400	6 400	6 400	6 400	7 092

## Bâtiments

### Toutes filières

Bâtiments	Essence			
	Fioul	kWh/m2 plancher	248	Guide FE v5 Tableau 30
	Electricité	kWh/m2 plancher	121	Usages spécifiques (hors chauffage et ECS) Source: FE v5 Tableau 29
Eclairage extérieur	Essence			
	Gazole			
	Electricité	kWh/m2 éclairé	5	Estimation AJI-Europe

### Bâtiments

Locaux de bureaux		Electricité bureaux tous usages	283,0	kWh/m²	Guide FE v5 Tableau 29
		Electricité bureaux usages spécifiques (hors chauffage et ECS)	121,0	kWh/m²	Guide FE v5 Tableau 29
		Electricité ECS + chauffage	162,0	kWh/m²	Guide FE v5 Tableau 29

		Fioul bureaux (chauffage uniquement)	19,6	kg gazole/m <sup>2</sup>	Guide FE v5 Tableau 30 (1)
		Gaz naturel bureaux	184,0	kWh/m <sup>2</sup>	Guide FE v5 Tableau 31
Coefficient de rigueur climatique		Dunkerque	1,1		Guide FE ADEME, carte 1
		Le Havre	1,1		Guide FE ADEME, carte 2
		Rouen	1,1		Guide FE ADEME, carte 3
		Nantes	0,9		Guide FE ADEME, carte 4
		La Rochelle	0,9		Guide FE ADEME, carte 5
		Bordeaux	0,9		Guide FE ADEME, carte 6
		Marseille	0,6		Guide FE ADEME, carte 7

(1) : 248 kWh/m<sup>2</sup>, sur la base de 1 kWh = 79,2 x 10<sup>-6</sup> tep (1 kWh = 3,6 MJ; 10<sup>3</sup> MJ = 0,022 tep)

### Divers

Eclairage	Eclairage des routes		5	kWh/m <sup>2</sup>	Estimation
	Eclairage des quais		5	kWh/m <sup>2</sup>	Estimation
	Eclairage des zones techniques		5	kWh/m <sup>2</sup>	Estimation

	Conteneurs	Vracs secs	Vracs liquides	Rouliers	Auto-carriers	Marchandises diverses	Passagers	Non affectable
Surface totale bâtiments bureaux (surface plancher)	244	250	238	244	244	244	244	7 000
Proportion chauffage fioul	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Proportion chauffage gaz								
Proportion chauffage électrique	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Surface totale éclairée (quais, aires de manutention..)	50 000	300 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	1 093 000

### Valeurs par défaut utilisées pour la filière conteneurs

- ✓ Poids moyen brut d'un EVP : 15 tonnes
- ✓ Proportion de conteneurs reefers : 6,2%
- ✓ Durée moyenne de stockage d'un reefer sur parc : 19,7 heures
- ✓ Consommation moyenne d'un reefer sur quai : 3,8 kWh/heure
- ✓ Proportion de conteneurs scannés : 3%
- ✓ Consommation d'énergie pour le scannage des EVP : 0,5 kWh/EVP scanné.

### ANNEXE 3 : DONNEES UTILISEES POUR LE VOLET MARITIME DU PASSAGE PORTUAIRE

#### Données navires

Filière	Navires	Motorisation de propulsion (kW)	Vitesse maximale	Motorisation auxiliaire (kW)	Propulseurs d'étrave (kW)	Soutes embarquées (en tonnes)	Puissance requise pour les chaudières
Conteneurs	PC 800 evp	7 910	18	2 100	500	440	82
	PC 1600 evp	14 360	20	4 800	800	1 400	261
	PC 2500 evp	21 300	22	7 560	1 100	2 500	467
	PC 5500 evp	53 100	25	8 100	2 200	4 670	872
	PC 8500 evp	68 800	25	11 500	2 500	7 340	1 371
	PC 10000 evp	72 200	26	12 200	2 500	7 550	1 410
Pétrole brut	VLCC	26 100	16	3 300		4 250	794
	Aframax	13 600	15	2 400		1 700	318
Produits pétroliers	Handy Product	9 140	15	4 600	1 000	610	114
	Small Tanker	4 090	13	1 580	600	290	54
Vracs secs	Capesize	17 200	16	2 400		3 000	560
	Panamax	10 000	15	1 060		1 350	252
	Handymax	8 340	15	1 800		1 000	187
	Handysize	6 900	14	1 350		660	123
Roulier	Navire roulier 2000ml	10 950	19	1 560	2 200	600	112
Passager	Ferry de jour	39 000	25	14 780	1 800	1 000	187
	Ferry de nuit	21 600	21	8 060	3 000	750	140

#### TAUX DE CHARGE MOYEN DE LA MOTORISATION DES NAVIRES DURANT UNE ESCALE

Filière	Navires	Motorisation principale	Motorisation auxiliaire		
		Taux de charge en manœuvre	Taux de charge en approche	Taux de charge en manœuvre	Taux de charge à quai
Conteneurs	PC 800 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
	PC 1600 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
	PC 2500 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
	PC 5500 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
	PC 8500 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
	PC 10000 evp	0,03	0,13	0,50	0,17
Pétrole brut	VLCC	0,08	0,13	0,45	0,67
	Aframax	0,08	0,13	0,45	0,67
Produits pétroliers	Handy Product	0,08	0,13	0,45	0,67
	Small Tanker	0,08	0,13	0,45	0,67
Vracs secs	Capesize	0,08	0,17	0,45	0,22
	Panamax	0,08	0,17	0,45	0,22
	Handymax	0,08	0,17	0,45	0,22
	Handysize	0,08	0,17	0,45	0,22
Roulier	Navire roulier 2000ml	0,09	0,15	0,45	0,30

## FACTEURS D'EMISSION DE CO<sub>2</sub> POUR LES NAVIRES OCEANIQUES

en g/kWh		CO <sub>2</sub>		
Filière	Navires	Motorisation de propulsion	Motorisation auxiliaire	Chaudière
Conteneurs	PC 800 evp	645,0	722	970
	PC 1600 evp	645,0	722	970
	PC 2500 evp	645,0	722	970
	PC 5500 evp	645,0	722	970
	PC 8500 evp	645,0	722	970
	PC 10000 evp	645,0	722	970
Pétrole brut	VLCC	645,0	722	970
	Aframax	645,0	722	970
Produits pétroliers	Handy Product	645,0	722	970
	Small Tanker	645,0	722	970
Vracs secs	Capesize	645,0	722	970
	Panamax	645,0	722	970
	Handymax	645,0	722	970
	Handysize	645,0	722	970
Roulier	Navire roulier 2000ml	677,0	722	970

## FACTEURS D'EMISSION DE NO<sub>x</sub> POUR LES NAVIRES OCEANIQUE

en g/kWh		NO <sub>x</sub>		
Filière	Navires	Motorisation de propulsion	Motorisation auxiliaire	Chaudière
Conteneurs	PC 800 evp	15,0	13	2,1
	PC 1600 evp	15,0	13	2,1
	PC 2500 evp	15,0	13	2,1
	PC 5500 evp	15,0	13	2,1
	PC 8500 evp	15,0	13	2,1
	PC 10000 evp	15,0	13	2,1
Pétrole brut	VLCC	15,0	13	2,1
	Aframax	15,0	13	2,1
Produits pétroliers	Handy Product	15,0	13	2,1
	Small Tanker	15,0	13	2,1
Vracs secs	Capesize	15,0	13	2,1
	Panamax	15,0	13	2,1
	Handymax	15,0	13	2,1
	Handysize	15,0	13	2,1
Roulier	Navire roulier 2000ml	15,0	13	2,1

## Teneurs maximales en soufre des combustibles marins

	Navires en approche, en sortie (moteurs principaux et moteurs auxiliaires)	Navires à quai	Navires de service
Dunkerque	1%	0,10%	1%
Rouen	1%	0,10%	1%
Le Havre	1%	0,10%	1%
Nantes	2,70%	0,10%	1%
La Rochelle	2,70%	0,10%	1%
Bordeaux	2,70%	0,10%	1%
Marseille	2,70%	0,10%	1%

## FACTEURS D'EMISSION DE SOx POUR LES NAVIRES OCEANIQUES

Filière	Navires	SOx		
		combustible à 2,7% de soufre (moyenne Europe)	combustible à 1% de soufre (zone SECA)	combustible à 1% de soufre (à quai)
Conteneurs	PC 800 evp	11,6	4,3	0,43
	PC 1600 evp	11,6	4,3	0,43
	PC 2500 evp	11,6	4,3	0,43
	PC 5500 evp	11,6	4,3	0,43
	PC 8500 evp	11,6	4,3	0,43
	PC 10000 evp	11,6	4,3	0,43
Pétrole brut	VLCC	11,6	4,3	0,43
	Aframax	11,6	4,3	0,43
Produits pétroliers	Handy Product	11,6	4,3	0,43
	Small Tanker	11,6	4,3	0,43
Vracs secs	Capesize	11,6	4,3	0,43
	Panamax	11,6	4,3	0,43
	Handymax	11,6	4,3	0,43
	Handysize	11,6	4,3	0,43
Roulier	Navire roulier 2000ml	11,6	4,3	0,43
Passager	Ferry de jour	11,6	4,3	0,43
	Ferry de nuit	11,6	4,3	0,43

## FACTEURS D'EMISSION POUR SERVICE AUX NAVIRES

	CO2	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2,5
Remorqueur (g/Kwh)	641,200	12,12	0,52	Voir Facteur d'Emission en particules		
Lamanage (kg/l)	2,645	0,0142821	0,0000849	0,0015343	0,0015343	0,0014116
Pilotine (kg/l)	2,645	0,0125948	0,0000849	0,0012186	0,0012186	0,0011211
Hélicoptère (kg/kg)	3,140	0,0062880	0,0000849	0,0012186	0,0001920	0,0001920

## FACTEURS D'EMISSION EN PARTICULES

Navigation / Catégorie de navires	Phase	Facteur d'émissions de TSP			Facteur d'émission de PM <sub>10</sub>			Facteur d'émission de PM <sub>2,5</sub>		
		Valeurs	Unités	Sources	Valeurs	Unités	Sources	Valeurs	Unités	Sources
Porte-conteneurs	Au port	6,7	kgTSP/t	ENTEC, 2002	6,365	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	6,03	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10,4	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,88	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9,36	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Vraquier (secs)	Au port	6,8	kgTSP/t	ENTEC, 2002	6,46	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	6,12	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10,6	kgTSP/t	ENTEC, 2002	10,07	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9,54	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Vraquier (liquides hors hydrocarbures)	Au port	10	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,5	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10,2	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,69	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9,18	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Pétrolier	Au port	9,6	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,12	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	8,64	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	9,7	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,215	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	8,73	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Roulier	Au port	6,3	kgTSP/t	ENTEC, 2002	5,985	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	5,67	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,5	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Transporteur de marchandises	Au port	6,5	kgTSP/t	ENTEC, 2002	6,175	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	5,85	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10,2	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,69	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9,18	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Transporteur de passagers	Au port	7,7	kgTSP/t	ENTEC, 2002	7,315	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	6,93	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	9,8	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,31	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	8,82	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Navire frigorifique	Au port	5,5	kgTSP/t	ENTEC, 2002	5,225	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	4,95	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	9,9	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,405	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	8,91	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Remorqueur	Au port	7,7	kgTSP/t	ENTEC, 2002	7,315	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	6,93	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	9,7	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,215	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	8,73	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
Dragueur	Au port	8,4	kgTSP/t	ENTEC, 2002	7,98	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	7,56	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001
	En manœuvre	10,1	kgTSP/t	ENTEC, 2002	9,595	kgPM <sub>10</sub> /t	TNO, 2001	9,09	kgPM <sub>2,5</sub> /t	TNO, 2001

■

## ANNEXE 4 : BIBLIOGRAPHIE

Titre	Source	Lien
LIPASTO – transport emission database Life Cycle Assessment of Products and Technologies (2009) , (pp. 134-142)	VTT	<a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2009/S262.pdf">http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2009/S262.pdf</a>
Guidelines for calculating personal/corporate carbon footprint in the UK. A source for transport emission factors in the UK. 2009 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting (2009)	DEFRA (The Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK)	<a href="http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/20090928-guidelines-ghg-conversion-factors.pdf">http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/20090928-guidelines-ghg-conversion-factors.pdf</a>
2008 Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors (2008)	DEFRA	<a href="http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/passenger-transport.pdf">http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/passenger-transport.pdf</a>
Reports on the transport sector. Climate for a transport change. TERM 2007: indicators tracking transport and environment in the European Union (2008)	EEA (European Environment Agency)	<a href="http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_1/">http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_1/</a>
Transport at a crossroads. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union (2009)	EEA	<a href="http://www.eea.europa.eu/publications/transport-at-a-crossroads">http://www.eea.europa.eu/publications/transport-at-a-crossroads</a>
Emission calculators to compare emissions and energy consumption of different transport modes in Europe. Separate calculators for passenger and freight transport.	UIC (International Union of Railways).	<a href="http://www.ecopassenger.org/">http://www.ecopassenger.org/</a> <a href="http://www.ecotransit.org/">http://www.ecotransit.org/</a>
Emission calculator for freight transport. NTM (Network for Transport and Environment).		<a href="http://www.ntm.a.se/ntmcalc/Default.asp">http://www.ntm.a.se/ntmcalc/Default.asp</a>
Information on the EU emissions standards for road vehicles.		<a href="http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php">http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php</a>
A database comprising emission factors for road vehicles.	Befa	<a href="http://www.hbefa.net/">http://www.hbefa.net/</a>