



REALISATION D'UNE PLATEFORME DE REPARATION NAVALE POUR MEGAYACHTS DE 4 000 t SUR LES CHANTIERS NAVALS DE LA CIOTAT

Gaz émis et Gaz à Effet de Serre

Janvier 2019



Sommaire

1. Les émissions de gaz à effet de serre par le trafic dans les chantiers navals	3
1.1. Les émissions dues au trafic sur la voirie considérée.....	3
1.2. L'évaluation des consommations énergétiques.....	5
2. La quantification des émissions des navires.....	6
2.1. Pour les moteurs des navires	6
2.2. Pour les générateurs des navires	7
2.3. L'estimation des flux émis par les navires en situation future.....	7
2.4. Le comparatif entre la situation actuelle et future	8

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données trafics ayant servi au calcul des émissions de GES	3
Tableau 2 : Émissions en tonnes d'équivalents CO ₂ par jour des GES considérés	4
Tableau 3 : Consommation moyennes de carburant en tonnes par jour	5
Tableau 4 : Facteurs d'émissions issues de l'EPA pour un mégayacht de 90 m.....	6
Tableau 5 : Émission de NOX moyenne pour un mégayacht de 90 m	6
Tableau 6 : Hypothèse des émissions pour un mégayacht de 90 m	6
Tableau 7 : Temps moyen de navigation dans l'avant-port et de manœuvre à quai	7
Tableau 8 : Estimation des flux (en kg) par navire en entrée et sortie	7
Tableau 9 : Estimation des flux (en kg) pour le trafic total annuel	7
Tableau 10 : Volume de navire en fonction de leur taille	8
Tableau 11 : Émission de NOX moyenne pour un mégayacht de 40 m	8
Tableau 12 : Hypothèse des émissions pour un mégayacht de 40 m	8
Tableau 13 : Temps moyen de navigation dans l'avant-port et de manœuvre à quai	9
Tableau 14 : Estimation des flux (en kg) par navire en entrée et sortie	9
Tableau 15 : Estimation des flux (en kg) pour le trafic.....	9

Liste des figures

Figure 1 : Émissions agrégées en tonnes d'équivalents CO ₂ par jour des trois GES considérés	4
Figure 2 : Évolution des consommations de carburant.....	5

1. Les émissions de gaz à effet de serre par le trafic dans les chantiers navals

Les GES contribuent au réchauffement climatique et leur émission doit être maîtrisée de manière à ne pas assister à une augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre, ce qui pourrait avoir des répercussions néfastes sur l'environnement et les écosystèmes.

En ce qui rapporte au secteur du transport routier, la combustion des carburants dans les moteurs produit des gaz dont le plus important est le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂). Ce gaz participe avec d'autres gaz au phénomène d'effet de serre, qui permet à une partie du rayonnement solaire d'être absorbée, puis réémise, cela provoquant le réchauffement de la surface de la terre et de l'atmosphère.

Chaque GES possède un certain pouvoir radiatif. Cette capacité de rayonnement dépend de la qualité chimique du gaz et de sa durée de vie dans l'atmosphère.

Les trois gaz à effet de serre dont les émissions ont été calculées aux horizons considérés sont les suivants :

- Le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique (CO₂) : Présent dans l'atmosphère dans une proportion d'approximativement égale à 0,0386 % en volume (soit 386 ppmv), ce gaz s'avère dangereux voire mortel, à partir d'une certaine concentration dans l'air. La valeur limite d'exposition est de 3 % sur une durée de 15 minutes. Cette valeur ne doit jamais être dépassée. Au-delà, les effets sur la santé sont d'autant plus graves que la teneur en CO₂ augmente. Ainsi, à 2 % de CO₂ dans l'air, l'amplitude respiratoire augmente. À 4 %, la fréquence respiratoire s'accélère. À 10 %, peuvent apparaître des troubles visuels, des tremblements et des sueurs. À 15 %, c'est la perte de connaissance brutale. À 25 %, un arrêt respiratoire entraine le décès.
- Le méthane (CH₄) : Son influence sur le climat est moins importante que celle du dioxyde de carbone mais elle reste préoccupante. Une molécule de méthane absorbe en moyenne 21 fois plus de rayonnement qu'une molécule de dioxyde de carbone sur une période de 100 ans, son potentiel de réchauffement global (PRG) est donc de 21 ; sur une échéance de 20 ans, son PRG est même de 62. Le méthane est considéré comme le troisième gaz responsable du dérèglement climatique.
- L'oxyde nitreux, ou protoxyde d'azote (N₂O) : Il s'agit du quatrième plus important GES dans sa contribution au réchauffement de la planète après les vapeurs d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄). Son PRG à 100 ans correspond à 310 fois celui du CO₂.

1.1. Les émissions dues au trafic sur la voirie considérée

La quantification des émissions en GES engendrées par le trafic dans le domaine d'étude est traitée dans cette partie. La quantification en GES a été effectuée à partir des données de l'étude de trafic d'Horizon Conseil, des données d'entrées de véhicules sur le site des chantiers navals fournies par LCS et au moyen de l'outil CopCETE, développé par le CEREMA.

Le tableau suivant présente les principaux paramètres que nous avons retenus pour faire les calculs sur les émissions des GES:

Scénario	Véhicule légers (dont utilitaires)	Poids lourds	Total
Situation actuelle	4 432	138	4 570
Situation future – phase travaux	4 594	166	4 760
Situation future – phase exploitation	5 500	170	5 670

Tableau 1 : Données trafics ayant servi au calcul des émissions de GES

Il est important de noter que dans le cadre de l'étude du trafic qui a été réalisée, l'impact du village d'entreprises a été pris en compte dans les flux de véhicules. Cela impacte donc les quantités de GES que nous allons aborder par la suite.

Le graphique suivant présente les émissions agrégées en kilogrammes d'équivalent CO₂ par heure des trois GES considérés (CO₂, CH₄ et N₂O) pour :

- L'état actuel ;
- L'état futur qui comprend :
 - La phase chantier sur 38 mois
 - La phase d'exploitation

Cela comprend les véhicules légers (et utilitaires) ainsi que les poids lourds avec les deux types d'énergies confondues (essence et diesel).

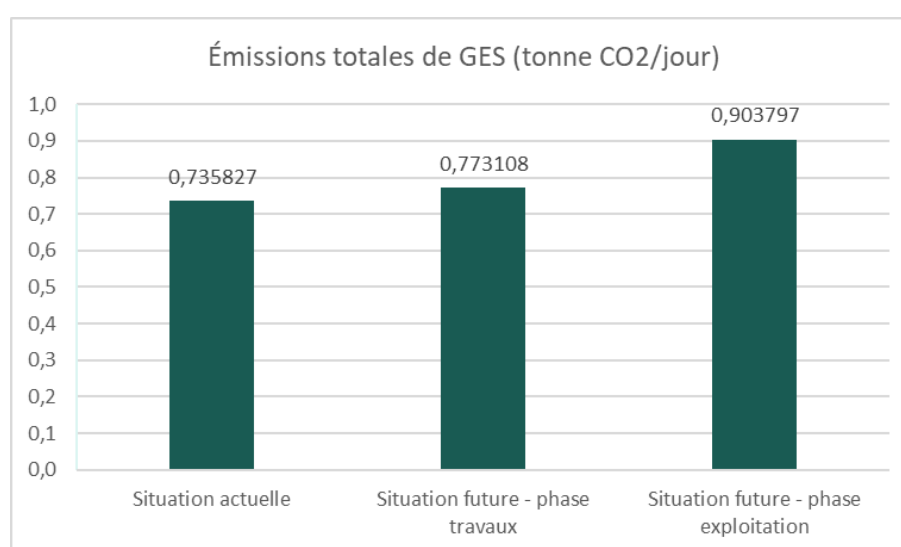


Figure 1 : Émissions agrégées en tonnes d'équivalents CO₂ par jour des trois GES considérés

On constate que les émissions de GES les plus importantes sont obtenues avec le scénario portant sur la phase exploitation. Effectivement, ce scénario représente une augmentation des GES émis de 23 % par rapport à la situation actuelle. Le scénario de phase travaux quant à lui représente une augmentation de 5 % par rapport à la situation actuelle.

Le tableau ci-dessous présente les émissions, en tonnes d'équivalents CO₂ par jour des GES considérés (CO₂, CH₄, N₂O) pour les scénarios examinés. Nous avons appliqué le PGR à 100 ans (issus du 5e rapport du GIEC) pour le CH₄ (PGR de 30) et le N₂O (PGR de 265) afin d'obtenir les émissions tonnes d'équivalents CO₂ par jour.

	Situation actuelle	Situation future - phase travaux	Situation future - phase exploitation
CO ₂ t/jour	0.729008	0.765992	0.895585
CH ₄ t/jour	0.000298	0.000280	0.000317
N ₂ O t/jour	0.006521	0.006836	0.007895
Total	0.735827	0.773108	0.903797

Tableau 2 : Émissions en tonnes d'équivalents CO₂ par jour des GES considérés

On constate que :

- Les émissions des trois GES considérés augmentent entre la situation actuelle et la situation en phase d'exploitation ;
- Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) augmentent de 5 et 27 % à l'horizon des scénarios travaux et exploitation
- Concernant le méthane (CH₄), les émissions baissent de 6 % à l'horizon de la phase travaux. Une augmentation de 6 % est ensuite attendue pour la phase exploitation ;
- Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) augmentent de 5 et 21% à l'horizon des scénarios travaux et exploitation.

En conclusion, les émissions de GES avec le projet aux horizons futurs sont plus importantes que celles observées en situation actuelle. Ces augmentations sont en parties liées au projet de Plateforme mégayachts 4 000 t. Les émissions provenant du trafic du village d'entreprises généreront également des émissions de GES, participant ainsi à cette augmentation des GES sur le site des chantiers navals.

1.2. L'évaluation des consommations énergétiques

Le tableau suivant présente les consommations énergétiques moyennes (en tonnes/jour), calculées à partir des données fournies par LCS sur les véhicules entrant sur le site des chantiers navals à l'aide du logiciel CopCETE.

Scénario	Paramètre consommé		
	Essence consommée (t/jour)	Gasoil consommé (t/jour)	Carburant total consommé
Situation actuelle (2018)	0.025132	0.180967	0.206099
Situation future Phase travaux (2020)	0.025874	0.208894	0.234768
Situation future Phase exploitation (2022)	0.031589	0.240173	0.271763

Tableau 3 : Consommation moyennes de carburant en tonnes par jour

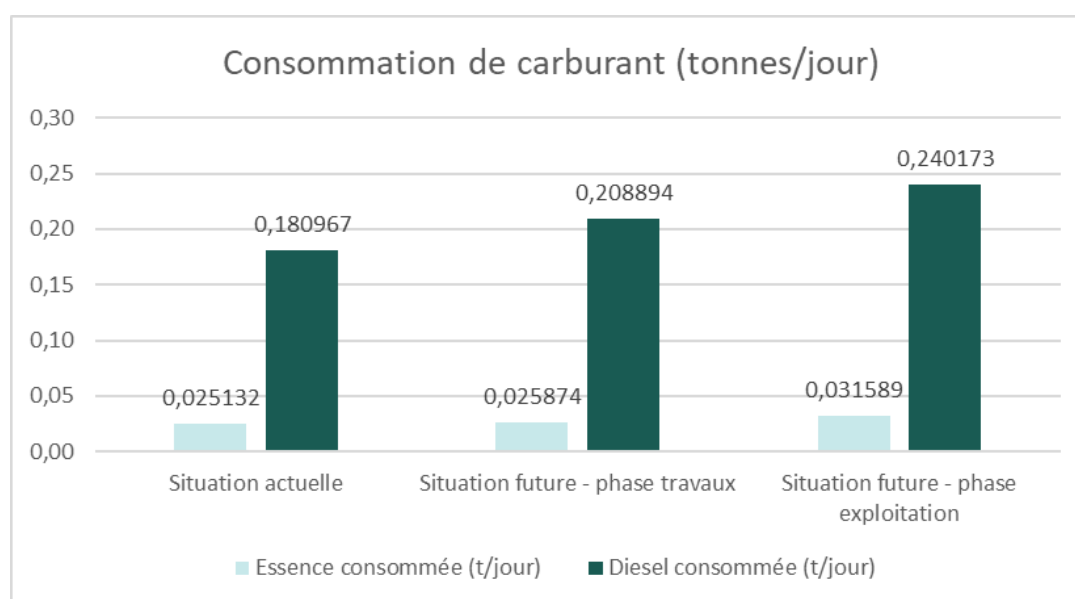


Figure 2 : Évolution des consommations de carburant

On constate qu'au niveau de la zone du projet, la consommation de carburant augmente de 14 % durant la phase travaux du projet. Pour la période d'exploitation, c'est une hausse de 32% qui est attendue. Cette augmentation importante doit être nuancée vis-à-vis du projet de plateforme mégayachts 4 000 t par l'impact du village d'entreprises qui générera du trafic supplémentaire, impactant ainsi la consommation sur l'ensemble du site des chantiers navals

2. La quantification des émissions des navires

2.1. Pour les moteurs des navires

Pour le calcul des émissions polluantes des navires, il a été retenu un bateau mégayachts de taille moyenne (90m) faisant mouvement dans le port pour rejoindre les quais de la plateforme. Le moteur retenu est un MTU Diesel Engines 16V 4000 M93/M93L de 4 litres de cylindrée par cylindre Rpm avec pour les manœuvres une vitesse N de 700 tours/mn.

Les facteurs d'émissions retenus sont issus de l'EPA (Environmental Protection Agency), notamment du Guide de référence des émissions standards

Cat.	Tier	Cylindrée (L/cylindre)	Puissance kW	Vitesse N (tours/mn)	NOx (g/kW/h)	H (g/k /h)	PM (g/kW/)	CO (g/kW/h)
C2	I	>= 2.5	>= 37	130 <=rpm<2000	$45 \times N^{-0.20}$	-	-	-

Tableau 4 : Facteurs d'émissions issues de l'EPA pour un mégayacht de 90 m

- Le facteur d'émission pour Nox est le suivant :

Nombre de tour N	Nox (g/kWh)	kw	rejet total en gr/hr
700	12,13	5 880	71 379

Tableau 5 : Émission de NOX moyenne pour un mégayacht de 90 m

- Le facteur d'émission pour PM₁₀

$$EF = 0,23 + [BSFC \times 7 \times 0,02247 \times (\text{teneur en soufre} - 0,0024)]$$

BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) : indice de l'efficacité énergétique d'un moteur égal au taux de consommation de carburant divisé par la puissance du moteur (BSFC = **230** pour le type de moteur considéré).

- Le facteur d'émission pour SO₂

$$EF = BSFC \times 2 \times 0,97753 \times \text{teneur en soufre}$$

Hypothèses : 97,753 % des sulfures contenus dans le fuel sont convertis en SO₂ ; prise en compte du poids moléculaire entre le SO₂ et les sulfures.

- Le facteur d'émission pour CO₂

$$EF = BSFC \times 0,868 \times 3,667$$

Hypothèses : carbone contenu dans le fuel égal à 86,8 du poids du carburant et ratio des poids moléculaires CO₂ /C égal à 3,667

So ₂ (g/kWh)	PM ₁₀	CO ₂ (g/kWh)	Nox(g/kWh)
15.74	1.41	732	12.13

Tableau 6 : Hypothèse des émissions pour un mégayacht de 90 m

2.2. Pour les générateurs des navires

Ces générateurs diesel permettent d'assurer l'ensemble des besoins énergétiques des navires à quai : principalement l'éclairage, le chauffage, l'air conditionné, l'eau chaude, la production de vapeur, mais aussi dans certains cas, la température contrôlée des conteneurs ou des autres marchandises, les pompes de ballastage, les équipements de manutention, treuils d'amarrage. Dans le cas présent, les navires disposeront de réseau à quai (eau, électricité, climatisation) et n'auront donc pas besoin de leur générateur diesel.

2.3. L'estimation des flux émis par les navires en situation future

Le projet de plateforme 4000 t devrait générer un trafic annuel de 30 mégayachts.

Par polluant, l'estimation quantitative des flux s'exprime sous la forme $E \times M \times P \times T$ avec :

- E est le facteur d'émission exprimé par unité de travail (kWh) et dépend du régime de fonctionnement du moteur (exprimé en fraction de la puissance nominale),
- M est le nombre de mouvements pour chaque type de navire,
- P est la puissance nominale du moteur,
- T est le temps passé par type de régime moteur (croisière, lent, manœuvres, arrêt)

Il a été considéré une vitesse de manœuvre de l'ordre de 15 % de la puissance nominale.

Le temps moyen de manœuvre (accostage et appareillage) a été estimé de la manière suivante :

	Temps de navigation dans l'avant-port et le chenal	Temps de manœuvres à quai
Vitesse de croisière lente	10 mn	
Manœuvre		20 mn

Tableau 7 : Temps moyen de navigation dans l'avant-port et de manœuvre à quai

L'estimation des flux (en kg) par navire (entrée ou sortie) est donc la suivante :

	SO ₂	NO _x	HC	PM ₁₀	CO	CO ₂
Chenal	2,4	1,8	0,3	0,2	0,8	109,8
Manœuvre	4,7	3,6	0,6	0,4	1,5	217,4
Total	7,0	5,4	0,9	0,6	2,2	327,2

Tableau 8 : Estimation des flux (en kg) par navire en entrée et sortie

L'estimation des flux (en kg) pour le trafic attendu est donc la suivante :

30 entrées et 30 sorties de navires	SO ₂	NO _x	HC	PM ₁₀	CO	CO ₂
	420	324	54	36	132	19632

Tableau 9 : Estimation des flux (en kg) pour le trafic total annuel

2.4. Le comparatif entre la situation actuelle et future

En 2018, le nombre de bateaux accueillis sur les chantiers navals s'élève à 147 bateaux suivant la répartition de taille suivante :

Longueur en m	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	+ 130
Nbre de navires	12	22	28	32	25	14	8	3	1	1	0	0	1

Tableau 10 : Volume de navire en fonction de leur taille

La taille moyenne des bateaux sur l'année 2018 se situe autour de 40 m. il est retenu dans les hypothèses de calcul.

Le moteur retenu est un MTU Diesel Engines 10V 2000 de 2.5 litres de cylindrée par cylindre Rpm avec pour les manœuvres une vitesse N de 750 tours/mn. Pour ce type de navire, le facteur d'émission est identique à celui pris pour le navire futur présenté ci-avant.

- Le facteur d'émission pour Nox est donc le suivant :

Nombre de tour N	Nox (g/kWh)	kw	rejet total en gr/hr
750	11,97	1 470	17 600

Tableau 11 : Émission de NOX moyenne pour un mégayacht de 40 m

- Le facteur d'émission pour PM₁₀

$$EF = 0,23 + [BSFC \times 7 \times 0,02247 \times (\text{teneur en soufre} - 0,0024)]$$

BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) : indice de l'efficacité énergétique d'un moteur égal au taux de consommation de carburant divisé par la puissance du moteur (BSFC = **210** pour le type de moteur considéré).

- Le facteur d'émission pour SO₂

$$EF = BSFC \times 2 \times 0,97753 \times \text{teneur en soufre}$$

Hypothèses : 97,753 % des sulfures contenus dans le fuel sont convertis en SO₂ ; prise en compte du poids moléculaire entre le SO₂ et les sulfures.

- Le facteur d'émission pour CO₂

$$EF = BSFC \times 0,868 \times 3,667$$

Hypothèses : carbone contenu dans le fuel égal à 86,8 du poids du carburant et ratio des poids moléculaires CO₂ /C égal à 3,667

SO ₂ (g/kWh)	PM ₁₀	CO ₂ (g/kWh)	Nox(g/kWh)
14.36	1.30	668.42	11.97

Tableau 12 : Hypothèse des émissions pour un mégayacht de 40 m

Le temps moyen de manœuvre (accostage et appareillage) a été estimé équivalent à celui du bateau projet :

	Temps de navigation dans l'avant-port et le chenal	Temps de manœuvres à quai
Vitesse de croisière lente	10 mn	
Manœuvre		20 mn

Tableau 13 : Temps moyen de navigation dans l'avant-port et de manœuvre à quai

L'estimation des flux (en kg) par navire (entrée ou sortie) est donc la suivante :

	SO ₂	NO _x	HC	PM ₁₀	CO	CO ₂
Chenal	2.2	1.8	0.3	0.2	0.8	100.2
Manœuvre	4.3	3.6	0.6	0.4	1.5	198.4
Total	6.4	5.4	0.9	0.6	2.2	298.6

Tableau 14 : Estimation des flux (en kg) par navire en entrée et sortie

L'estimation des flux (en kg) pour le trafic attendu est donc la suivante :

147 entrées et 147 sorties de navires	SO ₂	NO _x	HC	PM ₁₀	CO	CO ₂
	1 887	1 573	263	171	657	87 793

Tableau 15 : Estimation des flux (en kg) pour le trafic

