Évaluation des besoins des remorqueurs d'urgence

Septembre 2018

Clear Seas
CENTRE POUR LE TRANSPORT MARITIME RESPONSABLE

À propos de nous

Clear Seas – Centre pour le transport maritime responsable, est un centre de recherche indépendant, à but non lucratif, qui fournit une information objective et fondée sur des faits sur le transport maritime au Canada.

Sous la direction d'un conseil d'administration et avec l'assistance d'un Comité consultatif de recherche, Clear Seas concentre ses efforts sur la détermination et la diffusion de pratiques exemplaires pour assurer la sûreté et la durabilité du transport maritime au Canada, en tenant compte des impacts humains, environnementaux et économiques du secteur maritime.

Tous les rapports de Clear Seas sont diffusés et peuvent être consultés à **clearseas.org/fr/**.

À propos de ce rapport

Ce rapport présente les résultats d'une évaluation des besoins des navires de remorquage d'urgence de gros bâtiments avec fardage élevé. Cette étude a été menée par Vard Marine Inc. (VARD), pour le compte de Clear Seas - Centre pour le transport maritime responsable (Clear Seas) et s'insère dans le cadre du projet des Couloirs de navigation maritime, commandité par Clear Seas pour offrir aux intervenants, aux parties intéressées et aux organismes responsables une appréciation des risques et des problèmes liés aux interventions portant sur des navires désemparés, en particulier au large de la côte du Pacifique du Canada.

Conseil d'administration de Clear Seas – Centre pour le transport maritime responsable

Bud Streeter, Président
Président sortant, Lloyd's Register Canada (Halifax, N.-É.)

Kim Baird, O.C., Vice-présidente
Kim Baird, propriétaire du cabinet Kim Baird Strategic Consulting, et ancienne négociatrice en chef de la Première Nation Tsawwassen (Tsawwassen, C.-B.)

Christopher Causton
Ambassadeur itinérant, capitaine de Victoria Harbour Ferries, et ancien maire d'Oak Bay (Victoria, C.-B.)

John W. Hepburn, Ph. D. MSRC
Vice-président, recherche, Institut canadien de recherches avancées (Toronto, Ont.)

Serge Le Guellec
Président et directeur général, Transport Desgagnés Inc. (Québec, Qc.)

Kate Moran, Ph. D.
Présidente et directrice exécutive, Ocean Networks Canada, et professeure, Faculté des sciences, Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

Roger Thomas
Ancien vice-président exécutif, Amérique du Nord, Nexen Inc. (Calgary, Alta.)

Duncan Wilson
Vice-président, Responsabilité sociale d'entreprise, Administration portuaire de Vancouver (Vancouver, C.-B.)

Message du directeur exécutif

Quand un navire commercial est désemparé et dérive au large, en vue d'effectuer une intervention d'urgence efficace, les remorqueurs doivent avoir un équipement possédant une capacité suffisante pour prêter secours de manière utile. Le remorqueur d'urgence doit être en mesure de parvenir sur les lieux de l'incident dans des délais opportuns, de réussir à attacher un câble de remorque et doit être équipé d'une puissance suffisante pour remorquer le bâtiment désemparé à un endroit sûr afin d'effectuer une évaluation des dommages et des réparations.

Ce rapport, qui forme le deuxième élément du projet des Couloirs de navigation maritime, contient les résultats d'une étude commanditée par Clear Seas et menée par Vard Marine Inc. d'Ottawa, qui vise à examiner les capacités que doit posséder un seul remorqueur d'urgence pour pouvoir venir efficacement en aide à un navire désemparé qui dérive vers la côte du Pacifique du Canada.

Le rapport a pour objectif de constituer un outil d'information pour les décideurs, les professionnels dans le domaine des interventions maritimes et le public au sujet des capacités étendues qui sont nécessaires dans le cas de remorquage d'urgence dans l'océan du Pacifique Nord.

L'étude de Clear Seas publiée en mars 2018, Dérive de navires et intervention : Pacifique, a examiné le risque de dérive et d'échouement sur la côte du Pacifique du Canada avant l'arrivée de secours dans le cas d'un navire en situation de détresse par suite de pannes mécaniques, de collision ou d'autres causes. Inspirée en partie d'incidents survenus en 2014 qui avaient été la scène de la dérive du navire *M/V Simushir* et de son remorquage d'urgence, au large de Haida Gwaii, en Colombie-Britannique, et de l'échouement de *M/V John 1* à Rose Blanche, en Terre-Neuve, cette étude a montré que l'acquisition et le déploiement de ressources en matière de sauvetage (autrement dit, de remorqueurs d'urgence ou, plus généralement, de remorqueurs) pouvaient diminuer de beaucoup le profil de risque de la côte du Pacifique du Canada. Cette étude a, en outre, soulevé le point que, en dépit de la relative rareté de tels événements, ils pouvaient provoquer des impacts importants.

Dans le cadre d'un suivi de cette étude, le rapport actuel décrit ce que les « secours » devraient être en mesure d'accomplir. Il détaille les caractéristiques que devrait posséder un remorqueur d'urgence pour être efficace lors de sauvetages de sept différents types de navires qui circulent habituellement au large de la côte de la Colombie-Britannique, qu'ils fassent route vers des ports canadiens ou qu'ils effectuent un passage entre d'autres pays.

Les sept types de navires ont été choisis parce qu'ils sont représentatifs du trafic commercial, présent et futur, au large de la côte du Pacifique du Canada ou parce qu'ils ont tendance à être dotés d'importantes surfaces de fardage (zone du navire au-dessus de la ligne de flottaison) et sont, par conséquent, plus susceptibles de subir des dérives provoquées par des vents élevés que d'autres navires. L'analyse effectuée pour l'étude de Clear Seas Dérive de navires et intervention : Pacifique établit que la charge que subit un navire désemparé sous l'impact du vent a, de loin, le plus d'effet sur la vitesse de la dérive et sur la trajectoire du navire. Par conséquent, les bâtiments ayant un fardage élevé sont les plus susceptibles d'être victimes de taux de dérive accélérés et d'échouement potentiel s'ils sont désemparés. Leur taille importante et leur profil augmentent également la difficulté de les prendre en charge et de les manœuvrer pendant un remorquage.

L'étude ne soulève pas la question de la probabilité de panne ou d'accident d'un bâtiment; le choix de ces navires ne doit en aucune manière suggérer quoi que ce soit concernant leur fiabilité. Le rapport reconnaît qu'il s'agit d'événements très peu fréquents; toutefois, les incidents du *Simushir* et du John 1 ainsi que les récents cas de dérive du *MOL Prestige (2018)* et du Laura Maersk (2017) dans le Pacifique Nord, dont l'échouement a été prévenu grâce à des ressources de sauvetage d'urgence, indiquent clairement que la capacité de remorquage en cas d'urgence contribue à la sécurité et à la durabilité d'un réseau de transport maritime vital pour le bien-être et la prospérité du Canada et de ses partenaires commerciaux. Ce rapport répond à la question suivante : quelle capacité ont ces remorqueurs de manœuvrer dans les conditions hostiles qui sévissent au large de la côte du Pacifique et d'être efficaces dans des interventions en cas de dérive de navires.

Bien que les exigences de remorquage aient été déjà analysées par d'autres études sur des navires particuliers qui étaient associées à des projets précis ou à des conditions climatiques extrêmes et à des navires de plus petite taille, ces études n'ont pas pris en compte les pires cas de figure en ce qui concerne de gros bâtiments et des conditions climatiques hostiles. Cette étude examine plus précisément les caractéristiques qui permettent à un remorqueur de sauvetage d'apporter efficacement des secours dans l'environnement hostile de la Zone économique exclusive (ZEE) du Pacifique du Canada. L'analyse utilise des données météorologiques antérieures et une modélisation informatique pour déterminer les capacités requises pour des interventions sous des conditions climatiques et océaniques variées. Le rapport va au-delà de la simple mention des exigences en matière de puissance de propulsion et de traction au point fixe et met en lumière d'autres caractéristiques comme le rayon d'action et l'autonomie d'un navire, ainsi que les facteurs humains. L'analyse ne prend pas en considération le cas de deux remorqueurs d'urgence ou plus qui prennent part à une intervention ayant trait à un navire désemparé; une intervention mettant en jeu plusieurs remorqueurs d'urgence constitue un scénario complexe qui demande plus d'examen.

L'analyse étudie cinq conditions climatiques du 50e au 99e percentile et établit que les exigences pour les remorqueurs d'urgence varient de manière importante en fonction de l'intensité des conditions météorologiques. Par exemple, pour être efficaces dans des conditions météorologiques du 99e percentile, certaines des exigences devront être de 50 % supérieures à celles qui sont requises au niveau du 95e percentile. Même si le scénario du pire des cas qui met en jeu des conditions météorologiques de gros temps et ayant trait à des bâtiments très importants a peu de chances de se produire, la compréhension des besoins en matière d'intervention est importante pour la planification et la capacité de décision. Le rapport conclut qu'un remorqueur d'urgence doit être un gros bâtiment puissant, de taille et de tenue de mer telles qu'il pourrait être utilisé dans d'autres buts comme des opérations de souveraineté ou de recherche, outre le remorquage d'urgence.

Dans ce rapport, l'étude d'une gamme de types de navires est précieuse non seulement pour évaluer les capacités variées de remorqueurs d'urgence, mais aussi pour estimer les capacités différentes de bâtiments de grosse taille de recevoir et de subir un remorquage. Seuls les navires-citernes sont légalement tenus par l'Organisation maritime internationale d'avoir des forces de traction au point fixe dotés d'une solidité suffisante pour soutenir un remorquage en cas d'urgence. La plupart des autres navires ont des points d'attachement qui sont appropriés pour des manœuvres d'accostage, mais qui pourraient être insuffisantes dans des situations d'urgence de haute mer.

Les résultats présentés dans ce rapport sont tirés de la navigation qui transite la côte du Pacifique du Canada, mais les conclusions sont pertinentes ailleurs au Canada car des types de navires similaires sont soumis à des conditions comparables de vent et de vagues dans la région de l'Atlantique.

Résumé analytique

Ce rapport présente les résultats d'une évaluation des besoins en cas de remorquage d'urgence s'il s'agit de fardage élevé et de gros navires. Cette évaluation a été entreprise par Vard Marine Inc. (VARD) pour le compte de Clear Seas - Centre pour le transport maritime responsable (Clear Seas). Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une série commanditée par Clear Seas sur le projet des Couloirs de navigation maritime pour offrir aux intervenants, aux parties intéressées et aux organismes responsables une compréhension des risques et des questions en jeu lors d'interventions en cas de navires désemparés, en particulier au large de la côte du Pacifique du Canada.

Ce travail a porté sur trois principaux volets :

1. La collecte de données pour analyser des bâtiments d'intérêt choisis;
2. L'évaluation des exigences en matière de capacité de remorquage d'urgence pour ces bâtiments;
3. L'élaboration d'exigences en matière de conception et de fonctionnement pour des bâtiments d'intervention d'urgence potentiels.

Sept navires ont été choisis pour représenter les navires porte-conteneurs, les méthaniers (transporteurs de GNL), les transporteurs de véhicules, les navires de passagers (navires de croisière), les vraquiers et les pétroliers. Les navires retenus naviguent actuellement dans les eaux côtières canadiennes ou devraient le faire prochainement. Les bâtiments retenus sont supposés illustrer les pires cas, ou être pratiquement les pires candidats pour des scénarios de remorquages d'urgence. Les scénarios de la pire éventualité, du point de vue du remorquage, sont déterminés par des conditions météorologiques de gros temps et mettent en jeu des navires ayant un fardage important (terme qui désigne la surface verticale au dessus de la ligne de flottaison du navire, qui agit comme une voile). L'analyse a utilisé des données concernant des vents et des vagues de force variée sur la côte du Pacifique du Canada en vue de déterminer les besoins de remorquage dans des circonstances diverses.

Les exigences concernant la force de remorquage, mesurées en puissance de traction, ont été analysées pour faire tourner le navire face au vent, pour maintenir sa position et pour avancer lentement contre le vent et face à la vague. On a effectué une simulation de la manœuvre visant à tourner pour montrer le temps que l'opération demandait et la dérive sous le vent. Les capacités requises par un remorqueur d'urgence ont alors été évaluées en fonction des forces maximales, en tenant compte de la perte d'efficacité de remorquage dans un état de mer de conditions plus agitées. Les résultats sont illustrés dans la Figure 1; dans le scénario de la pire éventualité, ces forces peuvent dépasser 200 tonnes pour un très grand bâtiment porte-conteneurs chargé.

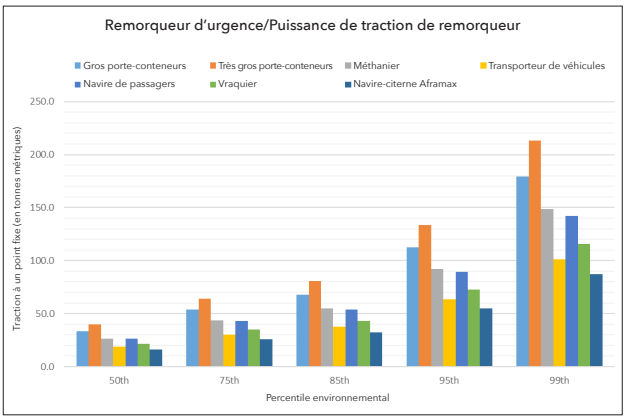


Figure 1. Puissance de traction requise en fonction de conditions climatiques

Le rapport décrit les caractéristiques désirables chez les remorqueurs d'urgence, en soulignant le besoin d'avoir des navires relativement importants et puissants dotés d'une équipe expérimentée et d'un équipement suffisant pour affronter les conditions de la côte du Pacifique. Il mentionne également que les navires autres que les navires-citernes ne sont pas obligés par les règlements d'être équipés de passe-cordes ou d'équipement de remorquage de force suffisante en cas de situation de remorquage d'urgence dans le pire des cas.

Table des matières

Conseil d'administration de Clear Seas – Centre pour le transport maritime responsable 1

Message du directeur exécutif 2

Résumé analytique 4

1.0 Introduction 7
- 1.1 Objet et portée 7
- 1.2 Structure et organisation 7

2.0 Collecte de données 8
- 2.1 Navires d'intérêt 8
- 2.2 Sources de données et suppositions 13
  - 2.2.1 Bâtiments 13
  - 2.2.2 Conditions météorologiques et océaniques 14
- 2.3 Considérations supplémentaires 16
  - 2.3.1 Efficacité de remorquage des remorqueurs d'urgence 16
  - 2.3.2 Capacités de navires remorqués 17

3.0 Analyse et évaluation 20
- 3.1 Méthodologies 20
  - 3.1.1 État de stabilité 20
  - 3.1.2 Simulations de virages 24
- 3.2 Résultats 26
  - 3.2.1 Résultats d'état stable 26
  - 3.2.2 Résultats de simulation de virages 27
  - 3.2.3 Figures de résumés des résultats 33

4.0 Exigences en matière de remorqueurs 36
- 4.1 Taille de navire 36
- 4.2 Système de propulsion 39
- 4.3 Vitesse de navire 40
- 4.4 Autonomie et rayon d'action 41
- 4.5 Treuils et équipement de remorquage 41
- 4.6 Certification et formation de l'équipage 43
- 4.7 Restrictions concernant les équipages 44
- 4.8 Autres considérations 46

5.0 Sommaire 47

6.0 Références bibliographiques 48

Appendix A (en anglais seulement) 49

7.0 Appendix A.1: Beam Seas Forces 49
7.1 Total Forces 49
7.2 Wind Forces 49
7.3 Wave Forces 50

8.0 Appendix A.2: Head Seas Forces 51
8.1 Total Forces 51
8.2 Wind Forces 51
8.3 Wave Forces 52

9.0 Appendix A.3: Towing Condition Forces 53
9.1 Total Forces 53
9.2 Wind Forces 53
9.3 Wave Forces 54
9.4 Current Forces 55

10.0 Appendix A.4: Results By Vessel 56
10.1 Large Container Ship 56
10.2 Very Large Container Ship 56
10.3 LNG Carrier 56
10.4 Vehicle Carrier 57
10.5 Passenger Ship 57
10.6 Bulk Carrier 57
10.7 Aframax Tanker 57

Appendix B (en anglais seulement) 58

11.0 Appendix B.1: Large Container Ship Simulation Results 58
11.1 Effect of Tow Force 58
11.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 61

12.0 Appendix B.2: Very Large Container Ship Simulation Results 66
12.1 Effect of Tow Force 66
12.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 69

13.0 Appendix B.3: LNG Carrier Simulation Results 74
13.1 Effect of Tow Force 74
13.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 77

14.0 Appendix B.4: Vehicle Carrier Simulation Results 82
14.1 Effect of Tow Force 82
14.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 85

15.0 Appendix B.5: Passenger Ship Simulation Results 90
15.1 Effect of Tow Force 90
15.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 93

16.0 Appendix B.6: Bulk Carrier Simulation Results 98
16.1 Effect of Tow Force 98
16.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 101

17.0 Appendix B.7: Aframax Tanker Simulation Results 106
17.1 Effect of Tow Force 106
17.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force 109

Évaluation des besoins des remorqueurs d'urgence

1.0 Introduction

Ce rapport présente les résultats d'une évaluation des besoins de navires de remorquage d'urgence pour prendre en charge de gros bâtiments dotés de fardage élevé. Cette évaluation a été entreprise par Vard Marine Inc. (VARD) pour le compte de Clear Seas – Centre pour le transport maritime responsable (Clear Seas). Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une série commanditée par Clear Seas pour offrir aux intervenants, aux parties intéressées et aux organismes responsables une compréhension des risques et des questions en jeu lors d'interventions en cas de navires désemparés, notamment au large de la côte du Pacifique du Canada. Cette étude complète l'analyse qui figure dans le rapport de Clear Seas « Dérive de navires et intervention : Pacifique » et offre des aperçus sur les conditions requises pour prévenir un bâtiment désemparé de dériver. En particulier, cette étude détermine quelles capacités de remorquage et de manœuvre sont potentiellement nécessaires pour un remorqueur d'urgence prenant part seul à une intervention dans une situation de remorquage d'urgence. Les navires commerciaux choisis par Clear Seas pour l'analyse représenteraient la pire ou pratiquement la plus grave des éventualités si le navire est désemparé dans des conditions météorologiques graves, sur la base de la navigation maritime actuelle et anticipée dans les eaux territoriales du Canada et dans la Zone économique d'exclusion (ZEE).

1.1 Objet et portée

L'objet de cette évaluation des capacités nécessaires pour des remorqueurs d'urgence constituait à déterminer les caractéristiques que devait posséder un navire de remorquage ou un navire extracôtier pour effectuer une intervention efficace dans la pire des éventualités, ou à peu de chose près, dans le cas d'un bâtiment important, doté d'un fardage élevé, qui dérive, désemparé, vers la côte du Pacifique du Canada dans des conditions de forts vents et de hautes vagues. Les résultats de cette analyse et le projet de plus grande envergure des Couloirs de navigation maritime pourraient servir de base d'information pour des décisions en matière de politiques au sujet de la gestion de la navigation maritime, du choix et du positionnement de ressources de sauvetage, et d'autres mesures d'atténuation de risques qui ont pour objet de réduire le potentiel d'accidents le long de la côte du Pacifique du Canada.

1.2 Structure et organisation

La structure de ce rapport reflète les trois tâches principales accomplies par VARD :

1. La collecte de données pour analyser les navires d'intérêt choisis
2. L'évaluation de besoins en matière de capacité de remorquage en cas d'urgence pour ces navires
3. L'élaboration d'exigences ayant trait à la conception et au fonctionnement de navires potentiels d'intervention d'urgence.

La deuxième partie comprend une information détaillée concernant les types de navires choisis, les forces des vents et des vagues étudiées dans l'analyse, et les éléments ayant trait à l'efficacité de la capacité de remorquage, ainsi que la capacité des navires à recevoir un remorquage et à en soutenir l'impact. La troisième partie comprend la méthodologie utilisée et les résultats de l'analyse menée pour simuler une stabilité opérationnelle et les étapes de virage pour les types de navires choisis, chacun dans

les cinq cas de figure ayant trait aux vents et aux vagues. La quatrième partie décrit les points étudiés pour déterminer les exigences applicables aux navires de remorquage d'urgence : par ex., la taille du navire, sa vitesse, son autonomie et son rayon d'action; le système de propulsion, l'équipement ayant trait au remorquage, et la formation de l'équipage; et d'autres facteurs qui influent sur l'intervention en cas d'urgence. La cinquième partie résume les conclusions, et les annexes fournissent les détails des résultats de simulations. (Veuillez noter que les annexes sont disponible seulement en anglais).

Les unités utilisées pour présenter les données dans ce rapport observent les pratiques habituelles; la plupart des forces et des capacités de remorquage sont citées en kilonewtons (kN) et la puissance de traction à un point fixe et de treuils de remorquages est indiquée en tonnes métriques (tonnes). Quand la clarté de la présentation l'exige, les deux valeurs sont présentées ensemble. Le taux de conversion du kilonewton à la tonne métrique est de 9,81 kN = 1 tonne de puissance de traction.

2.0 Collecte de données

2.1 Navires d'intérêt

Sept bâtiments d'intérêt ont été choisis pour l'évaluation. Six d'entre eux comptent parmi les plus gros bâtiments dans leur classe respective qui font escale dans des ports de l'Ouest du Canada ou qui pourraient le faire à l'avenir selon les itinéraires actuels de navigation de navires et les prévisions à ce sujet.

- Gros porte-conteneurs (14 500 EVP ou unité Équivalent Vingt Pieds)
- Très gros porte-conteneurs (21 413 EVP)
- Méthanier ou transporteur de GNL (~265 000 m^3)
- Transporteur de véhicules (138 000 m^3)
- Navire de passagers (~4 000 passagers)
- Vraquier (221 478 m^3)
- Navire-citerne Aframax (124 167 m^3)

Ces choix ne signifient pas que ces navires de référence sont eux-mêmes considérés comme présentant un risque élevé dans un accident – ils sont tout simplement utilisés à titre d'illustration. Ces navires sont illustrés de la Figure 2 à la Figure 8. Un résumé des détails précis est donné dans la Table 1.

Figure 2. « Gros porte-conteneurs » [Image avec l'autorisation de Claus Gaser, MarineTraffic.com]

Figure 3. « Très gros porte-conteneurs » [Image avec l'autorisation de KARooL, MarineTraffic.com]

Figure 4. « Méthanier » [Image avec l'autorisation de MarineTraffic.com]

Figure 5. « Transporteur de véhicules » [Image avec l'autorisation de WW MarineTraffic.com]

Figure 6. « Navire de passagers » [Image avec l'autorisation de Wolfgang Plapp, MarineTraffic.com]

Figure 7. « Vraquier » [Image avec l'autorisation de M.L. Jacobs, MarineTraffic.com]

Figure 8. « Navire-citerne Aframax » [Image avec l'autorisation d'A Mackinnon, MarineTraffic.com

Table 1. Détails des navires utilisés dans l'analyse

Détails	Navire no 1 Gros porte-conteneurs	Navire no 2 Très gros porte-conteneurs	Navire no 3 Méthanier (transporteur de GNL)	Navire no 4 Transporteur de véhicules	Navire no 5 Navire de passagers	Navire no 6 Vraquier	Navire no 7 Navire-citerne Aframax
Type de navire	Porte-conteneurs	Porte-conteneurs	Méthanier (transporteur de GNL) (Q-Max)	Transporteur de véhicules	Navire de passagers	Vraquier	Navire-citerne Aframax
Taille	14 500 EVP	21 413 EVP	~265 000 m^3	138 000 m^3	~4 000 passagers	221 478 m^3	124 167 m^3
Année de construction	2017	2017	2008	2011	2018	2014	2005
Longueur hors tout (m)	366	399,9	345,3	265	329,8	299	249,9
Largeur (m)	51	58,8	53,83	32,27	41,5	50	43,9
Jauge brute (tonneaux)	154 300	210 890	163 922	75 251	167 800	107 054	62 929
Port en lourd (PL) (tonnes)	153 811	191 422	130 102	41 820	11 700	209 996	115 525
Commentaire	Le plus gros porte-conteneurs à faire escale dans un port canadien (Prince Rupert, Vancouver, nov. 2017).	Le plus gros porte-conteneurs du monde qui ne navigue actuellement pas dans les eaux canadiennes.	Le plus gros méthanier déterminé dans le Processus d'examen TERMPOL visant le Projet LNG Canada.	La classe MARK V est un des plus gros transporteurs de véhicules en activité actuellement.	Le plus grand navire de passagers à faire escale à Vancouver en 2018.	Actuellement le plus grand vraquier à faire escale dans les ports du Pacifique du Canada	Grands navires-citernes faisant fréquement escale dans le port de Vancouver

2.2 Sources de données et suppositions

2.2.1 Bâtiments

La méthodologie utilisée pour effectuer l'analyse de ces cas est décrite dans la partie 3.0. Des données doivent être fournies pour chaque bâtiment, y compris des mesures pour les caractéristiques suivantes :

- Longueur entre les perpendiculaires
- Longueur hors tout (LHT)
- Longueur de la ligne de flottaison
- Tirant d'eau à l'avant et à l'arrière
- Largeur
- Surface projetée (vue de devant) au-dessus et au-dessous de l'eau
- Surface projetée (vue de profil) au-dessus et au-dessous de l'eau
- Centroïde de la surface de profil au-dessus de l'eau

Bien qu'une grande partie de cette information soit déjà à la disposition du public, il a fallu estimer des valeurs de surfaces et de centroïdes, ainsi que certaines des longueurs. Un groupe de croquis des contours a été créé pour chaque bâtiment à partir de photographies et de paramètres pour des formes de coques typiques de chaque type de navire. Ces croquis figurent dans des versions de résumés à la Figure 9. Des caractéristiques comme l'arbre porte-hélice, les gouvernails et les bulbes d'étrave étaient comprises, et là encore, nous avons utilisé des valeurs typiques pour chaque type de navire. Les surfaces et les centroïdes ont été calculés à l'aide de fonctions AutoCAD. Toute cette information a été comprise dans ce rapport (voir la Table 4), ce qui permet aux futurs chercheurs de refaire les étapes du travail ou d'utiliser des chiffres plus exacts dans la mesure où ils deviendront disponibles. Le degré de précision atteint dans la dernière estimation est considéré comme adéquat pour les besoins de ce projet.

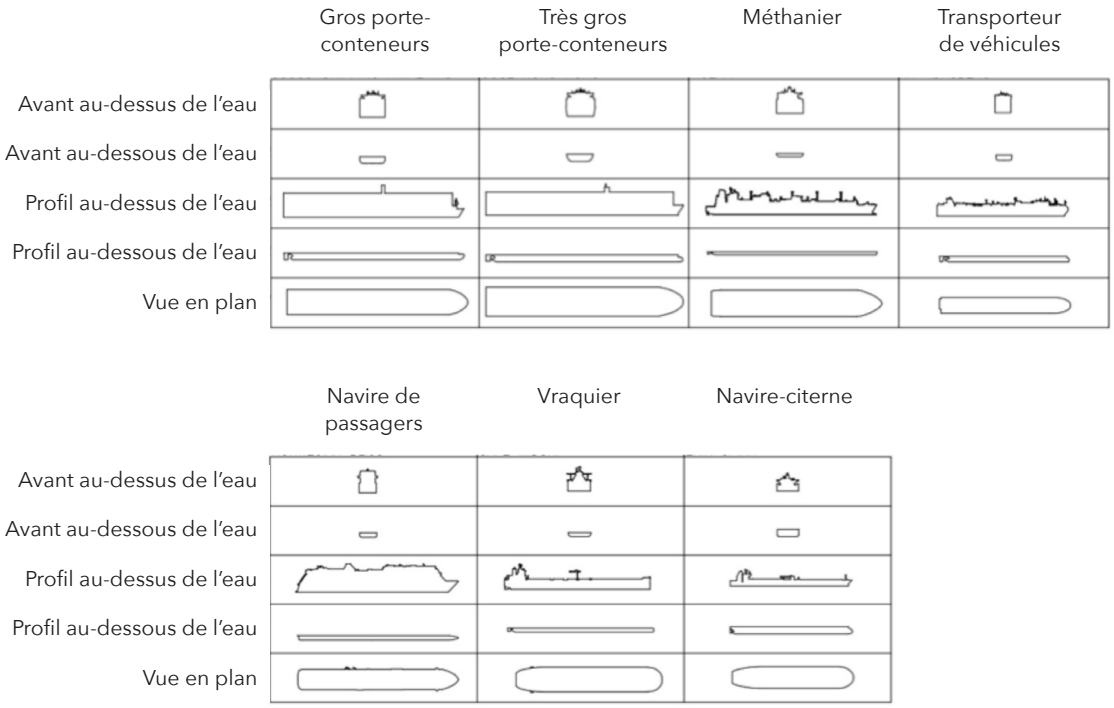


Figure 9. Toutes les vues des navires

2.2.2 Conditions météorologiques et océaniques

La présente étude comprend des combinaisons de conditions météorologiques concernant les vents et les vagues fondées sur des statistiques sur l'environnement qui avaient été rassemblées pour des eaux au large de la côte du Pacifique du Canada. Les chiffres obtenus sont fondés sur des statistiques portant sur l'année entière, compte tenu du vent venant de toutes directions, tirées de la bouée 46205 d'Environnement et Changement climatique Canada, qui est située au nord-ouest de Haida Gwaii (voir la Figure 10) et représente un des endroits les plus sujets à des turbulences climatiques le long de la côte du Pacifique. Les conditions choisies pour l'étude correspondent aux percentiles indiqués pour les vents et les vagues figurant dans la Table 2, et ces percentiles sont cités à travers tout le rapport. Toutefois, les percentiles réels qui sont associés à des conditions environnementales varieront selon la région géographique les directions de vent et la saison, et peuvent faire l'objet d'un changement climatique à l'avenir.

Table 2. Conditions météorologiques et océaniques pour l'évaluation des besoins en remorquage

	50e percentile	75e percentile	85e percentile	95e percentile	99e percentile
Vitesse moyenne du vent (kt)	14	19	22	27	33
Hauteur moyenne significative des vagues (m)	2,3	3,4	4,1	5,6	7,8
Périodes moyennes de vagues (s)	10,7	12,8	14,2	16	18,3

Il est typique de constater des corrélations partielles, mais non complètes, entre les conditions éoliennes et celles des vagues. Par exemple, des vagues générées par le vent se produisent pendant une tempête. Cependant, la hauteur des vagues dans une tempête est systématiquement en retard sur la vitesse du vent, et une houle sous-jacente n'est pas typiquement liée au vent. Par conséquent, aux fins de cette analyse, l'application d'un percentile de vent donné associé au même percentile de vagues constitue une approximation, et, tout en n'étant pas parfaite, est néanmoins raisonnable.

La Figure 10 montre la manière dont varient les conditions de vent à travers la zone de l'étude. Ces études de roses de vent, à l'échelle d'une année, ont été créées pour Clear Seas dans le cadre de l'analyse « Dérive de navire et intervention : Pacifique », et une information plus détaillée figure dans ce rapport. Dans la Figure 10, les roses des vents montrent l'influence de la direction du vent par suite de la tendance pour les vents les plus violents de souffler presque parallèles au rivage. De la perspective du remorquage d'urgence, le remorquage en haute mer et le remorquage près d'un rivage abrité du vent font appel à des exigences et à des défis différents. Les données montrent que dans de nombreux scénarios d'urgence, il existe un vaste espace de manœuvre pour le remorquage en pleine mer. Toutefois, si on prend en considération le sous-groupe de scénarios qui mettent en scène des espaces de manœuvre restreints (par exemple, dans le cas de rivage abrité), il serait important d'effectuer un nouvel examen des statistiques environnementales. Il est possible de déduire de la Figure 10 que si les données environnementales étaient réduites aux directions de vent qui prévalent dans des conditions abritées (généralement, du sud-ouest en pleine mer et de la plupart des directions dans les détroits), les conditions ayant une probabilité de 1 % d'être excédées (dans le cas du 99e percentile), seraient moins violentes que dans le cas du 99e percentile, qui est utilisé dans cette étude.

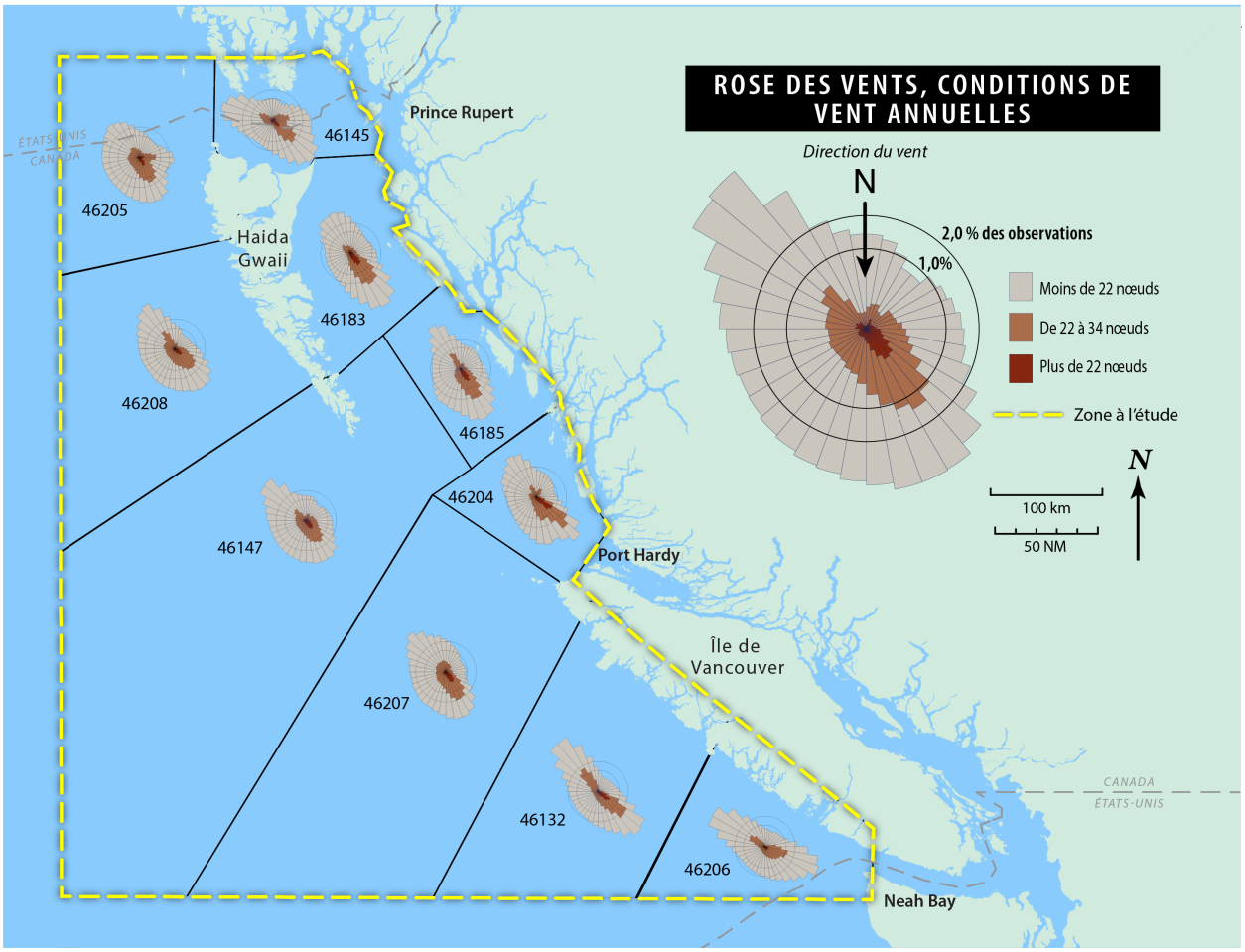


Figure 10. Statistiques de vitesse de vent, par endroit et selon la direction du vent

2.3 Considérations supplémentaires

2.3.1 Efficacité de remorquage des remorqueurs d'urgence

La puissance nominale ou théorique de traction de tout navire remorqueur d'urgence ou autre navire est une valeur de traction idéalisée, mesurée dans des conditions de traction calmes sur une borne fixée sur la rive. Souvent la valeur est une estimation analytique, car les conditions de l'essai peuvent être difficiles à réaliser.

Typiquement, la puissance de traction réelle est plus basse que la puissance de traction nominale, du fait d'être diminuée par des conditions du monde réel et par les propres besoins en autopropulsion du remorqueur. Le mouvement du remorqueur réduit la poussée que peuvent générer les propulseurs et la direction visée du mouvement.

Ces faits sont bien connus dans un sens qualitatif, mais il existe peu de données solides pour soutenir le choix de facteurs d'efficacité, en particulier dans le cas de navires plus importants qui se trouvent dans des conditions de pleine mer. Une des formules qui sont citées le plus souvent est fournie par la DNV (Det Norske Veritas) dans sa norme d'opérations de transport maritime, et est indiquée ci-dessous. L'équation calcule un « facteur d'efficacité de remorquage » en fonction de la longueur globale d'un remorqueur jusqu'à concurrence de 45 m, de la traction prévue du remorqueur jusqu'à concurrence de 100 tonnes et d'une hauteur de vague entre 1 m et 5 m, selon la formule ci-dessous :

$$yTE=[80-(18-0.0417 * LHT * \sqrt{(BP-20)} * (Hs-1)/100$$

Si yTE = facteur d'efficacité de remorquage

LHT = Longueur Hors Tout [quand la longueur Hors Tout =45 m doit être utilisée pour tous les navires au-dessus de 45 m]

Puissance de traction BP = Traction à une borne fixe; [quand la puissance de traction BP =100 tonnes doit être utilisée pour toutes les BP>100 tonnes]

1m<Hs<5m : [pour Hs = hauteur de vague]

En appliquant cette formule, nous obtenons un facteur d'efficacité de remorquage de 80 % pour une puissance de traction de 100 tonnes d'un remorqueur de 60 m de long qui manœuvre dans des vagues d'une hauteur de 1 m ou de 66 %, dans des vagues de 5 m de haut.

Ces valeurs sont inférieures à celles citées dans d'autres études (voir, par exemple, RAL 2014 et Sasi 2016), qui obtiennent des efficacités d'environ 75 % pour ce navire dans des mers plus mouvementées que des vagues de 5 m de haut. Ces différences de résultats soulignent les incertitudes en cause, qui elles-mêmes augmentent en fonction de la turbulence de l'eau. Les valeurs qui ont été incluses dans nos analyses sont indiquées dans la Figure 11; ces valeurs sont fondées sur des moyennes tirées d'information publiée.

Les estimations d'efficacité ont été générées pour une hauteur significative de vague de 2 m (80 %), de 5 m (75 %) et de 8 m (60 %), englobant les cinq hauteurs de vagues significatives pour cette analyse. Une fois intégrées dans l'analyse, ces valeurs ont été insérées dans des tendances quadratiques. Les facteurs d'efficacité de remorqueurs ont été ensuite interpolés du graphique pour chacune des cinq conditions environnementales déterminées par Clear Seas.

L'évaluation de l'efficacité de remorqueurs dans des conditions variées de mer constitue un domaine où il serait très profitable d'effectuer davantage de recherche et de collectes de données.

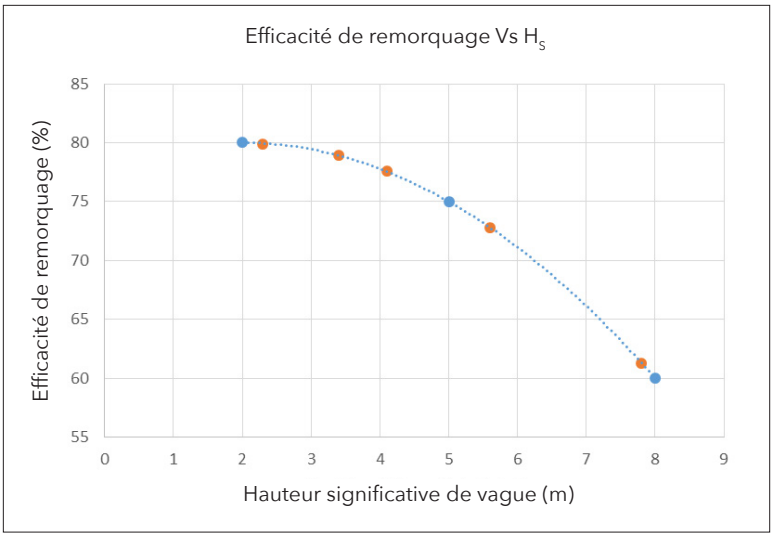


Figure 11. Facteurs d'efficacité de remorqueurs

2.3.2 Capacités de navires remorqués

Il faut également étudier la capacité d'un navire de recevoir et de soutenir un câble de remorquage.

Des préoccupations internationales au sujet de déversements de navires-citernes causés par des échouements et d'autres incidents ont entraîné l'imposition de critères spéciaux variés pour les navires-citernes par l'Organisation maritime internationale (OMI). Les navires-citernes sont obligés par la convention SOLAS de l'OMI d'être équipés de forts points d'attache pour l'attache de câbles de remorquage et également d'être munis de dispositifs de remorquage qui peuvent être déployés facilement et rapidement dans des urgences. Les critères qui sont définis dans le circulaire de l'OMI MSC 35 (63) sont résumés dans la Table 3.

Table 3. Équipement de remorquage en cas d'urgence à l'intention de navires-citernes en vertu de SOLAS

Article	Avant	Arrière	Critères en matière de force (charge pratique de sécurité (SWL))
Équipement à embarquer	Facultatif	Oui	
Fanion de remorquage	Facultatif	Oui	1 000 ou 2 000 kN[1]
Équipement anti-ragage	Oui	En fonction de la conception	1 000 ou 2 000 kN[1]
Chaumard	Oui	Oui	1 000 ou 2 000 kN[1]
Point d'ancrage	Oui	Oui	1 000 ou 2 000 kN[1]
Chaumard à rouleaux	Oui	En fonction de la conception	

Nota 1. Utiliser une valeur de « 1 000 kN » pour les navires-citernes de 20 000 tpl à 50 000 tpl; utiliser une valeur de « 2 000 kN » pour les navires-citernes >50 000 tpl.

Nota 2. 9,81 kN = 1 tonne de puissance de traction

Selon les spécifications, les valeurs de force dans la Table 3 s'élèveraient à la moitié de la résistance limite, c'est-à-dire qu'un navire-citerne est censé avoir la capacité de manœuvrer une force de remorquage estimée à 2 000 kN ou à juste plus de 200 tonnes, soit près de trois fois la capacité attendue d'autres types de navires.

Les types de navires n'appartenant pas à la catégorie des navires-citernes sont censés avoir en place des plans de remorquage, mais le niveau de capacité n'est pas précisé. Les capacités des points de traction

fixe, des treuils et des cabestans sont généralement fondées sur le numéro d'équipement pour l'ancrage et le mouillage, qui lui-même est fixé sur la base d'une hypothétique vitesse de vent de 25 m/s (50 kt) et d'un courant de 2,5 m/s (5 kt).

Le « numéro d'équipement » (NE) est un paramètre pour déterminer la taille et le nombre d'ancres et de câbles pour un nouveau bâtiment, y compris les points de traction et autre équipement de remorquage. Le NE est prévu pour le mouillage temporaire d'un navire dans un havre ou un endroit abrité, par exemple, quand le bâtiment attend un poste à quai. Le NE n'est pas un indicateur de la capacité du navire à soutenir un remorquage par mauvais temps. Pour la plupart des exploitants, il est peu probable qu'ils sauront comment interpréter le numéro d'équipement ou les capacités de charge associées. L'équipement installé est rarement soumis à des essais; l'approbation est basée sur des dessins et sur une analyse limitée. L'essai en cours de service de la puissance de traction est rare. Le calcul du numéro d'équipement est standardisé par l'Association internationale des sociétés de classification (IACS), mais son application varie en quelque mesure parmi les sociétés de classement. Par exemple, en vertu des règlements de Lloyd's Register, il est recommandé pour les câbles de remorquage employés pour de gros bâtiments (par exemple, les bâtiments dans cette étude) d'avoir un point limite minimum de résistance de câbles de 1 471 kN (150 tonnes) à la rupture, et, en outre, les points de remorquage doivent avoir une charge maximum pratique qui correspond à cette force de rupture.

Deux des bâtiments (« gros porte-conteneurs » et « très gros porte-conteneurs ») analysés dans des conditions climatiques du 99e percentile auraient été l'objet d'une puissance de traction supérieure à la résistance minimale recommandée de 150 tonnes. Cela ne constitue cependant pas une indication que ces bâtiments seraient incapables de recevoir et de soutenir un remorquage d'urgence dans le scénario hypothétique du 99e percentile. Ces résultats signifient simplement que la force de remorquage était supérieure à la résistance minimale à la rupture recommandée. Il faudrait disposer d'information plus précise sur le navire en cause pour évaluer la probabilité d'échec dans des circonstances météorologiques extrêmes.

L'Alaska a institué des mesures variées pour augmenter sa capacité d'intervention lorsque des incidents se produisent au large de la côte des îles Aléoutiennes, qui sont près de nombreuses voies importantes de transport maritime. L'Alaska a donc créé et stocké à divers endroits des trousses de remorquage d'urgence qui peuvent être déployées soit par hélicoptère soit par remorqueurs d'urgence. Cette trousse est illustrée à la Figure 12. Pour plus de renseignements sur le déploiement de ces ressources, consulter http://dec.alaska.gov/media/8131/ets-after-action-report.pdf. La Garde côtière canadienne a entamé le processus d'achat d'un certain nombre de ces trousses en vertu du Plan de protection des océans du gouvernement du Canada et investit également dans l'acquisition de nouveaux remorqueurs.

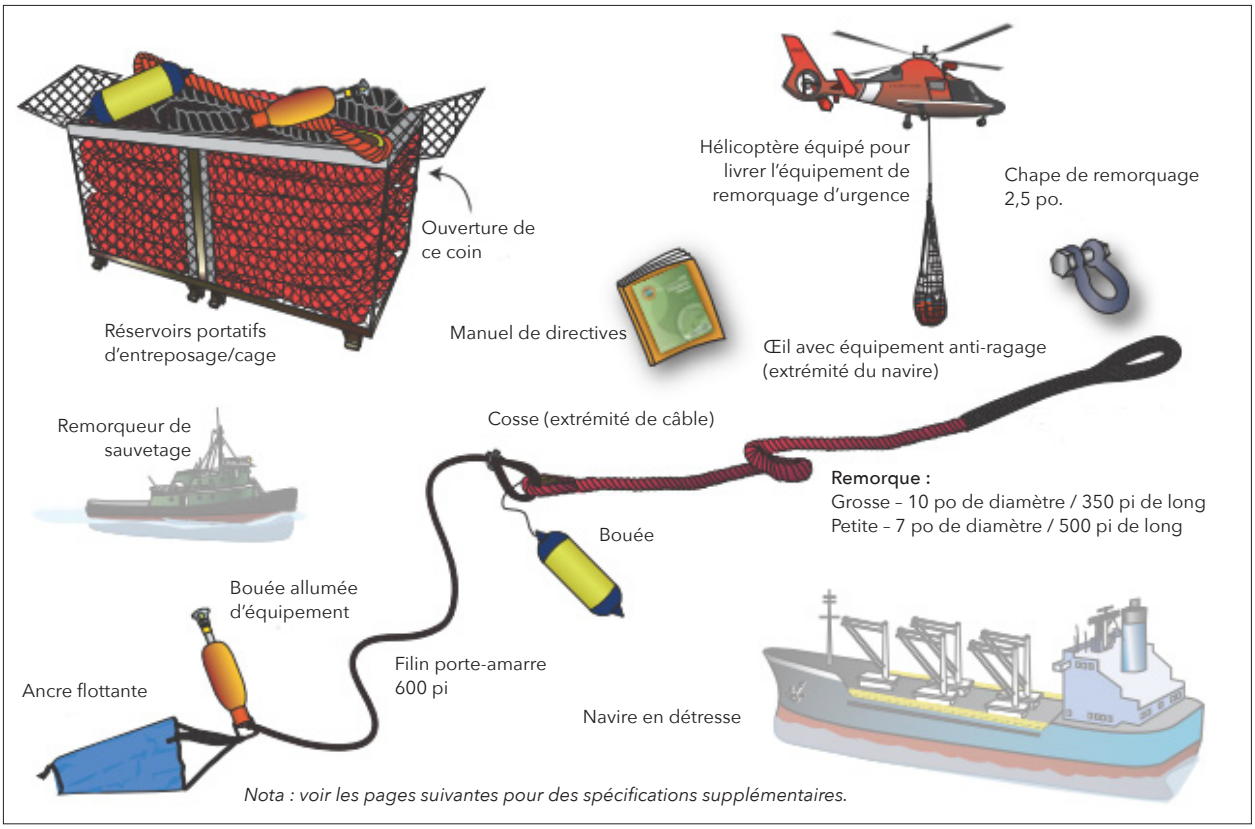


Figure 12. Trousses d'urgence des îles Aléoutiennes

D'autres trousses de secours similaires ont également été assemblées, par exemple, pour le réseau de prévention et d'intervention maritime de l'Alaska. Les liens sont compris dans la partie 6.0.

3.0 Analyse et évaluation

L'analyse a pris en compte plusieurs systèmes de forces qui peuvent s'exercer sur un navire désemparé. Normalement, après une perte de puissance, la plupart des navires vont dériver dans un sens parallèle au vent dominant et aux vagues (vent de côté), ce qui expose les surfaces les plus étendues du navire aux forces du vent et des vagues, provoquant des vitesses élevées de dérive. VARD a calculé les forces du vent de côté, mais non les vitesses de dérive dans le cadre de ce projet, du fait que les vitesses de dérive sont étudiées par Clear Seas dans le rapport « Dérive de navires et intervention : Pacifique » (Clear Seas/Nuka, 2018).

En vue d'arrêter le navire, un remorqueur d'urgence devra faire tourner le bateau désemparé pour le placer en position perpendiculaire (face ou dos) au vent et aux vagues, puis le remorquera loin du danger et vers un refuge sûr. Prendre contrôle du navire en assurant son virage et en surmontant l'inertie du vent arrière doit être une démarche étudiée sous un angle dynamique car le système de forces change constamment pendant qu'est effectué ce virage (une manœuvre qui sera décrite plus loin à la partie 3.1.2).

Une fois que le navire aura effectué un virage, la force de remorquage peut être traitée comme si elle était pratiquement statique. Le projet a pris en compte deux niveaux de forces, une visant à maintenir une position dans les conditions dominantes et l'autre pour avancer lentement de près serré (à une vitesse supposée de 1 nœud (kt) dans ces analyses). En fonction de la discussion dans la partie 2.3.1, toutes ces forces doivent être assurées par un remorqueur d'urgence qui perd de l'efficacité de remorquage quand les conditions météorologiques s'aggravent.

3.1 Méthodologies

3.1.1 État de stabilité

L'analyse de la force et de la puissance a été effectuée par l'application des calculs de DPLab, un logiciel mis au point par Force Technologies du Danemark, sur les forces du vent, des vagues et du courant. DPLab est un programme de prévision de positionnement dynamique dont le but à l'origine était de déterminer les conditions environnementales limites permettant à un navire positionné dynamiquement de maintenir son poste et son cap. Un élément important du programme est sa capacité à prédire les forces environnementales stables qui s'exercent sur un bâtiment. Cette tâche est accomplie par l'utilisation de coefficients de force environnementale compris dans la bibliothèque interne du logiciel comportant des exemples de navires qui ont fait l'objet de méthodes d'essai ou d'analyses plus détaillées.

Même si DPLab ne visait pas initialement la prévision de forces de remorquage, ses techniques sont directement applicables au travail à réaliser et les valeurs générées peuvent être facilement appliquées ou étendues à d'autres navires et types de bâtiments. Les coefficients de forces ne sont pas directement pertinents pour tous les types de navires couverts par le projet, mais la plupart des approximations requises sont considérées comme minimes par comparaison à d'autres incertitudes et hypothèses en cause dans le travail. DPLab a la capacité de saisir directement les valeurs quand l'utilisateur a de meilleures données que les valeurs implicites présentes dans les bibliothèques de logiciel. Un aspect qui a été mis au point pour un meilleur degré d'exactitude se rattache aux coefficients de vent, un cas où VARD avait produit des valeurs d'entrée sur la base des croquis décrits dans la Partie 2.0.

La Figure 13 montre une capture d'écran de l'écran de saisie de données de DPLab, dans ce cas pour l'exemple du gros porte-conteneurs.

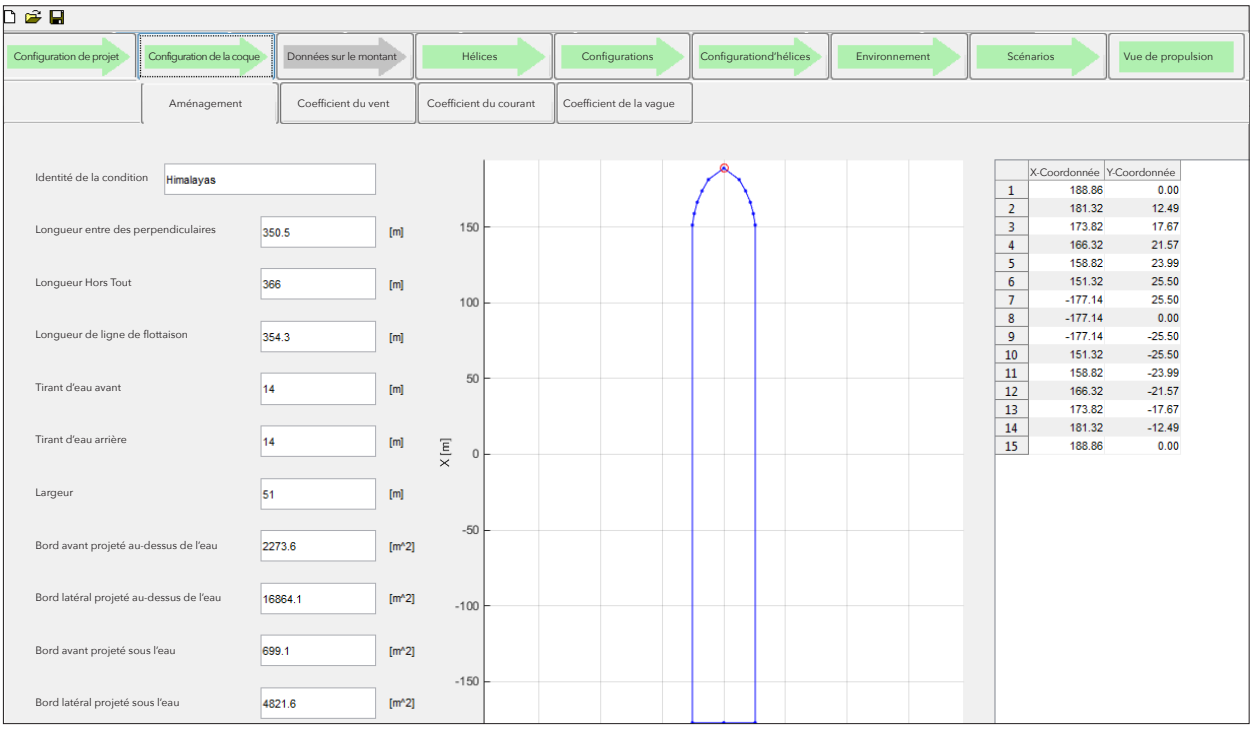


Figure 13. Saisies de DPLab pour un gros porte-conteneur

Les forces exercées sur le navire sont fonction de l'état du chargement. Les analyses ont visé à utiliser les pires conditions en matière de forces environnementales : en général, elles considéraient le cas d'un bâtiment avec une charge légère et de hauts fardages. Pour les porte-conteneurs, les conteneurs eux-mêmes constituent une partie importante de la surface de fardage, et par conséquent, une lourde charge représente la situation la plus difficile. Pour les navires-citernes et les vraquiers, il peut exister une variation importante d'assiette dans les conditions de chargement et, pour cette raison, l'analyse a tenu compte des deux cas : une assiette nulle et une assiette extrême. Les résultats ne présentaient pas de différences significatives, donc pour des raisons d'uniformité, tous les résultats présentés dans le rapport principal ont utilisé le cas d'assiette nulle.

Les données de saisie pour tous les navires utilisés dans l'analyse DPLab sont résumées dans la Table 4 (à titre de référence, l'Annexe A contient toutes les données) et incluent les détails sur le navire ainsi que de l'information sur les conditions de chargement et des zones de fardage. Cette information a été utilisée à DPLab et dans un tableur local pour corriger certaines conditions environnementales.

Table 4. Saisies par bâtiment effectuées par DPLab.

Détails	Unités	Gros porte-conteneurs	Très gros porte-conteneurs	Méthanier	Transporteur de véhicules	Navire de passagers	Vraquier	Navires-citerne Aframax
Longueur entre des perpendiculaires	m	350,5	383	332	250	300	296	240
Longueur Hors Tout	m	366	399,9	345,3	265	333,45	299	249,9
Longueur de ligne de flottaison	m	354,3	389,4	337	257,8	309,3	299	242,9
Tirant d'eau avant	m	14	14,6	6	11	8,4	8,11	14,9
Tirant d'eau arrière	m	14	14,6	6	11	8,4	8,11	14,9
Largeur	m	51	58,8	53,83	32,27	41,5	50	43,9
Bord avant projeté au-dessus de l'eau	m^2	2 273,6	2 680,6	2 201,2	1 172,9	1 516,3	1 474,2	1 049,9
Bord latéral projeté au-dessus de l'eau	m^2	16 864,1	17 907,0	10 565,9	6 753,5	15 010,1	6 826,6	3 739,0
Bord avant projeté sous l'eau	m^2	699,1	707,4	309,5	344,1	293,5	359,4	650,2
Bord latéral projeté sous l'eau	m^2	4 821,6	5 662,6	2 010,0	2 786,1	2 737,2	2 389,4	3 667,3
Centroïde de la surface latérale au-dessous de l'eau	m^2	175,3	206,4	159,7	133,0	163,6	140,2	113,9
État du chargement	-	Chargement complet	Chargement complet	Légèrement chargé	Légèrement chargé	Tirant standard de croisière	Légèrement chargé	Chargement complet
Point de référence centroïde longitudinal	-	De l'arrière	De l'arrière	De l'arrière	De l'arrière	De l'arrière	De l'arrière	De l'arrière

DPLab a besoin de coefficients à charger pour les vents, les courants et les vagues. Les coefficients de forces environnementales sont fondés sur la logithèque de DPLab en matière de coefficients pour des navires représentatifs; le projet a utilisé les attributs préexistants de navires « DPLab #107-xxxx2 » pour les coefficients de vents ainsi que de courants et le navire « DPLab #109-xxxx1 » pour les coefficients de dérives (ces navires sont identifiés par les chiffres indiqués dans les manuels d'utilisateur). Pour prendre en considération la position et la taille de la superstructure, les coefficients de moments de vent ont été adaptés en fonction du centroïde longitudinal de la surface latérale de fardage, qui est déterminé sur la base du dessin de profil estimé pour chaque navire. La rectification du coefficient du moment de vent fonctionne comme un déplacement longitudinal dans la ligne d'action du vecteur de force du vent, de manière telle que dans un vent de côté, il passe à travers le centroïde de la surface de fardage. Soit,

$$C'_N = C_N + C_Y \frac{LCA' - LCA}{\mathrm{LOA}}$$

Quand :

- C'_N est le coefficient rectifié pour tenir compte du moment du vent,
- C_N et CY sont les coefficients originaux des moments de vent et des forces latérales provenant de la logithèque DPLab
- *LHT* est la Longueur Hors Tout
- *LCA'* est le centre longitudinal de la surface de fardage du profil du bâtiment,
- *LCA* est la même quantité pour le navire dans la logithèque de DPLab.

Cette équation a été calculée de la manière suivante

$$\mathrm{LCA} = LOA\ C_{N,90}/C_{Y,90}$$

Quand l'inclusion de « 90 » dans les indices fait référence aux valeurs de coefficient pour un vent de côté.

Les formules ci-dessus s'appliquent parce que le non-dimensionnement de CN dans DPLab comprend la division par la LHT. La Table 5 montre un exemple de la table de correction de 0 à 90 degrés pour le gros porte-conteneurs. Les quatre premières colonnes ont été directement copiées et collées de DPLab en utilisant le no 107-xxxx2 de la logithèque de DPLab contenant les coefficients de vent. La cinquième colonne montre les valeurs de coefficients de vent rectifiées. La colonne finale contient les données qui ont été sauvegardées sous forme de fichier texte afin d'être importées ensuite de nouveau dans DPLab.

Table 5. Correction des coefficients de vent

Cap	Cx	Cy	Cn	Corr. des coefficients de vent	Fichier importé de DP Lab
0	-1,276	-0,008	-0,003	-0,003	0 -1,2760 -0,0082 -0,0032
10	-1,205	-0,143	-0,02	-0,021	10 -1,2045 -0,1429 -0,0214
20	-1,274	-0,307	-0,036	-0,038	20 -1,2741 -0,3071 -0,0382
30	-1,313	-0,486	-0,047	-0,051	30 -1,3129 -0,4864 -0,0506
40	-1,259	-0,676	-0,051	-0,055	40 -1,2592 -0,6761 -0,0553
50	-1,166	-0,826	-0,046	-0,052	50 -1,1663 -0,8259 -0,0517
60	-0,967	-0,981	-0,035	-0,042	60 -0,9665 -0,9806 -0,0415
70	-0,724	-1,089	-0,023	-0,031	70 -0,7243 -1,0887 -0,0311
80	-0,442	-1,121	-0,005	-0,013	80 -0,4423 -1,1207 -0,0128
90	-0,159	-1,112	0,014	0,006	90 -0,1589 -1,1116 0,0057

3.1.2 Simulations de virages

La force nécessaire pour faire tourner le navire désemparé vers le vent a été déterminée par des simulations de temps. Cette technique plus avancée est nécessaire car, pendant la manœuvre du virage, la force de remorquage tendra à accélérer la vitesse du navire, ce qui provoquera un changement de vitesse du navire à travers l'eau avec le temps. Les forces hydrodynamiques associées avec le mouvement du navire pendant le virage influencent le reste de la manœuvre. Ce cas se produira même si la remorque tire directement face au gros temps sans tenter de remorquer dans le vent latéral afin d'acquérir intentionnellement une vitesse de marche avant. Une simple analyse statique, telle qu'elle est utilisée pour les autres éléments ci-dessus, nécessiterait des hypothèses au sujet de la vitesse nette de dérive et des forces hydrodynamiques associées, ainsi que sur le point où sont calculés les moments de lacets. Ces hypothèses auraient un effet dominant sur une telle analyse statique, de telle sorte que des données d'entrée différentes qui sont supposées pourraient être utilisées pour choisir arbitrairement toute sortie désirée.

Les simulations de temps pour effectuer des virages face au gros temps ont été effectuées en utilisant une méthodologie de simulation réalisée à l'interne par VARD qui avait été employée avec succès pour la prévision de manœuvres de navires à faible vitesse, comme le navire hauturier de recherche océanographique de la Garde côtière canadienne. La technique de simulation détermine la force nette en utilisant une méthodologie fondée sur DPLab : de fait, elle applique à nouveau les mêmes coefficients de forces environnementales qui sont utilisés dans les analyses statiques pour déterminer la force nette exercée sur le navire à chaque instant au cours de la simulation. Dans ce processus, il est tenu compte du mouvement relatif du navire à travers l'eau et l'air, et les forces hydrodynamiques en raison de la rotation du navire sont déterminées par l'extension des coefficients de force latérale. La force nette est utilisée pour déterminer les accélérations, les mouvements et la trajectoire dans le plan horizontal. Cela comprend l'influence de la masse hydrodynamique ajoutée et des effets centripètes.

Le processus de base pour les simulations est le suivant :

1. Résoudre les composants de la dérive libre du navire avant que le remorquage ne commence, y compris le cap du navire et la vitesse de la dérive. Cela représente la situation au moment où est attachée la remorque, immédiatement avant que le navire de remorquage ne commence à tirer.
2. Appliquer une hypothèse de force de remorquage uniforme, face directement au vent. Cette force est supposée subir une augmentation linéaire de zéro à la force de remorquage complète au cours des trente premières secondes de la simulation.
3. Continuer la simulation pour prévoir la trajectoire du navire sous les forces combinées du remorquage et de l'environnement. La simulation comprend la détermination des accélérations du bâtiment, des vélocités et des positions, qui se modifient avec le temps.
4. Arrêter la simulation, après la démonstration du succès ou non de la manœuvre.
5. Répéter les étapes suivantes (à partir de la 2e étape) pour une suite de différentes forces de remorquage afin de déterminer la force de remorquage minimum requise pour compléter la manœuvre avec succès. Un résolveur numérique est utilisé pour déterminer la force de remorquage dans un pourcentage de 1 %.

À la 4e étape ci-dessus, il est estimé que la manœuvre a réussi si tous les critères suivants ont été satisfaits :

1. Un cap de perpendiculaire au vent et aux vagues a été réalisé; cette position est considérée comme atteinte si le cap passe à travers une houle de l'avant car des oscillations sont prévues.
2. Le navire ne se déplace plus sous le vent.
3. Le mouvement maximum de dérive est de moins de 2 NM (3 704 m); et
4. Le temps écoulé est de moins d'une heure.

Le mouvement de dérive et les délais sont souvent en quelque mesure arbitraires. Ils sont supposés représenter une tolérance raisonnable pour l'espace de manœuvre, des conditions météorologiques qui changent avec le temps, et la patience de l'exploitant du navire de remorquage pour poursuivre ses efforts dans le cas d'une démarche qui n'obtient apparemment pas de succès avant de tenter une autre stratégie de sauvetage. On peut acquérir une appréciation du bien-fondé de ces limites par les résultats qui montrent comment ces valeurs changent avec la force de remorquage.

Le déplacement des navires a été estimé sur la base d'un bloc de coefficients typiques pour chaque type de navire. Dans tous les cas, le centre de gravité du navire est supposé être situé 2 % à l'arrière du centre du navire. La masse ajoutée des navires a été estimée d'après les dimensions du navire. Le déplacement et les valeurs ajoutées de masse figurent dans la Table 6.

Table 6. Déplacement de navire et masse ajoutée

Navire	Déplacement [Tonne]	Masse ajoutée de houle (Tonne]	Masse ajoutée de mouvement de dérive [Tonne]	Masse ajoutée d'angle de lacet [Tonne-m²]	Masse ajoutée de mouvement de dérive et d'angle de lacet [Tonne-m]
Gros porte-conteneurs	156 000	$4,3 \times 10^3$	$8,8 \times 10^4$	$6,8 \times 10^8$	$3,1 \times 10^6$
Très gros porte-conteneurs	206 000	$5,7 \times 10^3$	$1,1 \times 10^5$	$9,6 \times 10^8$	$4,0 \times 10^6$
Méthanier	89 000	$1,3 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$1,1 \times 10^8$	$5,1 \times 10^5$
Transporteur de véhicules	61 000	$1,5 \times 10^3$	$3,9 \times 10^4$	$1,5 \times 10^8$	$9,7 \times 10^5$
Navire de passagers	77 000	$1,5 \times 10^3$	$2,7 \times 10^4$	$1,5 \times 10^8$	$8,2 \times 10^5$
Vraquier	103 000	$1,9 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$	$1,4 \times 10^8$	$7,4 \times 10^5$
Navire-citerne Aframax	130 000	$3,8 \times 10^3$	$6,9 \times 10^4$	$2,5 \times 10^8$	$1,6 \times 10^6$

Nota 3. L'analyse a pris en compte des « conditions d'exploitation légères », et non un déplacement maximum pour plusieurs navires. Cela est dû au fait que le fardage a un effet plus important sur les résultats de force que le déplacement et que des conditions d'exploitation légère entraînent un fardage plus élevé.

3.2 Résultats

3.2.1 Résultats d'état stable

Selon la description figurant dans 3.1.1, les éléments de forces constitués par les vents, les vagues et les courants présents étaient générés par DPLab. Un exemple de l'écran de sortie se trouve dans la Figure 14. Ces valeurs ont été chargées dans un fichier Excel en vue de traitement supplémentaire. Un exemple de l'information est fourni dans la Table 7, qui montre les valeurs totales de forces dérivées de la somme de chaque élément. L'ensemble complet de résultats, y compris tous les composants des forces, est présenté dans l'annexe B.

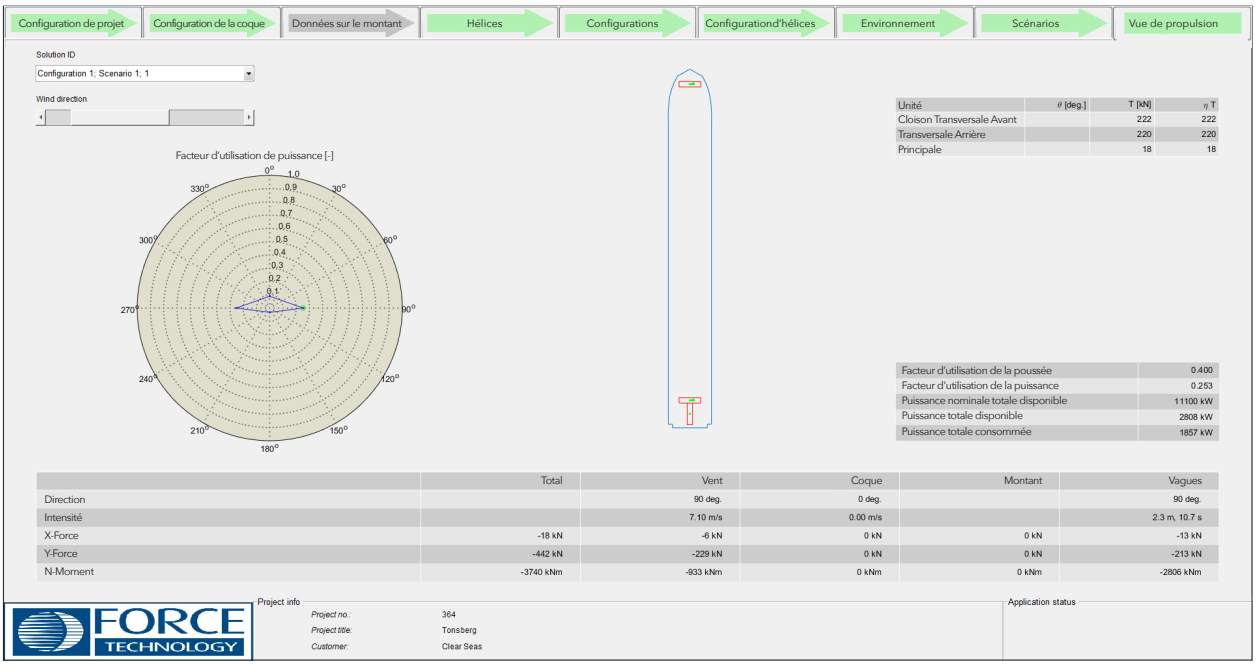


Figure 14. Données de transporteur de véhicules, vents de côté dans le 50e percentile de conditions environnementales

Table 7. Données concernant la condition de mers de côté de DPLab–Force totale face aux conditions météorologiques et océaniques

Mer de côté – Force totale (kN) face aux condtions météorologiques et océaniques (%)					
Navire	**50e percentile**	**75e percentile**	**85e percentile**	**85e percentile**	**99e percentile**
Gros porte-conteneurs	-870	-1 435	-1 798	-2 682	-3 858
Très gros porte-conteneurs	-933	-1 535	-1 921	-2 862	-4 114
Méthanier	-641	-1 017	-1 247	-1 828	-2 591
Transporteur de véhicules	-442	-690	-838	-1 218	-1 715
Navire de passagers	-753	-1 244	-1 560	-2 329	-3 351
Vraquier	-484	-742	-893	-1 288	-1 800
Navire-citerne Aframax	-331	-488	-573	-807	-1 106

Nota. 9,81 kN = 1 tonne de traction au point fixe

3.2.2 Résultats de simulation de virages

Cette partie présente les résultats de simulations dynamiques de manœuvre de virage pour placer les navires en position perpendiculaire aux conditions (de mer de l'avant); les simulations tiennent également compte de l'arrêt du mouvement du côté vent arrière du navire et des limites pour le mouvement de dérive ainsi que le temps global écoulé, selon la discussion dans la partie 3.1.2. Par suite du nombre de navires, de l'intensité des conditions environnementales et des forces de remorquage explorées dans cette étude, un grand nombre de simulations ont été accomplies. Ce rapport comprend un condensé des résultats et des échantillons de résultats de simulations individuelles. La Table 8 fournit un résumé de la force minimum de remorquage requise pour la manœuvre complète de chaque navire servant d'exemple dans chaque condition environnementale.

Table 8. Force minimum de remorquage praticable [kN] d'après les données de la simulation de la manœuvre de virage

Force de remorquage praticable minimum [kN], en fonction du percentile environnemental					
Navire	**50e percentile**	**75e percentile**	**85e percentile**	**85e percentile**	**99e percentile**
Gros porte-conteneurs	262	419	517	802	1 080
Très gros porte-conteneurs	312	498	614	953	1 280
Méthanier	206	338	417	658	892
Transporteur de véhicules	146	234	287	453	609
Navire de passagers	207	332	409	638	855
Vraquier	170	270	327	520	695
Navire-citerne Aframax	126	200	246	391	523

Nota. 9,81 kN = 1 tonne de traction au point fixe

Les Figures 15 et 16 montrent ci-dessous un exemple de simulation individuelle du gros porte-conteneurs dans l'environnement du 50e percentile, avec une force de remorquage de 349 kN. La Figure 15 montre la trajectoire du centre de gravité du navire, avec le schéma du navire apparaissant à chaque minute de la durée de la simulation et les indications de vents et de mers du haut de la figure. La Figure 16 montre des traces temporelles de divers paramètres prédits par la simulation. Le taux relativement élevé de dérive à partir de la condition initiale domine la première partie de la simulation pendant que la force de remorquage s'intensifie. La direction du mouvement du navire demeure similaire à la direction originale pendant une grande partie de la simulation. À mesure que le navire entre davantage dans le virage, le composant de vent latéral de la force environnementale entraîne l'accélération du navire vers le côté droit de la Figure. La force de remorquage arrête progressivement le mouvement vent arrière et finalement le virage vers la perpendiculaire est accompli à peu près en même temps.

Gros porte-conteneurs, environnement du 50e percentile, force de traction de 349 kN, virage à bâbord de 360 degrés, cap dans le sens du vent à 1 097,0 s

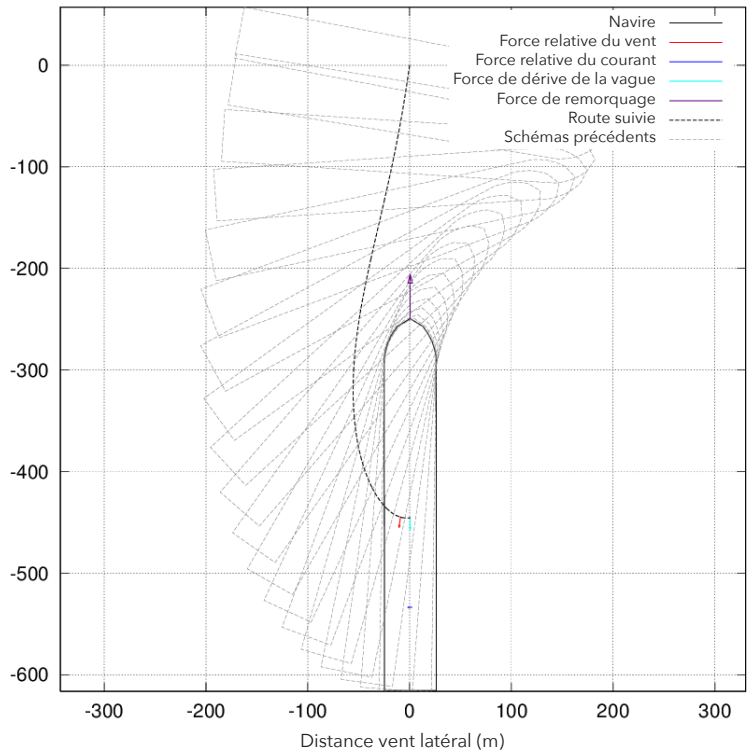


Figure 15. Gros porte-conteneurs : exemple de trajectoire de simulation

Gros porte-conteneurs : environnement du 50e percentile

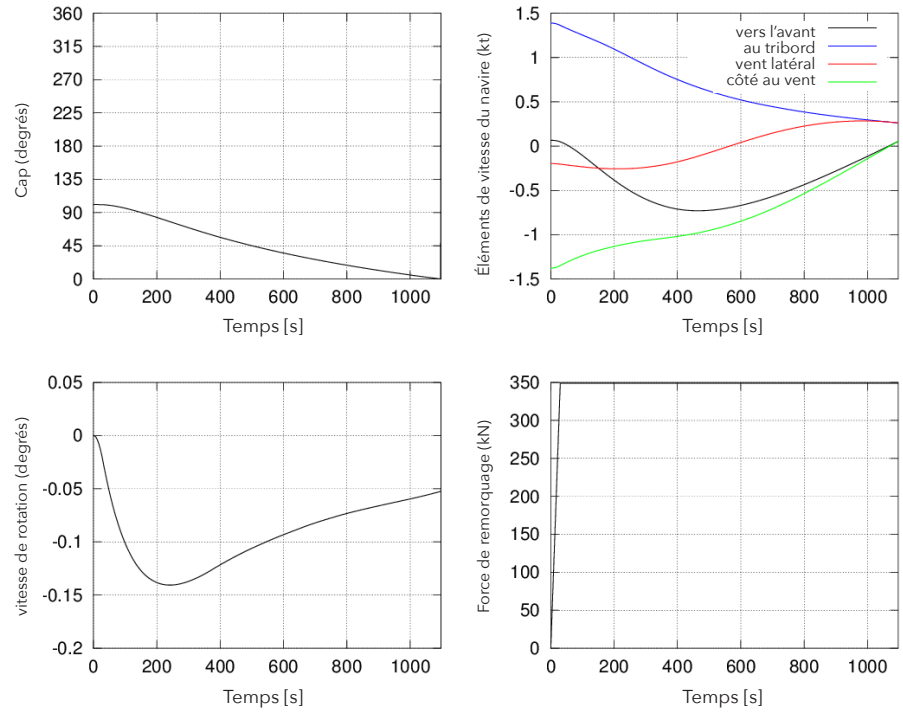


Figure 16. Gros porte-conteneurs - exemple de traces temporelles de simulation

Quand une force de remorquage plus importante s'exerce sur le navire dans le même environnement, ce dernier tourne plus rapidement et avec moins de dérive vent arrière. Lorsque la force de remorquage est moins élevée, les résultats deviennent de moins en moins favorables, jusqu'au point où la manœuvre ne peut être accomplie dans un temps ou espace de manœuvre raisonnable. La Figure 17 montre l'influence de la force de remorquage sur le mouvement maximum de dérive et le temps nécessaire pour faire tourner perpendiculaire au vent le navire et l'arrêter, dans les mêmes conditions de navire et environnementales. En ce qui concerne la Figure 17, le temps requis pour faire tourner le navire en position perpendiculaire correspond au temps auquel le cap (courbe noire dans le tracé du graphique supérieur gauche) devient d'abord zéro, et le temps pour arrêter le mouvement à l'arrière correspond au moment où la courbe verte (élément de vitesse côté au vent) dans le tracé supérieur droit de la Figure 16 traverse le zéro. Les tendances pour ces indices par opposition à la force de remorquage dans la Figure 17 montrent une augmentation spectaculaire du mouvement de dérive et du temps quand les forces de remorquage se réduisent à la valeur identifiée (262 kN). Ce comportement asymptotique est une caractéristique commune chez tous les navires. On pourrait discuter en faveur d'un choix de force de remorquage pratique minimum sur la base d'autres limites spécifiées pour le mouvement et le temps de dérive. Sur la base d'un virage relativement serré dans cette courbe, le choix d'autres critères pourrait, par exemple, déterminer une force de remorquage minimum praticable, qui serait de l'ordre de 10 % à 30 % plus élevée que le minimum identifié. Un ensemble complet de ces tracés a été compris dans l'annexe B.

La simulation du gros porte-conteneurs dans le même environnement avec une force minimum praticable de remorquage est montrée dans la Figure 18 et la Figure 19. Ces figures illustrent une période de temps étendue après le changement de cap pendant laquelle le cap du navire change très lentement. Ce cas se produit quand le cap est d'environ 45 degrés, point où les moments de lacet de l'environnement sont très amples.

Comme on pourrait s'y attendre, la force de remorquage minimum praticable pour accomplir le virage et arrêter le navire augmente avec une intensité plus élevée des conditions environnementales. Les tracés de l'annexe B montrent qu'à la force de remorquage praticable minimum, le mouvement de dérive augmente également avec une intensité environnementale croissante; cependant, cet effet n'est pas suffisamment marqué pour causer un mouvement excessif de dérive dans les environnements sous l'influence de conditions météorologiques plus violentes. Le temps requis pour tourner le navire face à la mer demeure le critère restrictif pour déterminer la force de remorquage minimum praticable. Il existe également une légère tendance à une faible diminution pour le remous de virage en ce qui concerne le temps nécessaire vers la mer debout et le temps pour arrêter les courbes dans les tracés similaires à la Figure 17; il est possible de déduire de ce fait que si un délai différent d'une heure était appliqué, l'influence en termes de pourcentage que cela aurait sur la force de remorquage nécessaire serait légèrement moins élevée dans des environnements plus agités. Les trajectoires des navires dans des environnements plus intenses ont des caractéristiques similaires, mais nécessitent généralement plus d'espace. On constate une tendance à une dérive globale vers le côté droit des tracés qui se manifeste plus clairement avec l'aggravement de l'intensité des conditions environnementales. Dans les conditions climatiques les plus hostiles (99e percentile), la force de remorquage praticable minimum est de 1 078 kN, et le mouvement maximum de dérive est de 2 560 m (1,38 NM). On peut examiner les détails de ces effets dans les tracés de l'Annexe B.

Gros porte-conteneurs, environnement du 50e percentile

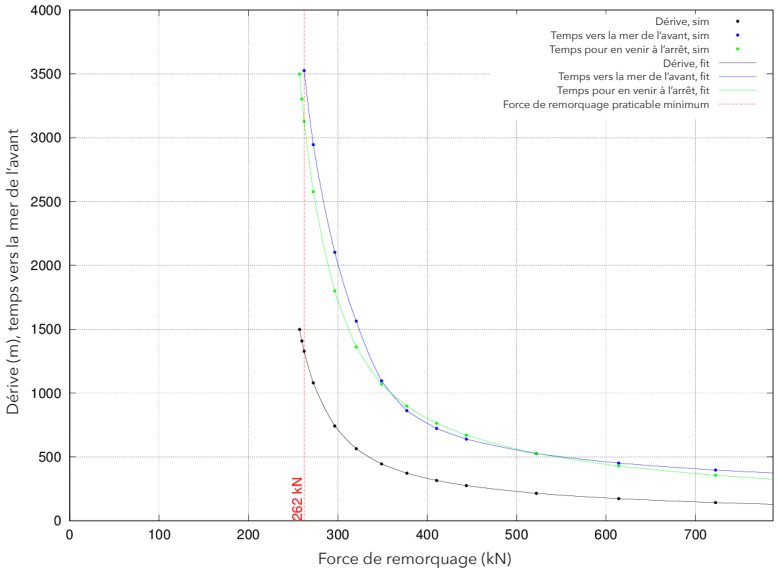


Figure 17. Gros porte-conteneurs, effet de la force de remorquage, environnement du 50e percentile

Gros porte-conteneurs, environnement du 50e percentile, traction de 262 kN, virage à bâbord de 360 degrés, cap au vent à 3526 s

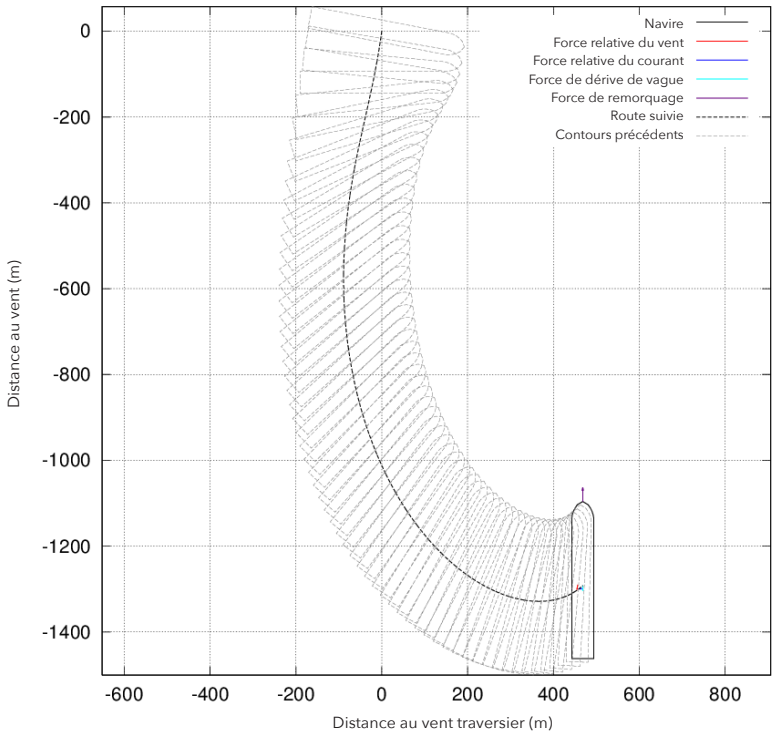


Figure 18. Trajectoire de gros porte-conteneurs avec force de remorquage praticable minimum, environnement du 50e percentile

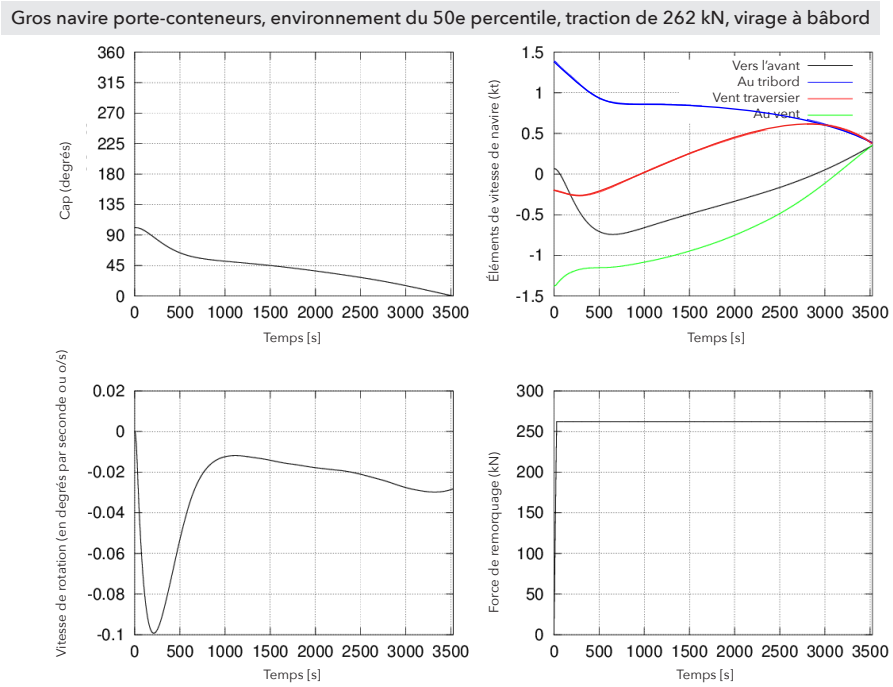


Figure 19. Gros porte-conteneurs - traces temporelles avec force de remorquage praticable minimum, environnement du 50e percentile

Des navires différents ont des proportions qui varient, nécessitant une variété de mécanismes ayant la capacité de les tourner proue vers la mer. Des observations générales concernant chaque navire sont fournies ci-dessous. Le navire-citerne est une donnée aberrante significative, car sa force de remorquage praticable minimum est régie davantage par le besoin d'absorber la très haute inertie du navire, alors que les forces environnementales ont tendance à dominer les autres navires.

- *Gros porte-conteneur :* virage vers la perpendiculaire accompli légèrement après l'arrêt du mouvement de dérive; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue).
- *Très gros porte-conteneur :* virage vers la perpendiculaire accompli légèrement après l'arrêt du mouvement de dérive; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue).
- *Méthanier :* virage vers la perpendiculaire et mouvement de dérive arrêté presqu'en même temps; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue). À des forces plus élevées de remorquage, le virage vers la perpendiculaire est pratiquement accompli avant que le mouvement vent arrière soit arrêté.
- *Transporteur de véhicules :* virage vers la perpendiculaire accompli légèrement après l'arrêt du mouvement de dérive; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue).
- *Navire de passagers :* virage vers la perpendiculaire accompli légèrement après l'arrêt du mouvement de dérive; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue). Le mouvement de dérive est près de 2 NM dans des environnements subissant des conditions plus fortes.
- *Vraquier :* virage vers la perpendiculaire accompli et mouvement de dérive arrêté à peu près en même temps; la trajectoire s'incurve vers la droite (proue). À des forces plus élevées de remorquage, le virage vers la perpendiculaire est accompli avant que le mouvement de dérive avec le vent soit arrêté.
- *Navire-citerne Aframax :* virage vers la perpendiculaire accompli bien avant l'arrêt du mouvement de dérive avec le vent, ce qui indique que le mouvement est dominé par les effets d'inertie plutôt que par des forces d'impulsion. Il se produit des oscillations décroissantes de cap et la dérive de déviation de trajectoire est vers la gauche. Le mouvement de dérive est relativement peu important.

Quoique l'analyse statique présentée dans la partie 3.2.1 constitue le principal moyen d'évaluation de l'influence du courant sur la force de remorquage nécessaire, un ensemble d'échantillons de simulations de virages a été effectué appliquant un courant de 1 nœud colinéaire avec la direction du vent et de la mer. Pour le gros porte-conteneurs dans l'environnement du 50e percentile, la Figure 20 montre l'influence de la force de remorquage sur le mouvement de la dérive et sur le temps pour l'accomplissement d'un virage vers la perpendiculaire et pour l'arrêt du mouvement de dérive avec le vent (en prenant en compte la vitesse sur le fond). Si l'on compare ces résultats avec la Figure 17, il est alors clair qu'il existe un mouvement de dérive plus élevé avec un courant de 1 nœud et une durée plus longue pour arrêter le mouvement de dérive avec le vent du navire. Toutefois, le navire tourne vers la perpendiculaire légèrement plus vite avec l'existence d'un courant. La raison en est que la vitesse de dérive initiale du navire est plus élevée et que, dans ces conditions, la vitesse relative du vent est diminuée et par conséquent les forces du vent et les moments sont réduits. On conclut donc de tous ces facteurs combinés que la limite de temps d'une heure pour arrêter le mouvement vent arrière sur le navire régit la force de remorquage limite avec un courant d'un nœud; dans le cas principal, sans courant, le facteur limitatif était le temps requis pour effectuer un virage vers la perpendiculaire. Le changement concernant la limite de force de remorquage est minime, passant de 262 kN sans courant à 265 kN avec un courant. Si l'on compare cependant la Figure 17 et la Figure 20, on peut voir qu'avec un courant, une force de remorquage plus élevée s'impose pour effectuer le virage dans le même mouvement de dérive (p. ex. pour un mouvement de dérive de 1 000 m, cela signifie en gros 280 kN sans courant par comparaison avec 350 kN avec courant).

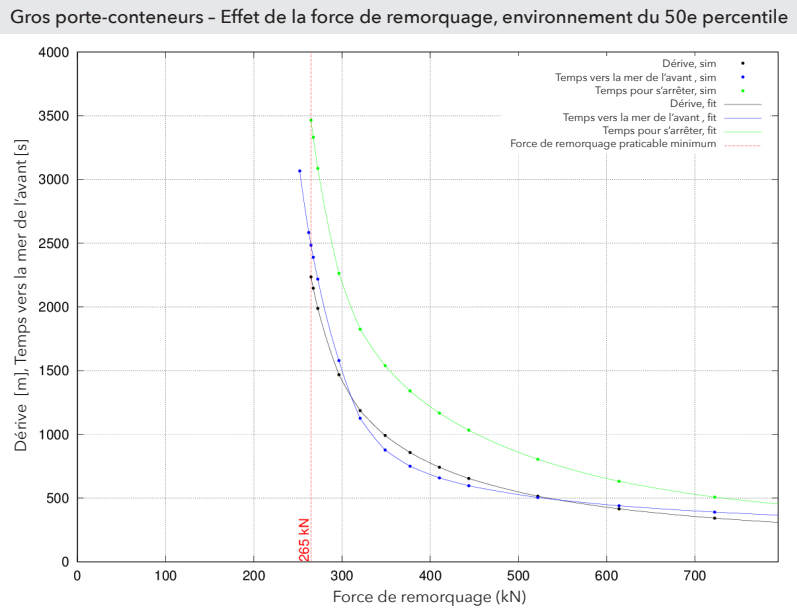


Figure 20. Gros porte-conteneurs –Effet de la force de remorquage, environnement du 50e percentile

3.2.3 Figures de résumés des résultats

Cette partie résume les résultats de l'analyse qui sont produits de la manière décrite dans les parties ci-dessus, et présentés de façon plus détaillée dans les annexes. L'ensemble complet des navires est couvert dans les Figures 21 à 26. Pour chaque navire, la force de remorquage, la force de virage et la force de maintien de position stable sont illustrées pour chacune des conditions météorologiques et océaniques examinées. Les forces de vent de côté sont également présentées, mais sont uniquement utilisées à titre d'information. On choisit alors la plus grande des forces ayant été utilisées dans les cas suivants : le virage, le maintien de position stable ou le remorquage. Il s'agit presque toujours de la force intervenant dans la manœuvre de virage. Sa valeur est alors utilisée pour déterminer l'exigence de traction du remorqueur d'urgence et la puissance de propulsion approximative en fonction des efficacités estimées des remorqueurs qui sont tirées de la Figure 11.

La force de remorquage du remorqueur est produite par les propulseurs (hélices et autres mécanismes), qui sont activés en retour par la puissance de la machinerie de propulsion. La puissance de traction (à faible vitesse ou à l'arrêt) de la force de remorquage est une fonction du propulseur et du type d'alimentation et dépend des détails du bâtiment et de la conception du propulseur. Aux fins de cette étude, une simple approximation a été employée pour établir un lien entre la force nécessaire de remorquage et la puissance du navire. Une démarche similaire citée dans NAS 1994, propose qu'une puissance au frein de 75 HP égale une tonne de traction fixe. Cette équation suppose que le remorqueur est muni d'hélices en tuyères; les hélices ouvertes auront un rendement de 20 à 30 % de moins. Conversion en des quantités métriques et après arrondissement (car il existe un niveau élevé de variabilité) :

Facteur de conversion : une tonne de traction est égale à 55 kW

Cette valeur est considérée raisonnable pour des remorqueurs de plus petite taille, mais tend à être quelque peu élevée pour de gros bâtiments. Par conséquent, une valeur plus conventionnelle de 1 tonne pour chaque 60 kW a été utilisée pour établir la Figure 26 ci-dessous.

Les résultats montrent que les forces de remorquage les plus élevées sont nécessaire pour des bâtiments porte-conteneurs à cause de leur fardage très haut. Pour des raisons similaires, les méthaniers et les navires de croisières viennent derrière en ce qui concerne des forces élevées de remorquage requises, et le navire-citerne Aframax demande la plus faible force de remorquage. Le résultat global le plus élevé, pour un porte-conteneurs très gros, demande une capacité de plus de 200 tonnes de traction. Le navire-citerne Aframax dans la même circonstance demande environ 90 tonnes.

Les forces et, plus encore, les exigences en matière de remorquage augmentent de manière très significative pour les cas de percentiles plus élevés. Du 85e au 95e percentile, on constate une hausse de près de 60 % dans les forces environnementales, ce qui se traduit par une augmentation de plus de 65 % en ce qui concerne la capacité de remorqueurs d'urgence en matière d'efficacités de remorquage.

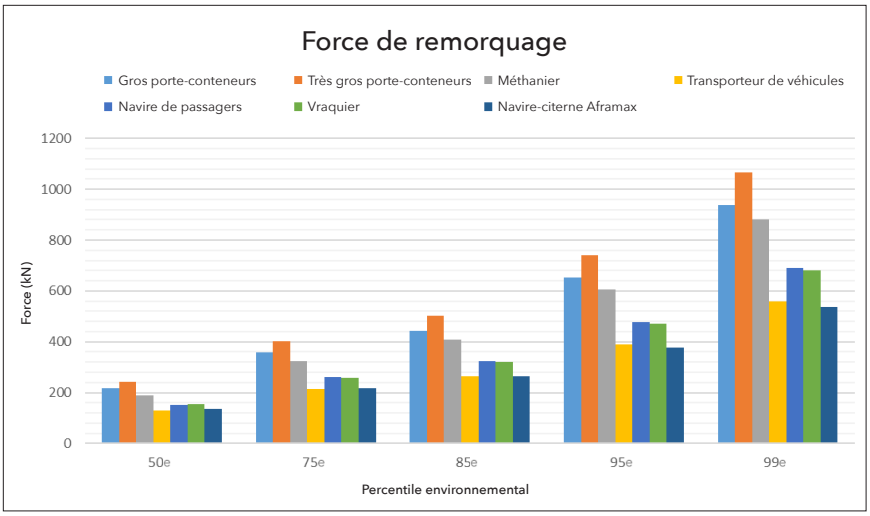


Figure 21. Résultats de forces de remorquage

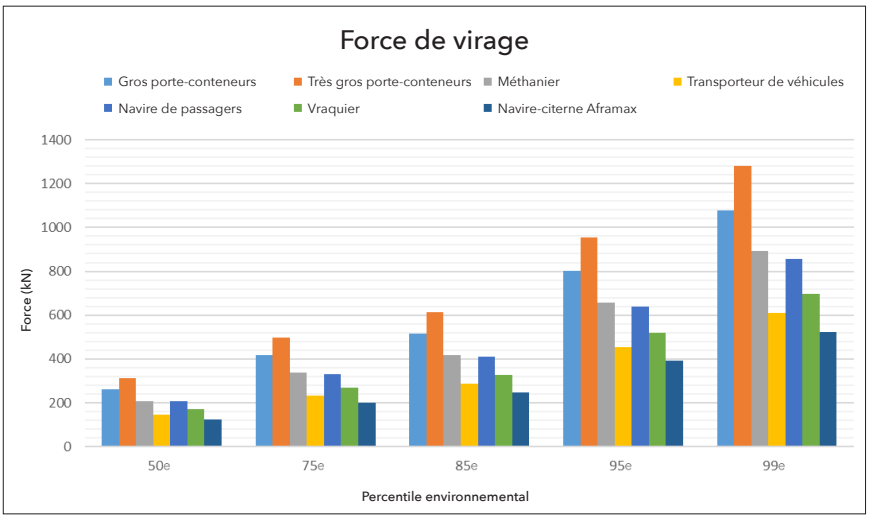


Figure 22. Résultats de force de virage

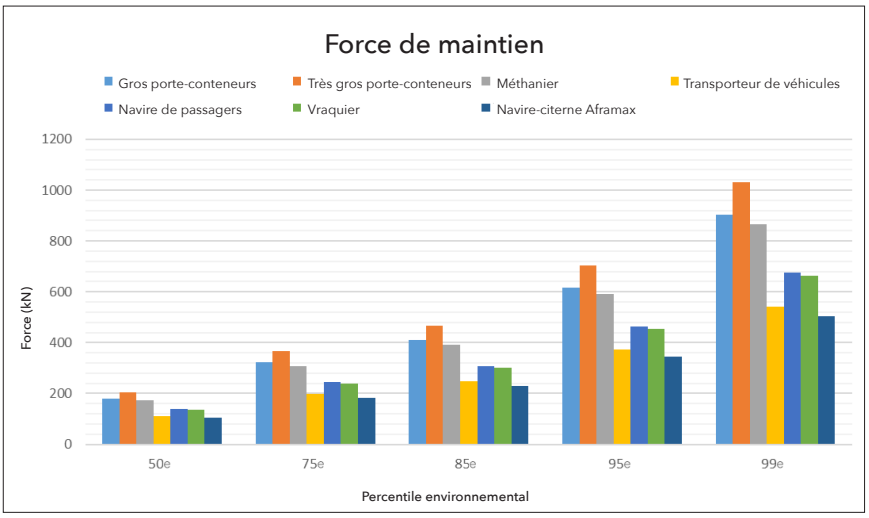


Figure 23. Résultats de force de maintien

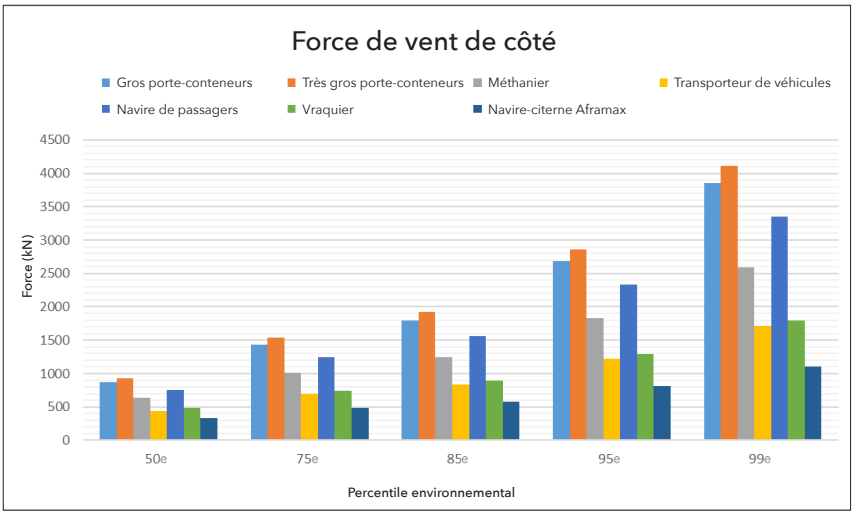


Figure 24. Résultats de force de vent de côté

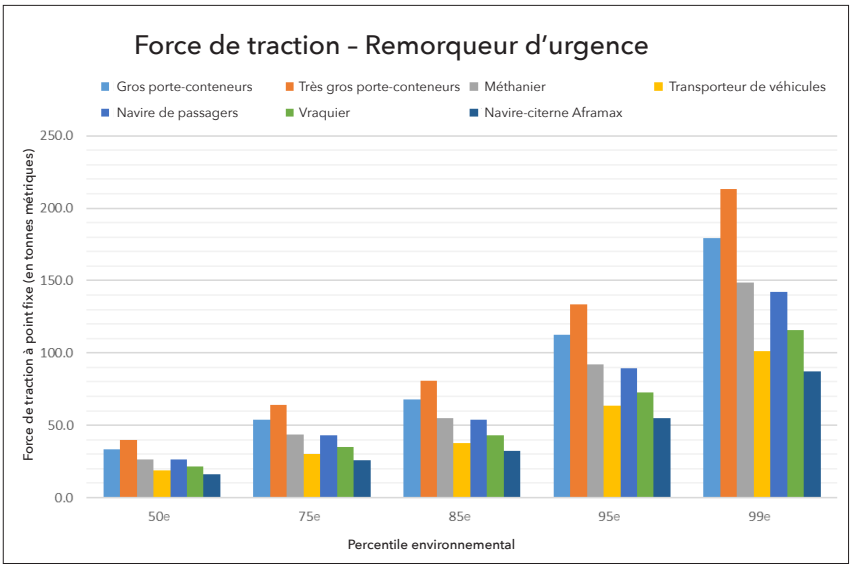


Figure 25. Remorqueur d'urgence - résultats de remorquage de traction à point fixe (répétition de la Figure 1.)

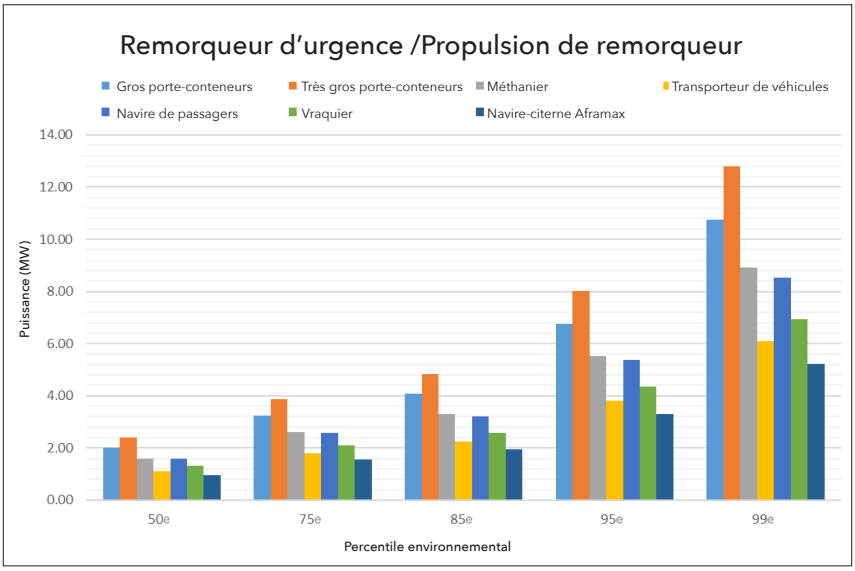


Figure 26. Remorqueur d'urgence /Résultats de propulsion de remorqueur

4.0 Exigences en matière de remorqueurs

La capacité d'un remorqueur d'assurer des opérations de remorquage sûres et efficaces dépend non seulement de la capacité de traction à un point fixe, mais est également influencée par d'autres facteurs, dont les caractéristiques générales du navire, l'équipement installé, et la formation et l'expérience de l'équipage. Parmi ces éléments, il faut compter :

- La taille du navire, y compris la longueur (LHT et ligne de flottaison), franc-bord et stabilité
- Le système de propulsion (y compris le type de propulsion, redondance, capacité de positionnement dynamique (PD))
- La vitesse libre et perte de vitesse dans les vagues
- L'autonomie et rayon d'action minimums; en tenant compte du transit, du remorquage et d'autres manœuvres
- Le type de treuil et d'équipement de remorquage, en tenant compte à la fois des capacités à l'avant et en arrière, et de l'équipement ainsi que de l'aménagement
- Les limites de mouvements d'équipage; en prenant en compte le mal de mer, l'interruption provoquée par le mouvement et autres paramètres
- Les brevets et certificats du personnel et leur formation.

Chacun de ces éléments est discuté ci-dessous dans le contexte de situations hypothétiques de remorquage sur la côte du Pacifique du Canada, en tenant compte de facteurs comme les surfaces marines qui doivent être couvertes et la disponibilité potentielle de ressources supplémentaires. Les types de paramètres d'exploitation de navires discutés ci-dessous devraient être pris en considération par le gouvernement et l'industrie lors de leur recherche de nouvel équipement de remorquage qui répondrait à l'évolution des exigences de capacité présentée par la circulation de navires commerciaux qui transitent et opèrent dans les eaux côtières canadiennes.

4.1 Taille de navire

De nombreux remorqueurs portuaires et remorqueurs d'escorte sont de très petite taille, tout en étant néanmoins des navires relativement très puissants qui sont, par exemple, dotés de forces de traction à point fixe d'environ 80 tonnes sur des navires qui peuvent mesurer seulement 30 m de longueur, ainsi que cela est montré dans la Figure 27.

Figure 27. Remorqueur de 30 m, doté d'une puissance de traction de 80 tonnes. [Image avec l'autorisation de Robert Allan.]

Ces types de remorqueurs souffrent cependant de graves limites de rendement en cours de service en haute mer, un environnement auquel leur conception ne se prête pas. Leur petite taille (notamment, la longueur) mène à des tangages et accélérations importants. Le peu de hauteur du franc-bord signifie que les ponts de travail seront très humides, posant des dangers pour le personnel, Même si les petits navires peuvent présenter et excéder toutes les exigences pertinentes de stabilité, leur faible masse relativement au navire remorqué signifie qu'un câble de remorquage peut exercer des forces de chavirement insoutenables dans le cas de quelque erreur d'exploitant. L'efficacité de remorquage de navires de plus petite taille dans des conditions météorologiques difficiles sera faible et leur force de traction nominale sera réduite considérablement.

La DNV conseille de ne pas prendre en considération les navires au-dessous de 40 m de longueur pour des remorquages en haute mer dans des régions hostiles et au cours des saisons où sévissent des conditions météorologiques difficiles, ce qui est applicable à la plupart des conditions rencontrées au large de la côte du Pacifique du Canada. Les plus récents nouveaux bâtiments de remorquage en haute mer et en récupération, illustrés dans la Figure 28, sont des navires de 90 m avec une traction à point fixe de 300 tonnes, et une proue perce-vagues qui est censée réduire le tangage et les charges de remorquage. Il existe relativement peu de navires récents qui ont été spécialement conçus pour le remorquage en haute mer et la récupération. On compte cependant une population beaucoup plus importante de navires extracôtiers qui ont été conçus comme releveurs d'ancres, et pour d'autres manœuvres avec des exigences similaires en matière de puissance de remorquage, dont certaines sont même de plus grande envergure et de plus haute puissance encore. Le record Guinness mondial actuel en matière de traction est le Far Samson avec une capacité de 425 tonnes. Comme on peut le constater sur la Figure 29, ce navire n'est pas conçu principalement pour des manœuvres de remorquage.

Figure 28. ALP Defender - Navire de remorquage en haute mer. [Image avec l'autorisation d'Ulstein.]

Figure 29. Far Samson, remorqueur à puissance de traction qui a sa place parmi les records Guinness [Image avec l'autorisation d'Ole K. Hammero, MarineTraffic.com.]

Les nouveaux navires ont un aspect très différent des remorqueurs traditionnels d'assistance en mer et de grand large, tel l'ancien remorqueur Smit Singapore qui est illustré dans la Figure 30. Ils ont cependant en commun des caractéristiques importantes, comme une longueur considérable, un treuil positionné au centre et un franc-bord élevé à l'avant, qui sont nécessaires dans la fonction de remorquage en haute mer. La longueur et la forme de proue sont importantes pour le fonctionnement du navire et pour la vitesse, notamment par gros temps. Le positionnement central du treuil facilite la manœuvrabilité pendant le remorquage. Le haut franc bord réduit l'humidité sur le pont. Il existe un débat au sujet des avantages et des désavantages de la forme de coque à étrave inversée dans la Figure 28, qui diminue le pas du navire dans certains cas, mais supprime un pont de travail qui peut s'avérer utile pour un remorquage par gros temps.

Figure 30. Smit Singapore; remorqueur « conventionnel » d'assistance [Image avec l'autorisation de Mac Mackay, tugfaxblogspot.blogspot.com.]

4.2 Système de propulsion

Les remorqueurs et autres navires de remorquage sont munis de systèmes de propulsion très variés, mais on observe une tendance grandissante dans les bâtiments plus gros à utiliser entièrement ou partiellement un appareil de propulsion électrique associé à quelque forme de propulseur azimutal. La propulsion électrique offre la souplesse d'installer l'appareil électrique dans le navire et de diriger l'alimentation électrique vers tout propulseur ou pièce d'équipement importante qui en a besoin. C'est cependant un système plus onéreux que la propulsion mécanique et qui a un rendement optimal global plus faible, bien que cela puisse être compensé par un meilleur équilibre des charges avec la capacité du moteur. Les systèmes de propulsion électrique peuvent également assurer une redondance en divisant la production électrique entre de nombreuses unités dans des locaux de machines distincts, pour qu'une panne ou un accident unique n'immobilise pas le navire.

Les propulseurs azimutaux contribuent à la manœuvrabilité du navire et à sa capacité de positionnement dynamique (PD). Dans les navires plus longs, pour avoir une bonne manœuvrabilité et un PD, on a besoin d'une propulsion d'étrave et arrière, qui peut être assurée par les propulseurs transversaux en tunnel ou (habituellement) par des unités azimutales rétractables. Pour effectuer un remorquage, il n'est pas nécessaire d'avoir une capacité PD réelle, mais ces mêmes attributs sont très utiles pour permettre au navire de remorquage de maintenir sa position et de rectifier le cap pendant la manutention du câble ou la récupération de l'équipement de sauvetage. Il en est également ainsi avec la redondance : le fait d'avoir une bonne redondance augmente la sécurité dans les opérations dans des situations où les bateaux sont proches. On utilise des cotes standardisées pour les niveaux de PD (PD 1, 2 et 3 dans un ordre croissant). Pour une redondance plus générale, les sociétés de classification ont leurs propres cotes, qui sont en général similaires entre elles.

Figure 31. Propulseur azimutal avec hélice en tuyère (Illustration avec l'autorisation de Marine Propulsion Solutions)

Les hélices sur des arbres ou des unités azimutales peuvent être fixées ou être munies d'un pas variable; elles peuvent être ouvertes ou dans des conduits (en tuyères) comme l'illustre la Figure 31. Avec une motricité électrique, il est normal d'utiliser un système à pas fixe, car la vitesse de l'arbre peut varier selon la vitesse du moteur. Les transmissions mécaniques ont moins de souplesse en matière de vitesse et sont donc souvent combinées à des hélices à pas variable pour permettre à la propulsion d'avoir la variété requise. Les hélices peuvent être optimisées pour la vitesse ou pour une poussée (au point fixe) à une vitesse réduite. En général, pour les navires de remorquage, l'optimisation vise à obtenir une meilleure poussée, qui réduira les vitesses maximales dans une certaine mesure. Les tuyères peuvent augmenter une poussée à faible vitesse jusqu'à concurrence de 30 % et sont donc installées dans la plupart des navires de remorquage. Une bonne tuyère pour la poussée augmentera la résistance à haute vitesse; par conséquent, les concepteurs et les propriétaires feront des choix en fonction du profil de mission du navire.

4.3 Vitesse de navire

Pour la plupart des navires de remorquage, et certainement dans le cas de remorqueurs portuaires et d'escorte, une haute vitesse de pointe n'est pas une priorité. En effet, ils manœuvreront des bâtiments importants à des vitesses réduites dans les eaux côtières et peuvent souvent être positionnés à l'avance pour ces opérations. Les remorquages en haute mer sont généralement effectués à des vitesses modérées et l'équipement de remorquage d'urgence est prévu pour des vitesses de six nœuds ou moins. Le seul aspect des opérations qui exige de la vitesse est le besoin d'arriver à temps sur les lieux de l'accident.

La haute puissance de la plupart des navires de remorquage ne se traduit pas par des vitesses de pointe très élevées en raison de la forme de la coque et des choix effectués en matière de traction et de rendement en eau libre discutés ci-dessus. En général, un navire plus long se déplacera plus rapidement qu'un autre de moindre longueur, mais même le navire de 90 m, qui est illustré dans la Figure 32, est censé avoir uniquement une vitesse maximale de 19 nœuds. La plupart des remorqueurs de haute mer et des navires de soutien hauturier à haute traction ont des vitesses maximales de 16 nœuds ou moins.

Les vitesses maximales seront réduites par la perte de vitesse dans les vagues, un effet qui peut être d'envergure dans des mers agitées, ainsi que cela est apparent dans la Figure 32. Cette illustration montre le navire de remorquage d'urgence français Abeille Bourbon, dont la vitesse maximale de 20 nœuds dans une mer 2 est réduite à 16,5 nœuds dans une mer 7 (Bourbon, 2018). Dans ce cas également, la taille, la longueur et la forme de la coque constituent des éléments importants. Pour tout navire, la perte de vitesse dans des climats de vagues différents peut être estimée par une analyse ou par des essais portant sur des prototypes pour contribuer à fournir des durées réalistes pour le trajet, et ce facteur devrait être pris en compte dans des décisions qui pourraient concerner l'endroit où devraient être stationnés les remorqueurs d'urgence ainsi que le nombre de remorqueurs qui sont nécessaires pour fournir une aide efficace.

Figure 32. Navire au large des côtes affrontant les vagues. (Photo avec l'autorisation de Bourbon.)

4.4 Autonomie et rayon d'action

Une puissance élevée demande une forte consommation de combustible. La plupart des remorqueurs de port et de haute mer, n'utilisent pas toute leur puissance la plupart du temps, et emploient des modes et des vitesses économiques pour leur navigation. Ils doivent toutefois disposer de suffisamment de réserve de carburant pour toutes les opérations du navire qui sont prévues. Au maximum, le navire illustré dans la Figure 28 déclare posséder une autonomie suffisante pour un remorquage transpacifique. Au minimum, de nombreux remorqueurs de port s'attendront à retourner régulièrement, sinon de façon quotidienne, au port pour faire le plein et s'approvisionner.

Pour un remorquage d'urgence en haute mer, dans le cadre de l'autonomie et du rayon d'action requis, il est nécessaire de tenir compte des facteurs suivants : déplacement pour parvenir sur les lieux d'un incident à haute vitesse, remorquage demandant une puissance élevée pour la durée entière d'un système orageux de tempête, et marge de temps pour préparer le remorquage et pour des facteurs imprévus.

Cela se traduit par un volume important de réserve de carburant (en fonction du système de puissance installé). La plupart des navires de type hauturier auront suffisamment de volume et de port en lourd total pour permettre cette opération, bien qu'un navire reconverti puisse avoir besoin de quelques modifications pour régler l'équilibre entre le combustible et les capacités en matière de cargaison. Les remorqueurs de taille plus petite ne possèdent probablement pas une autonomie suffisante pour une mission au large importante, mais ils peuvent être capables d'assurer des services de première intervention en attendant l'arrivée de secours.

4.5 Treuils et équipement de remorquage

Un navire moderne de remorquage sera habituellement muni d'un système comprenant un treuil de remorquage, des goupilles et des stoppeurs « shark jaws » en forme de mâchoire de requin. Ces stoppeurs qui attrapent et verrouillent le câble de remorque pendant des opérations telles que le relevage d'ancre sont moins susceptibles d'être utilisés dans des remorquages d'intervention d'urgence car ils ne peuvent compenser les charges dynamiques de la même manière qu'un treuil d'arrimage autoréglable. Les goupilles, ainsi que les stoppeurs « shark jaws », qui guident le câble de remorque, sont rétractables et rentrent dans le pont quand ils ne sont pas utilisés. (Figure 33).

Figure 33. Stoppeurs « shark jaws » et goupilles (Photo avec l'autorisation de Wikipédia)

Les gros treuils de remorque sont souvent du type en cascade, avec plusieurs tambours en cascade pour fournir une combinaison de capacité élevée et d'intervention rapide (Figure 34). Traditionnellement, les plus gros treuils étaient hydrauliques, mais les options électriques sont de plus en plus populaires à cause du moindre entretien requis et des commandes de plus en plus perfectionnées. Nombre de fournisseurs offrent des treuils de remorque de 300 tonnes, plus une charge que peut supporter en toute sécurité le dispositif. La capacité du treuil de remorque sera normalement du même ordre que celle de la traction à un point fixe du navire, tout en tenant compte de surcharges dynamiques. D'une manière similaire, les points de fixation des équipements de pont et la force de rupture des câbles de remorque doivent tenir compte des effets dynamiques. Pour un remorquage en haute mer, des facteurs de sécurité d'au moins 2 sont généralement exigés, p. ex. un navire ayant une traction à point fixe de 100 tonnes devrait avoir des points de fixation, de l'équipement et un câble de remorquage apte à soutenir une force de 200 tonnes. Des sociétés de classification différentes ont des règles différentes en quelque mesure dans ce domaine. Par exemple, DNVGL prescrit des facteurs de sécurité entre 2,2 et 3,0, qui diminuent avec une traction à point fixe plus élevée (DNVGL Veristar Marine Operations, 2015).

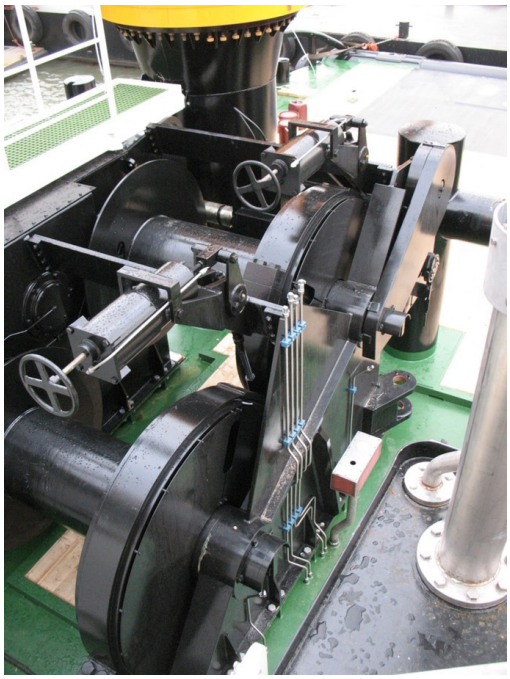


Figure 34. Treuil de remorquage [Photo avec l'autorisation de Kraaijeveld Winches.]

Les câbles de remorques sont en général des câbles en acier ou en fibres synthétiques, les câbles en acier étant choisis pour les capacités plus importantes. Ces deux outils sont susceptibles de se détériorer avec l'usage, et il est important de les inspecter régulièrement et de les remplacer fréquemment. Le choix de la longueur d'un câble de remorque dépend en grande partie du savoir-faire de l'opérateur. Dans des conditions plus agitées, il est nécessaire d'utiliser de longs câbles permettant une chaînette qui peut absorber certains des effets dynamiques. En conséquence, le treuil de remorquage doit être d'une taille suffisante pour accommoder les longueurs requises. En plus du câble de remorque principal, un câble d'urgence devrait être déployé, en parallèle, pour assurer une récupération facile, au cas où le premier câble ne suffirait pas. Ce câble demeurera lâche, jusqu'à ce qu'il soit nécessaire. Dans certains cas, il peut devenir nécessaire d'entamer un remorquage en passant un filin porte-amarre, qui peut être attrapé et dont le maniement est plus facile pour l'équipage du navire qui doit être remorqué. Ensuite, des câbles plus épais peuvent être utilisés et, en fin de compte, être connectés au câble de remorque même.

Les dispositions et procédures en matière de remorquage doivent aussi tenir compte des capacités du navire qui est remorqué, conformément à la discussion à la partie 2.3.2. Un remorqueur puissant peut être capable d'imposer une surcharge aux équipements de pont du navire, et par conséquent, il peut être approprié pour le remorqueur de disposer de freins ou de réglages de tension du câble sur les treuils.

4.6 Certification et formation de l'équipage

Bien que les interventions de remorquage soient des activités spécialisées, difficiles et potentiellement dangereuses, à l'heure actuelle, aucune formation particulière ou exigence en matière de certification n'est requise pour les capitaines ou les équipages de navires de remorquage au Canada ou dans la plupart des autres juridictions. Transports Canada se fie aux dispositions générales des règlements concernant le personnel qui exigent de tous les membres d'équipage d'avoir des compétences appropriées. Les sociétés de remorqueurs et d'unités remorquées, y compris celles qui sont sur la côte du Pacifique, fixent leurs propres exigences en matière d'expérience pour leur personnel et, dans de nombreux cas, offriront des cours de formation par le biais des écoles navales et autres centres de services de formation. Ces cours peuvent présenter des niveaux variables de perfectionnement et d'intensité.

En Scandinavie, l'intensification de l'attention exercée sur le remorquage d'urgence a suscité la création de plusieurs cours spécifiques portant sur le remorquage d'urgence, tel le cours par Force Technology au Danemark (Force Technology, 2018). Ce dernier comporte des leçons, des exercices de simulation et des comptes rendus en utilisant des outils perfectionnés rejouant des écrans. Des simulateurs sont disponibles pour plusieurs types et configurations de navires de remorquage.

4.7 Restrictions concernant les équipages

Une intervention de remorquage d'urgence demandera à l'équipage du remorqueur de se mobiliser, de se rendre sur les lieux, d'établir le remorquage, de maintenir en place ce remorquage et de ramener le navire qui a fait l'objet d'un sauvetage à un port ou à un autre lieu sécuritaire. Plusieurs de ces étapes peuvent présenter des niveaux importants d'effort, de tension, de conditions pénibles et de risques. Les mouvements de navires influenceront tous ces éléments et le niveau de fatigue ressenti par l'équipage.

Une méthode couramment employée est d'évaluer l'influence des mouvements du navire dans les vagues sur la capacité d'un navire au moyen de critères de mouvements fondés sur la tâche à accomplir. Les mouvements du navire sont calculés et comparés à ces critères dans les conditions marines, les vitesses et les caps pertinents pour chaque tâche. La Table 9 montre les critères suggérés pour les tâches qui peuvent avoir lieu ou qui interviendront dans le remorquage d'urgence. Dans les rangées de la Table 10 où figurent plusieurs tâches, les critères de mouvements associés à toutes les tâches sur la liste devraient être observés. Dans la plupart des cas, les critères sont tirés de pratiques navales, car cela représente un domaine où les marines ont entrepris la grande partie de la recherche la plus utile.

Table 9. Critère de mouvements d'après la tâche effectuée

Tâche	Lieu	Mouvement	Critère	Référence
Tâches générales	Passerelle de navigation, 1 m au-dessus du pont du navire	Interruptions dues au mouvement	≤ 1/min	STANAG 4154
		Valeur moyenne quadratique : accélération verticale	≤ 0,2 g	STANAG 4154
	Hélice, ¼ du diamètre de l'hélice au-dessus de l'arbre	Émergences	≤ 90/hr	STANAG 4154
	Quille, 15 % en arrière de la perpendiculaire en avant	Ballottement	≤ 20/hr	STANAG 4154
	Extrémité avant de pont exposé (gaillard d'avant)	Humidité du pont	≤ 30/hr	STANAG 4154
Travail sur plage arrière	Plage arrière, 1 m au-dessus du pont	Interruptions dues au mouvement	≤ 0,5/min	STANAG 4154
		Valeur moyenne quadratique - accélération verticale	≤ 0,2 g	STANAG 4154
	Livet de pont	Humidité du pont	≤ 0,5/hr	STANAG 4154
	Livet de pont, manutention de câbles	Mouvement vertical relatif	TBD	
Décollage/ appontage d'hélicoptère	s/o	Valeur moyenne quadratique : roulis	≤ 2,5°	STANAG 4154
		Valeur moyenne quadratique : tangage	≤ 1,5°	STANAG 4154

Table 10. Combinaison pertinente de tâches, de caps et de vitesses

Phase – intervention de remorquage d'urgence	Tâches	Vitesses	Caps	Base
Voyage jusqu'au lieu de l'accident	Générales, travail sur plage arrière (préparation)	De croisière	N'importe lequel	La liberté de choisir un cap est importante pour l'arrivée au site. Les éventails de caps interdits, le cas échéant, devraient être étroits.
Intervention de l'hélicoptère	Générales, Décollage de l'hélicoptère/ appontage	De zéro à modérée, et de croisière	Quelques caps près de mers de l'avant	Il peut être pratique de prendre un cap /une vitesse préférés pendant une courte période pour effectuer le décollage ou l'appontage d´hélicoptère, et cette activité peut se produire près du lieu de l'incident ou pendant que le navire de remorquage est encore en route vers le site de l'accident.
Établissement du remorquage	Générales, travail sur plage arrière	Manœuvre à faible vitesse vers l'avant et l'arrière	La plupart, près de mers de l'avant est un élément critique	Adopte une position en amont, poupe à la proue du navire qui doit être remorqué
Remorquage	Générales, travail sur plage arrière	De vitesse faible à modérée	La plupart; près de mers de l'avant est un élément critique	Quelques caps interdits peuvent être acceptables, mais quand il y a un espace de manœuvre limité, il est important de tenter de se diriger vers les mers de l'avant pour prévenir la dérive vers la rive sous le vent.

Normalement, les mouvements devraient être évalués aux endroits où auraient lieu les tâches à effectuer. Pour les tâches qui ont cours dans des lieux variés (comme la plage arrière), il faudrait utiliser le pire endroit qui soit réaliste. Dans ce calcul entreraient donc des postes réalistes d'équipage qui sont situés vers l'extérieur ou loin du centre de gravité du navire, des endroits où les pavois sont supprimés ou découpés, etc.

La phrase « Interruptions dues au mouvement » figurant dans la Table 9 prédit le nombre de fois par minute où l'attention d'un membre serait distraite de la tâche à accomplir pour maintenir ou rétablir un équilibre en position debout. La méthode de calcul est standardisée et fondée sur un modèle simplifié. Dans ce modèle, le membre de l'équipage, traité comme un simple bloc rigide, basculerait ou glisserait par suite de la combinaison d'effets du roulis, du tangage et d'accélérations dans des directions verticales, latérales et longitudinales. Pour les interventions de remorquage, y compris des tâches critiques effectuées sur le pont, le modèle est important tant pour la sécurité de l'équipage que pour la réussite du remorquage.

Le mal de mer est susceptible de constituer un facteur important dans des interventions de remorquage qui ont cours sous des conditions métrologiques extrêmes parce que l'équipage n'aura probablement pas le temps de s'habituer aux mouvements au préalable et peut ne pas avoir l'occasion de prendre des mesures qui en atténueraient les effets, comme l'application d'un timbre contre le mal de mer. Malheureusement, le mal de mer d'un équipage de marins qui ont été mobilisés rapidement n'est pas un sujet qui est particulièrement étudié. Il est donc difficile de fournir un critère exact. La norme STANAG 4154 de l'OTAN recommande soit l'utilisation de l'indice de mal des transports ou un critère d'accélération verticale. Le critère de la valeur moyenne quadratique pondérée en accélération verticale est recommandé dans le cas présent car on a constaté que l'indice du mal des transports prédit des résultats extrêmement élevés. Une autre possibilité qui peut être prise en considération est la valeur dose cinétose (MSDV), selon la définition donnée dans l'ISO. La norme ISO montre comment le calcul peut être effectué sur la base d'une intégration pondérée de fréquence du spectre d'accélération verticale qui serait combiné à la durée de l'exposition pour déterminer la valeur dose cinétose. Le pourcentage associé de l'équipage atteint du mal de mer est estimé être de MSDV/3 pour une population générale d'hommes et de femmes qui ne sont pas adaptés à l'environnement agité. Le chiffre peut être plus faible pour un équipage travaillant normalement sur un navire.

Le mouvement vertical relatif est isolé en tant que critère à déterminer (TBD) à un endroit à proximité du livet de pont où est effectuée la manipulation du câble. Cet élément est recommandé comme une mesure du degré auquel le mouvement relatif entre les vagues et le navire compromet la capacité de faire passer et de récupérer des filins porte-amarre et des câbles de remorque plus importants. Même si le mouvement relatif entre le pont de travail et le navire remorqué peut être également très marqué, il variera d'un navire remorqué à un autre, et il est donc bien plus difficile de comprendre cet élément comme exigence pour un navire de remorquage. Il est donc nécessaire de poursuivre la recherche pour quantifier un critère approprié; idéalement, elle tiendrait compte de données sur le terrain.

Bien qu'il existe des critères pour les hélicoptères commerciaux, la recommandation effectuée ici porte sur des critères maritimes pour la raison qu'un remorqueur d'urgence réservé à cet usage est susceptible de collaborer avec des pilotes et un équipage de vol qui possèdent une formation particulière pour effectuer ce type d'intervention sous des conditions météorologiques extrêmes. Si le navire et l'équipage sont exploités plutôt comme une activité commerciale, il serait plus approprié d'utiliser des critères concernant les mouvements d'hélicoptères commerciaux, tels ceux recommandés par l'organisme Helideck Certification Agency (Voir la liste sur les limitations de pont d'envol pour hélicoptère, Partie C, de la manière interprétée dans la publication CAA 2008/03). Ce document définit les critères pour les interventions de nuit et de jour sur la base de la configuration du navire et de la taille de l'hélicoptère.

La Table 10 recommande des gammes de caps et de vitesses en tenant compte du moment et de la manière dont ces tâches peuvent être effectuées. Toutefois, si la configuration d'un remorqueur particulier ou l'intervention prévue s'avère différente de la base indiquée dans la table, il serait approprié de régler les gammes de caps et de vitesses en fonction des meilleurs moyens de faire fonctionner ce navire particulier.

En matière de conception ou de choix de remorqueur, cela signifie que ces exigences associées aux mouvements tendront à s'appliquer à un navire qui n'est pas de petite taille, possède un bon franc-bord et a de bonnes caractéristiques de roulis. En vue de posséder des caractéristiques de roulis adéquates pour permettre des activités en sécurité sur la plage arrière du remorqueur (en d'autres termes, pour satisfaire le critère MII (interruptions dues aux mouvements)), le navire de remorquage devra probablement être muni de quelque dispositif de stabilisation de roulis, comme des quilles de roulis ou des stabilisateurs de réservoir. La prudence est recommandée en ce qui concerne une stabilisation active par la poussée azimutale, car elle peut provoquer des mouvements excessifs de lacets qui causeront de la difficulté dans les activités. La longueur du navire contribuera à atténuer les mouvements de tangage et leur influence sur la plupart des critères spécifiés. Un long navire peut également présenter un bon emplacement de pont d'envol pour hélicoptère.

4.8 Autres considérations

Un remorqueur d'urgence peut être équipé d'autres dispositifs fournissant de l'assistance dans une intervention en cas d'incident ou d'atténuation de ses conséquences. Disposer d'un port d'atterrissage d'hélicoptère ou du moins d'une zone de treuillage appropriée peut s'avérer utile pour une évacuation sanitaire, avec le passage de filins porte-amarre, ainsi que la venue du personnel de sauvetage sur un navire désemparé pour contribuer à mettre en place un câble de remorque. Peu de navires ont une taille ou un équipement suffisant pour l'atterrissage d'un gros hélicoptère de recherche et de sauvetage dans des conditions météorologiques extrêmes de vents et de vagues, mais il peut s'établir une collaboration entre les intervenants pour augmenter leur efficacité mutuelle.

Le remorqueur d'urgence lui-même peut devoir prendre une part active en repêchant les évacués de l'eau avec un équipement de sauvetage comme des canots et des bateaux de sauvetage ou à partir du navire désemparé. Cette intervention sera facilitée si les deux bâtiments partagent les mêmes genres de dispositifs en matière de conception et d'équipement que ceux qui se trouvent sur les navires de réserve au large des côtes, y compris quelque forme d'installations de soins médicaux et la capacité de fournir de la nourriture et des vêtements aux survivants. Ainsi que cela est mentionné, un dispositif stabilisateur de roulis peut également être fortement désirable.

Dans des circonstances extrêmes, au cas où un remorqueur d'urgence ne peut empêcher un navire de s'échouer, par exemple, par suite d'un manque de capacité de remorquage, sur l'un des navires ou les deux, il peut s'avérer nécessaire de choisir l'endroit le plus approprié pour l'échouement, par exemple sur une plage plutôt que sur des rochers. Le remorqueur peut avoir l'équipement requis pour lancer une intervention en cas de déversement en déployant des barrages flottants et des écrémeurs, et par l'usage d'agents dispersants, en fonction de l'endroit et des conditions.

Selon la taille et la conception du remorqueur, certains de ces facteurs peuvent être relativement faciles à incorporer au lieu de représenter des facteurs importants en matière de conception et de frais.

5.0 Sommaire

Ce rapport présente les résultats d'un groupe d'analyses portant sur les forces de remorquage qui sont requises pour arrêter, tourner et remorquer à de faibles vitesses un ensemble de navires importants de types différents. Les analyses tiennent compte des facteurs divers de vent, de vagues, et de courant pour établir des probabilités variées d'excédence fondées sur les données spécifiques météorologiques et océaniques de la côte du Pacifique, mais elles sont aussi applicables aux autres régions exerçant un transport commercial au Canada. Les exigences en matière de force de remorquage sont liées à la capacité du navire de remorquage, sans oublier que l'efficacité du remorquage diminue dans des conditions de vents élevés et de mers agitées.

Pour la plupart des types de navires, le composant de la résistance du vent domine les forces qui s'exercent sur le navire, ce qui signifie que les navires à fardage élevé, comme les porte-conteneurs chargés, représentent de plus grands défis pour les remorqueurs que les navires-citernes. Toutefois, les sociétés de classification recommandent typiquement que ces navires possèdent une traction à un point fixe minimum pour un fonctionnement normal et non pour le remorquage d'urgence. Cela rend donc difficile d'évaluer avec confiance si ces navires seraient en mesure de répondre aux exigences requises dans le pire des scénarios. Seuls les navires-citernes sont obligés par la convention SOLAS d'être équipés de dispositifs de remorquage qui répondront aux besoins dans les pires éventualités et d'avoir des équipements de remorquage d'urgence appropriés qui peuvent être déployés rapidement.

Au 50e percentile pour le vent et les vagues, les forces de remorquage (mesurées en traction à un point fixe) pour maintenir une position s'échelonnent entre 16 et 40 tonnes pour les sept navires. Dans des conditions environnementales du 99e percentile, ces forces varient respectivement de 90 à 210 tonnes pour le pétrolier Aframax et le très gros bâtiment de porte-conteneurs.

Le rapport présente un résumé des divers facteurs qui peuvent influencer l'efficacité des remorqueurs, de toute nature, dans des situations d'urgence, depuis la taille et la puissance du navire à la compétence de l'équipage. Cette information devrait être utile pour établir les exigences applicables aux futurs navires de remorquage et aux capacités en cas d'intervention d'urgence en général.

6.0 Références bibliographiques

Alaska ETS Workgroup. *Alaska Emergency Towing System (ETS) Procedures Manual*. V004 (janvier 2014).

Allan, Robert G. et Andra Papuc. *Predicting Tug Behaviour by Analysis of the Rated Performance of Coastal Tugs*. Article présenté à la International Tug & Salvage Convention (17 mai 2010).

Berg, T.E. et coll. « Training Course for Personnel Involved in Emergency Towing Operations », *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 4, no 3 (septembre 2010), p. 279–286.

Bourbon. *Abeille Bourbon – Abellie Liberté*. <https://web.archive.org/web/20140508025428> <http://www.bourbon-online.com/en/fleet/assistance-salvage-and-pollution-remediation-tugs/abeille-bourbon> (13 juillet 2018).

CAA. « Helideck design considerations – environmental effects », *CAA Paper. 2008/03* (juillet 2009).

Clear Seas. *Analyse de la dérive des navires et de l'intervention sur la côte canadienne du Pacifique* (mars 2018).

DNVGL Veristar Marine Operations. « Sea transport operations (Norme VMO – Partie 2-2) », *Offshore Standard DNV-OS-H202* (15 octobre 2015).

Force Technology. Emergency Towing Training. <https://forcetechnology.com/en/courses-and-training/maritime-and-transport/maritime-courses/emergency-towing-training> (13 juillet 2018).

Graham, R. « Motion-Induced Interruptions as ship operability criteria », *Naval Engineers Journal*, vol. 102, no 2 (1990), p. 65-71.

Glosten. Emergency Vessel Attachment & Towing System: Compliance, Designs, Environmental, One-of-a-kind. <http://glosten.com/sectors/emergency-vessel-attachment-towing-system/> (1er août 2018).

Helideck Certification Agency. « Helideck Limitations List, Part C », *HLL* no 04 (décembre 2015).

Hystad, Sigurd W. et Jarle Eid. « Sleep and Fatigue Among Seafarers: The Role of Environmental Stressors, Duration at Sea, and Psychological Capital », *Safety and Health at Work 7* (2016), p. 363-371.

L'OTAN. « Common procedures for seakeeping in the ship design process », *Norme STANAG 4154 de l'OTAN*, 3e édition (13 décembre 2000).

Organisation internationale de normalisation (1997). « Vibrations et chocs mécaniques – Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Partie 1 : Spécifications générales », ISO-2631-1, deuxième édition (15 juillet 1997).

Robert Allan Ltd. *An Evaluation of Local Escort and Rescue Tug Capabilities in Juan de Fuca Strait*. 3e révision (27 novembre 2013).

The Maritime Safety Committee (Comité de la sécurité maritime) (MSC). « Résolution MSC .35(63) », *Adoption of Guidelines for Emergency Towing Arrangements on Tankers*, Annexe 7 (20 mai 1994).

The Shipowner's Club. *Tugs and Tows – A Practical Safety and Operational Guide* (6 août 2015). Appendice A. Consultations.

Appendix A

7.0 Appendix A.1: Beam Seas Forces

7.1 Total Forces

Beam Seas – Total Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-870	-1435	-1798	-2682	-3858
Very Large Container Ship	-933	-1535	-1921	-2862	-4114
LNG Carrier	-641	-1017	-1247	-1828	-2591
Vehicle Carrier	-442	-690	-838	-1218	-1715
Passenger Ship	-753	-1244	-1560	-2329	-3351
Bulk Carrier	-484	-742	-893	-1288	-1800
Aframax Tanker	-331	-488	-573	-807	-1106
LNG Carrier (Trimmed)	-621	-979	-1196	-1748	-2472

7.2 Wind Forces

Beam Seas – Wind Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-572	-1067	-1423	-2223	-3316
Very Large Container Ship	-607	-1133	-1511	-2360	-3521
LNG Carrier	-358	-669	-891	-1393	-2078
Vehicle Carrier	-229	-427	-570	-890	-1328
Passenger Ship	-498	-929	-1239	-1935	-2887
Bulk Carrier	-231	-432	-576	-900	-1342
Aframax Tanker	-127	-237	-315	-493	-735
LNG Carrier (Trimmed)	-338	-630	-840	-1313	-1959

Beam Seas – Wind Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	66%	74%	79%	83%	86%
Very Large Container Ship	65%	74%	79%	82%	86%
LNG Carrier	56%	66%	71%	76%	80%
Vehicle Carrier	52%	62%	68%	73%	77%
Passenger Ship	66%	75%	79%	83%	86%
Bulk Carrier	48%	58%	65%	70%	75%
Aframax Tanker	38%	49%	55%	61%	66%
LNG Carrier (Trimmed)	54%	64%	70%	75%	79%

7.3 Wave Forces

Beam Seas – Wave Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-299	-368	-376	-459	-542
Very Large Container Ship	-326	-402	-411	-502	-592
LNG Carrier	-283	-348	-356	-435	-513
Vehicle Carrier	-213	-262	-268	-328	-387
Passenger Ship	-256	-315	-322	-393	-464
Bulk Carrier	-252	-311	-317	-388	-458
Aframax Tanker	-205	-252	-257	-315	-371
LNG Carrier (Trimmed)	-283	-348	-356	-435	-513

Beam Seas – Wave Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	34%	26%	21%	17%	14%
Very Large Container Ship	35%	26%	21%	18%	14%
LNG Carrier	44%	34%	29%	24%	20%
Vehicle Carrier	48%	38%	32%	27%	23%
Passenger Ship	34%	25%	21%	17%	14%
Bulk Carrier	52%	42%	35%	30%	25%
Aframax Tanker	62%	52%	45%	39%	34%
LNG Carrier (Trimmed)	46%	36%	30%	25%	21%

8.0 Appendix A.2: Head Seas Forces

8.1 Total Forces

Head Seas – Total Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-181	-323	-409	-617	-903
Very Large Container Ship	-205	-367	-466	-704	-1031
LNG Carrier	-173	-309	-392	-592	-866
Vehicle Carrier	-112	-198	-248	-372	-543
Passenger Ship	-138	-245	-308	-463	-676
Bulk Carrier	-136	-240	-302	-454	-662
Aframax Tanker	-104	-184	-231	-346	-504
LNG Carrier (Trimmed)	-174	-311	-394	-596	-872

8.2 Wind Forces

Head Seas – Wind Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-88	-165	-220	-344	-513
Very Large Container Ship	-104	-195	-260	-406	-605
LNG Carrier	-86	-160	-213	-333	-497
Vehicle Carrier	-46	-85	-114	-177	-265
Passenger Ship	-59	-110	-147	-229	-342
Bulk Carrier	-57	-107	-143	-223	-333
Aframax Tanker	-41	-76	-102	-159	-237
LNG Carrier (Trimmed)	-87	-162	-216	-337	-503

Head Seas – Wind Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	49%	51%	54%	56%	57%
Very Large Container Ship	51%	53%	56%	58%	59%
LNG Carrier	50%	52%	54%	56%	57%
Vehicle Carrier	41%	43%	46%	48%	49%
Passenger Ship	43%	45%	48%	49%	51%
Bulk Carrier	42%	45%	47%	49%	50%
Aframax Tanker	39%	41%	44%	46%	47%
LNG Carrier (Trimmed)	50%	52%	55%	57%	58%

8.3 Wave Forces

Head Seas – Wave Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-93	-158	-188	-273	-390
Very Large Container Ship	-101	-172	-206	-298	-426
LNG Carrier	-88	-149	-179	-259	-369
Vehicle Carrier	-66	-112	-134	-195	-278
Passenger Ship	-79	-135	-161	-234	-334
Bulk Carrier	-78	-133	-159	-231	-329
Aframax Tanker	-63	-108	-129	-187	-267
LNG Carrier (Trimmed)	-88	-149	-179	-259	-369

Head Seas – Wave Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	51%	49%	46%	44%	43%
Very Large Container Ship	49%	47%	44%	42%	41%
LNG Carrier	51%	48%	46%	44%	43%
Vehicle Carrier	59%	57%	54%	52%	51%
Passenger Ship	57%	55%	52%	51%	49%
Bulk Carrier	57%	55%	53%	51%	50%
Aframax Tanker	61%	59%	56%	54%	53%
LNG Carrier (Trimmed)	51%	48%	45%	43%	42%

9.0 Appendix A.3: Towing Condition Forces

9.1 Total Forces

Head Seas w/ Current – Total Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-216	-358	-444	-652	-938
Very Large Container Ship	-241	-402	-501	-739	-1067
LNG Carrier	-189	-325	-407	-607	-882
Vehicle Carrier	-129	-215	-265	-389	-560
Passenger Ship	-153	-260	-323	-478	-691
Bulk Carrier	-154	-258	-320	-472	-680
Aframax Tanker	-137	-217	-263	-378	-537
LNG Carrier (Trimmed)	-189	-325	-409	-610	-886

9.2 Wind Forces

Head Seas w/ Current – Wind Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-88	-165	-220	-344	-513
Very Large Container Ship	-104	-195	-260	-406	-605
LNG Carrier	-86	-160	-213	-333	-497
Vehicle Carrier	-46	-85	-114	-177	-265
Passenger Ship	-59	-110	-147	-229	-342
Bulk Carrier	-57	-107	-143	-223	-333
Aframax Tanker	-41	-76	-102	-159	-237
LNG Carrier (Trimmed)	-87	-162	-216	-337	-503

Head Seas w/ Current – Wind Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	41%	46%	50%	53%	55%
Very Large Container Ship	43%	49%	52%	55%	57%
LNG Carrier	46%	49%	52%	55%	56%
Vehicle Carrier	36%	40%	43%	46%	47%
Passenger Ship	39%	42%	46%	48%	49%
Bulk Carrier	37%	41%	45%	47%	49%
Aframax Tanker	30%	35%	39%	42%	44%
LNG Carrier (Trimmed)	46%	50%	53%	55%	57%

9.3 Wave Forces

Head Seas w/ Current – Wave Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-93	-158	-188	-273	-390
Very Large Container Ship	-101	-172	-206	-298	-426
LNG Carrier	-88	-149	-179	-259	-369
Vehicle Carrier	-66	-112	-134	-195	-278
Passenger Ship	-79	-135	-161	-234	-334
Bulk Carrier	-78	-133	-159	-231	-329
Aframax Tanker	-63	-108	-129	-187	-267
LNG Carrier (Trimmed)	-88	-149	-179	-259	-369

Head Seas w/ Current – Wave Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	43%	44%	42%	42%	42%
Very Large Container Ship	42%	43%	41%	40%	40%
LNG Carrier	47%	46%	44%	43%	42%
Vehicle Carrier	51%	52%	51%	50%	50%
Passenger Ship	52%	52%	50%	49%	48%
Bulk Carrier	51%	52%	50%	49%	48%
Aframax Tanker	46%	50%	49%	49%	50%
LNG Carrier (Trimmed)	47%	46%	44%	42%	42%

9.4 Current Forces

Head Seas w/ Current – Current Force (kN)					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	-35	-35	-35	-35	-35
Very Large Container Ship	-36	-36	-36	-36	-36
LNG Carrier	-16	-16	-16	-16	-16
Vehicle Carrier	-17	-17	-17	-17	-17
Passenger Ship	-15	-15	-15	-15	-15
Bulk Carrier	-18	-18	-18	-18	-18
Aframax Tanker	-33	-33	-33	-33	-33
LNG Carrier (Trimmed)	-14	-14	-14	-14	-14

Head Seas w/ Current – Current Force as % of Total					
Environmental Condition Percentile	**50**	**75**	**85**	**95**	**99**
Large Container Ship	16%	10%	8%	5%	4%
Very Large Container Ship	15%	9%	7%	5%	3%
LNG Carrier	8%	5%	4%	3%	2%
Vehicle Carrier	13%	8%	6%	4%	3%
Passenger Ship	10%	6%	5%	3%	2%
Bulk Carrier	12%	7%	6%	4%	3%
Aframax Tanker	24%	15%	13%	9%	6%
LNG Carrier (Trimmed)	7%	4%	3%	2%	2%

10.0 Appendix A.4: Results By Vessel

10.1 Large Container Ship

Vessel 1 – Large Container Ship								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	870	216	262	181	79.9	33.5	2.01
75th Percentile	19	1435	358	419	323	78.9	54.1	3.25
85th Percentile	22	1798	444	517	409	77.6	68.0	4.08
95th Percentile	27	2682	652	802	617	72.8	112.4	6.74
99th Percentile	33	3858	938	1078	903	61.3	179.3	10.76

10.2 Very Large Container Ship

Vessel 2 – Very Large Container Ship								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	933	241	312	205	79.9	39.8	2.39
75th Percentile	19	1535	402	498	367	78.9	64.3	3.86
85th Percentile	22	1921	501	614	466	77.6	80.7	4.84
95th Percentile	27	2862	739	953	704	72.8	133.5	8.01
99th Percentile	33	4114	1067	1281	1031	61.3	213.1	12.79

10.3 LNG Carrier

Vessel 3 – LNG Carrier								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	641	189	206	173	79.9	26.3	1.58
75th Percentile	19	1017	325	338	309	78.9	43.6	2.62
85th Percentile	22	1247	407	417	392	77.6	54.8	3.29
95th Percentile	27	1828	607	658	592	72.8	92.2	5.53
99th Percentile	33	2591	882	892	866	61.3	148.4	8.90

10.4 Vehicle Carrier

Vessel 4 - Vehicle Carrier								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	442	129	146	112	79.9	18.7	1.12
75th Percentile	19	690	215	234	198	78.9	30.2	1.81
85th Percentile	22	838	265	287	248	77.6	37.7	2.26
95th Percentile	27	1218	389	453	372	72.8	63.5	3.81
99th Percentile	33	1715	560	609	543	61.3	101.4	6.08

10.5 Passenger Ship

Vessel 5 - Passenger Ship								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	753	153	207	138	79.9	26.5	1.59
75th Percentile	19	1244	260	332	245	78.9	43.0	2.58
85th Percentile	22	1560	323	409	308	77.6	53.8	3.23
95th Percentile	27	2329	478	638	463	72.8	89.3	5.36
99th Percentile	33	3351	691	855	676	61.3	142.2	8.53

10.6 Bulk Carrier

Vessel 6 - Bulk Carrier								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	484	154	170	136	79.9	21.8	1.31
75th Percentile	19	742	258	270	240	78.9	34.8	2.09
85th Percentile	22	893	320	327	302	77.6	43.0	2.58
95th Percentile	27	1288	472	520	454	72.8	72.8	4.37
99th Percentile	33	1800	680	695	662	61.3	115.7	6.94

10.7 Aframax Tanker

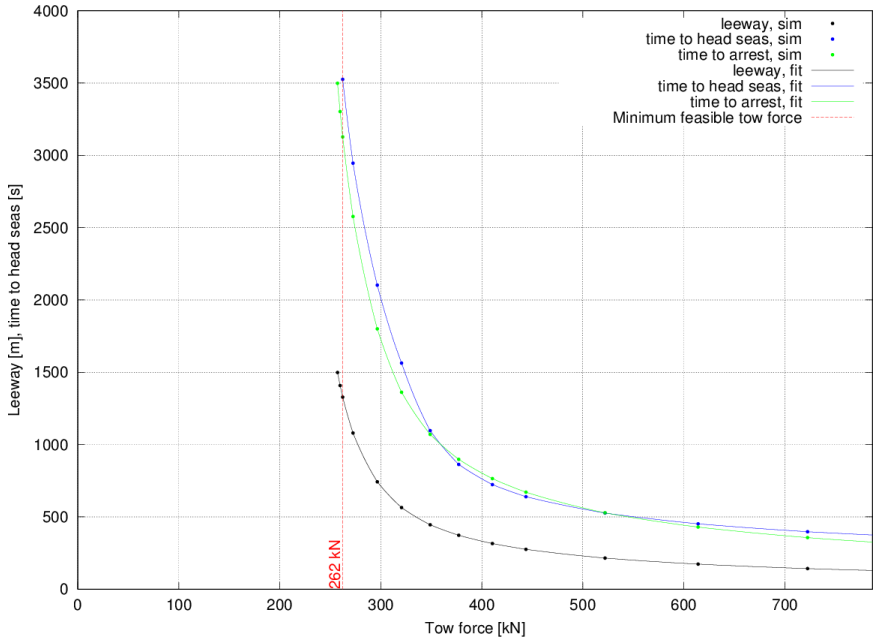
Vessel 7 - Aframax Tanker								
MET-OCEAN Conditions	Wind (kn)	Beam Seas Force (kN)	Towing Force (kN)	Turning Force (kN)	Holding Steady Force (kN)	Estimated Tug Efficiency (%)	ETV/TUG Bollard Pull (tonnes)	ETV/TUG Propulsion (MW)
50th Percentile	14	331	137	126	104	79.9	16.1	0.97
75th Percentile	19	488	217	200	184	78.9	25.8	1.55
85th Percentile	22	573	263	246	231	77.6	32.4	1.94
95th Percentile	27	807	378	391	346	72.8	54.8	3.29
99th Percentile	33	1106	537	523	504	61.3	87.1	5.22

Appendix B

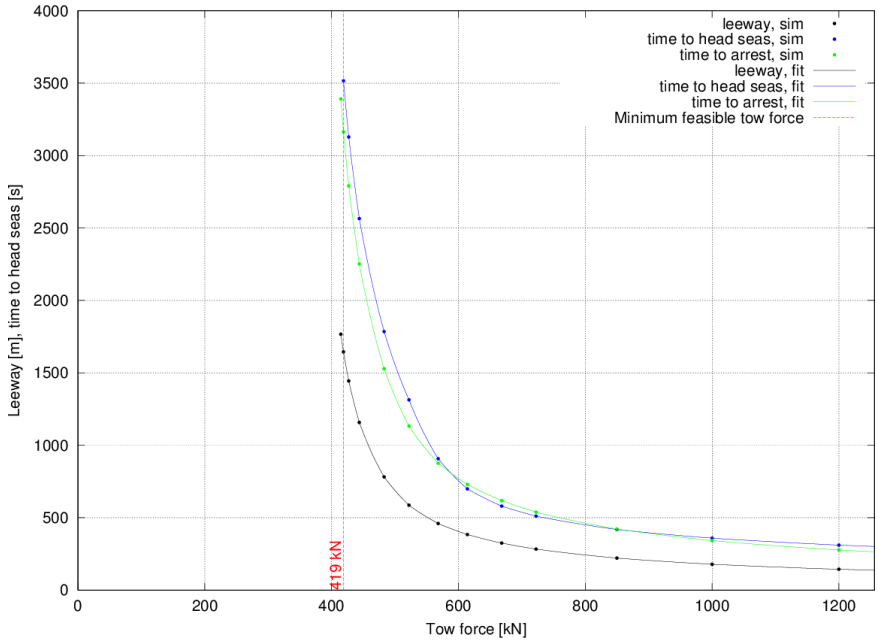
11.0 Appendix B.1: Large Container Ship Simulation Results

11.1 Effect of Tow Force

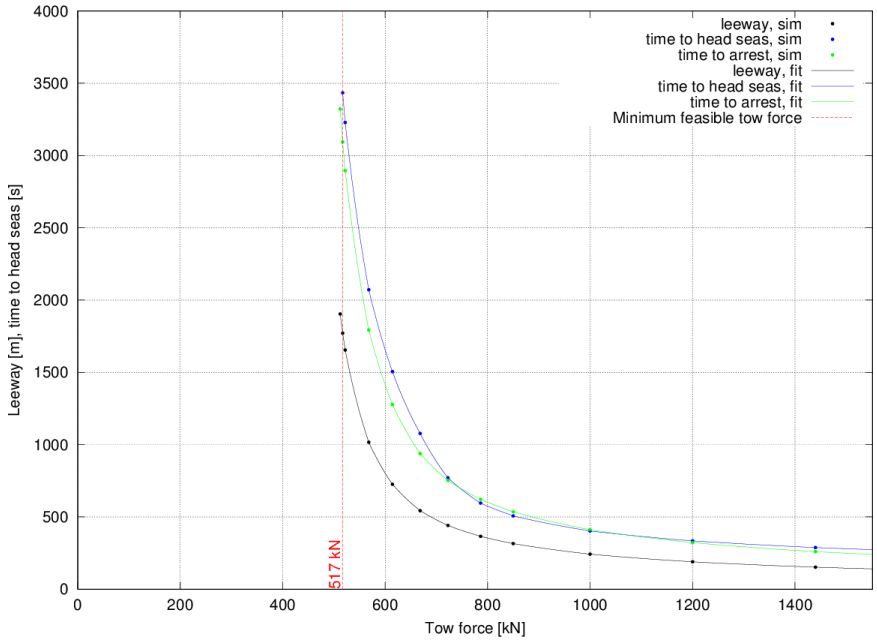
Large Container Ship effect of tow force, 50th percentile environment



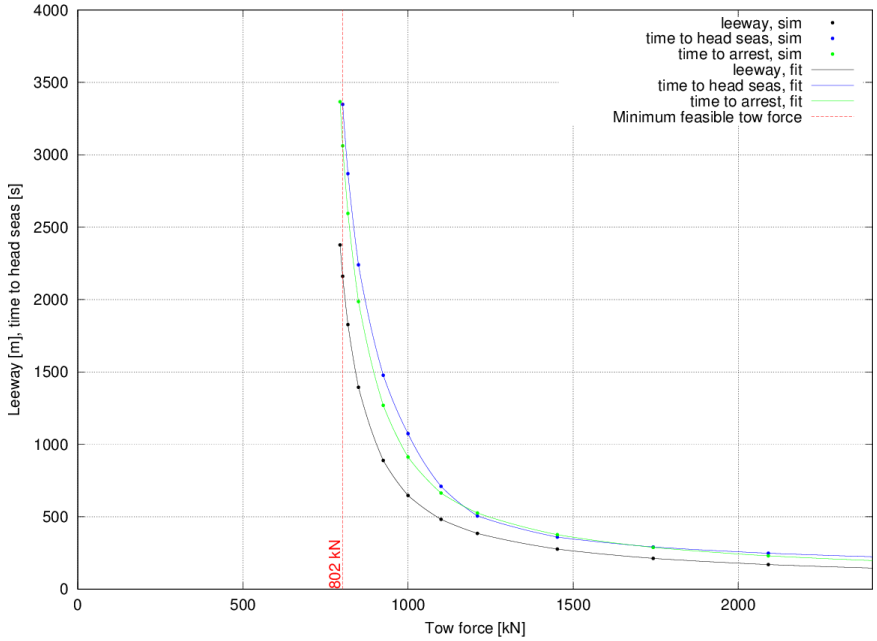
Large Container Ship effect of tow force, 75th percentile environment



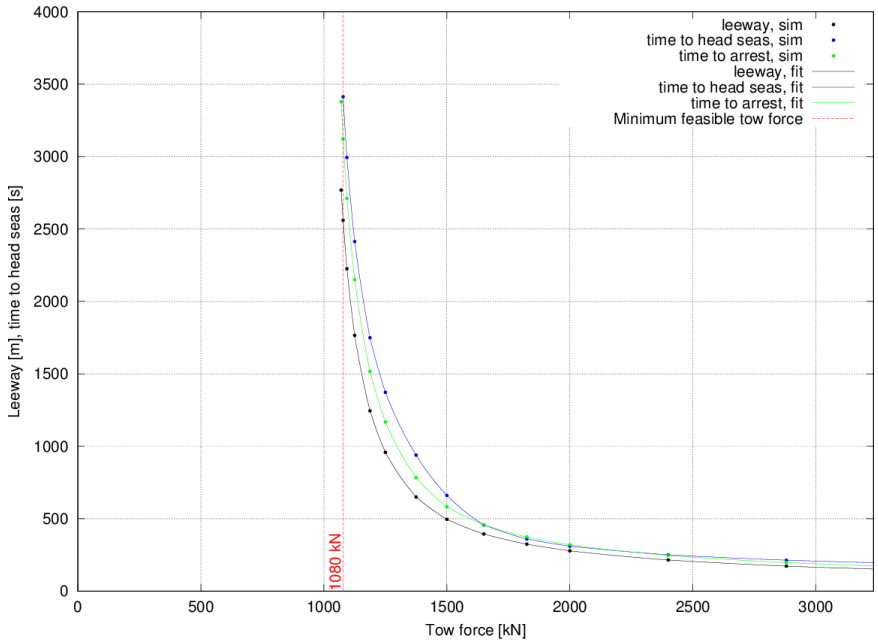
Large Container Ship effect of tow force, 85th percentile environment



Large Container Ship effect of tow force, 95th percentile environment

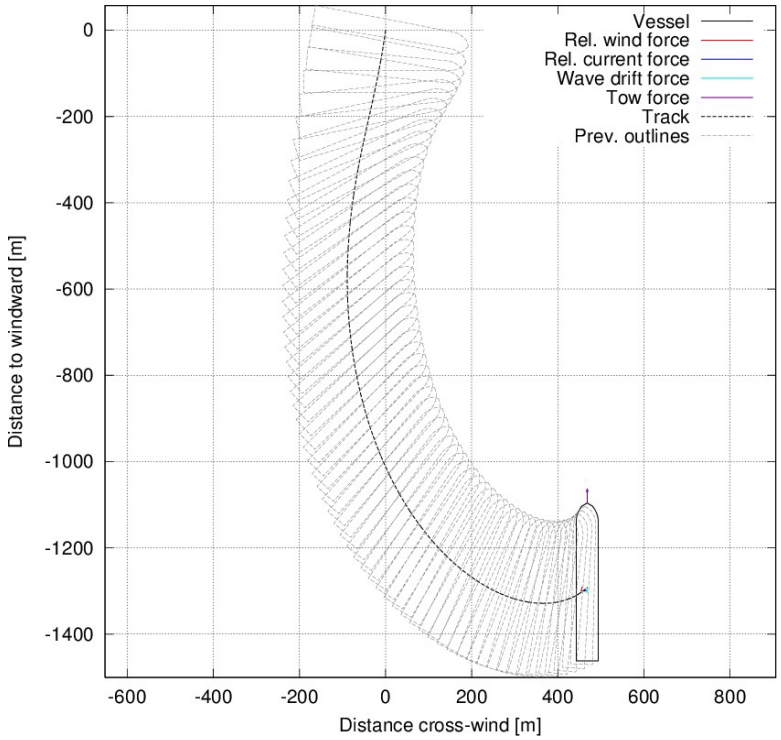


Large Container Ship effect of tow force, 99th percentile environment

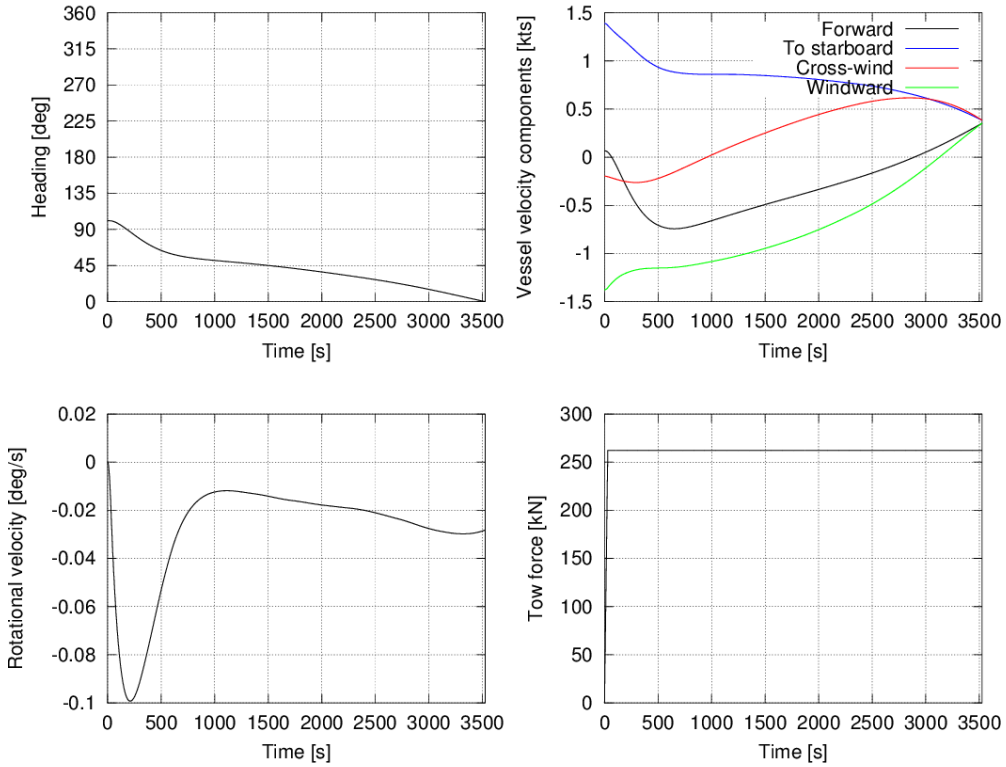


11.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

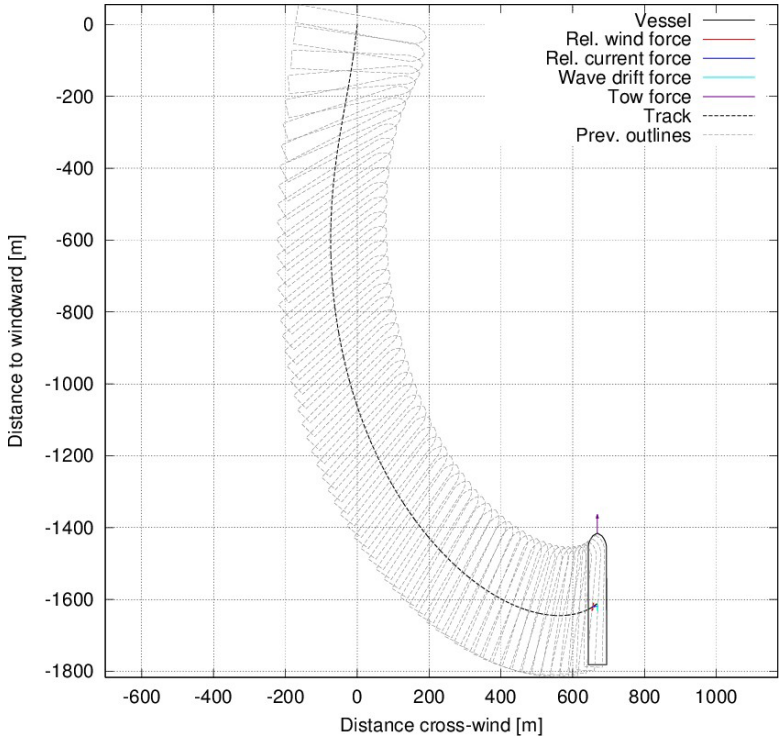
Large Container Ship, 50th percentile environment, 262 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3526.0 s



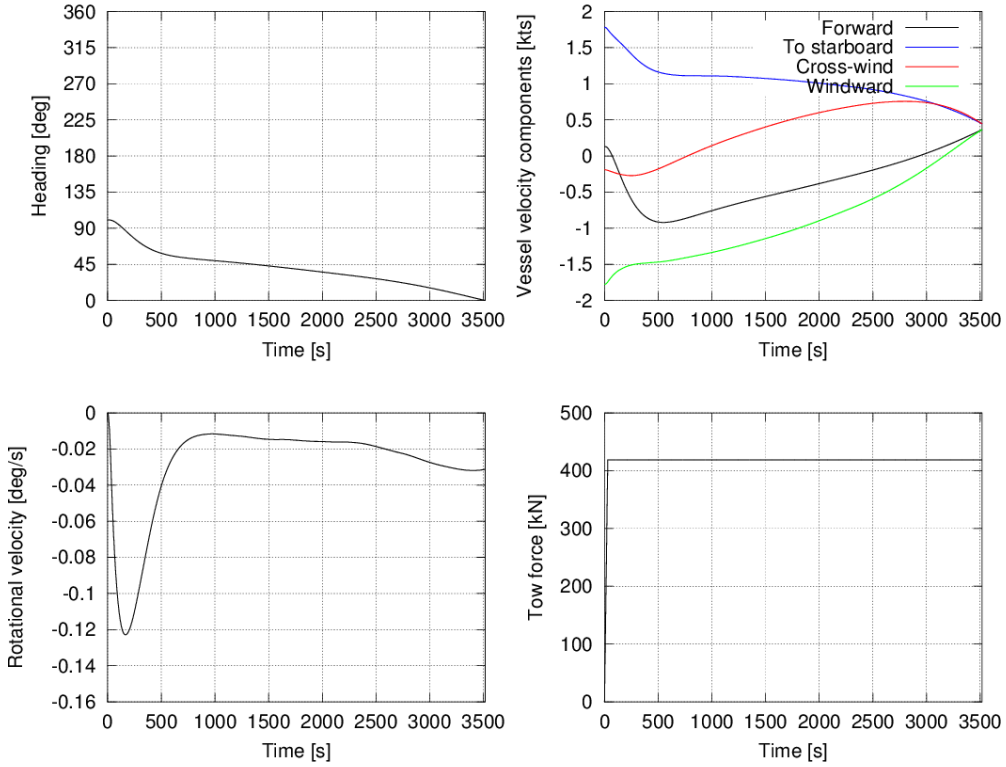
Large Container Ship, 50th percentile environment, 262 kN pull, port turn



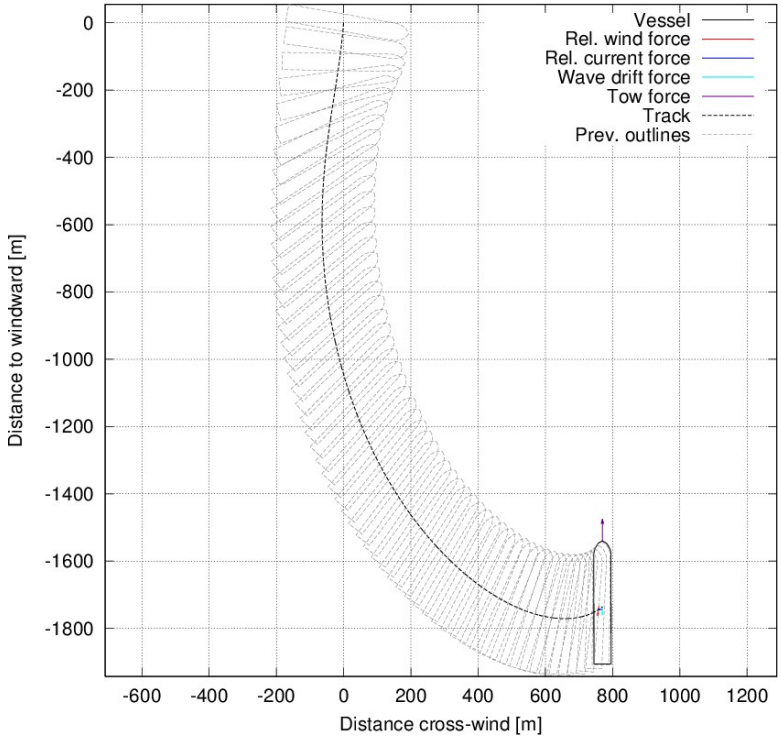
Large Container Ship, 75th percentile environment, 419 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3517.0 s



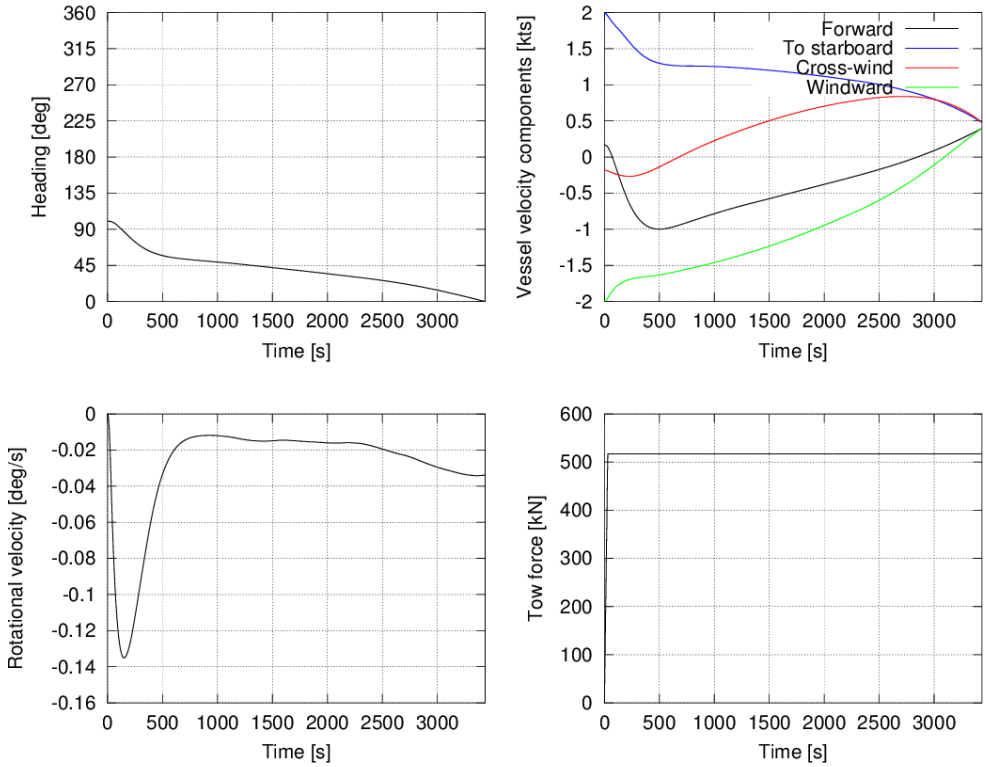
Large Container Ship, 75th percentile environment, 419 kN pull, port turn



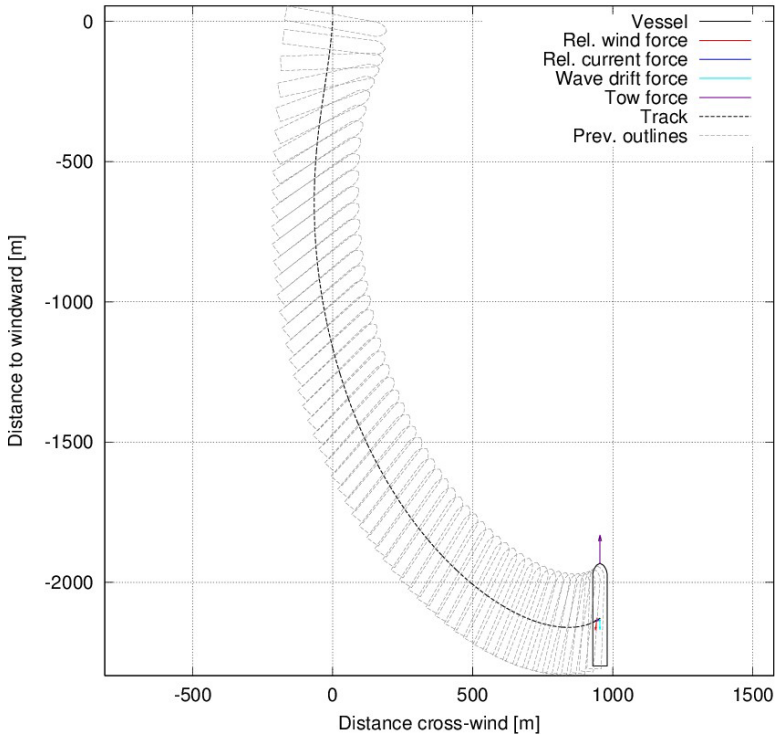
Large Container Ship, 85th percentile environment, 517 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3435.0 s



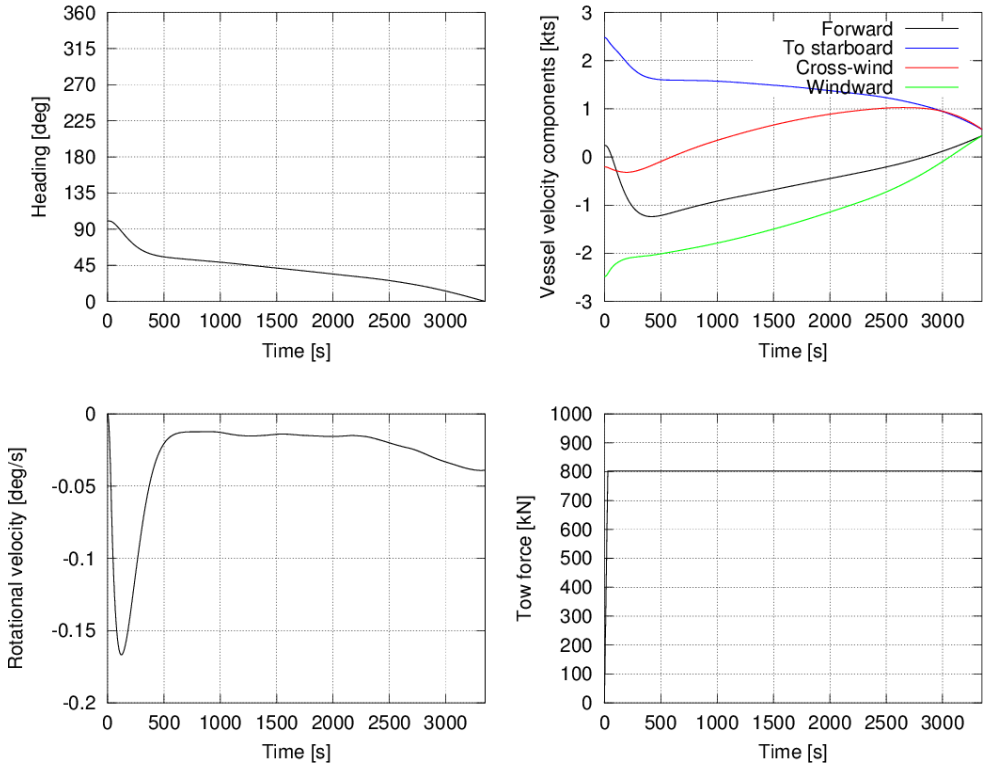
Large Container Ship, 85th percentile environment, 517 kN pull, port turn



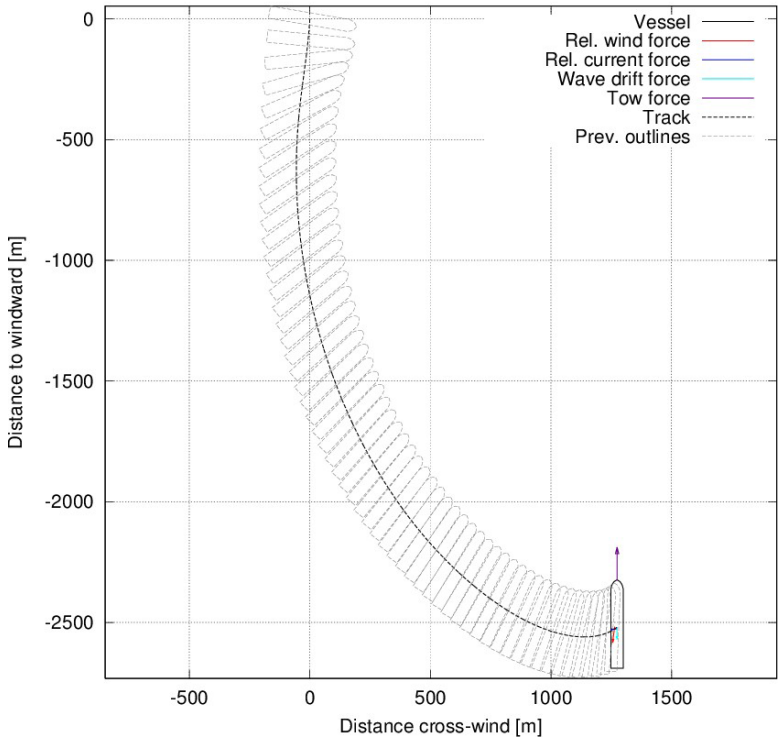
Large Container Ship, 95th percentile environment, 802 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3349.0 s



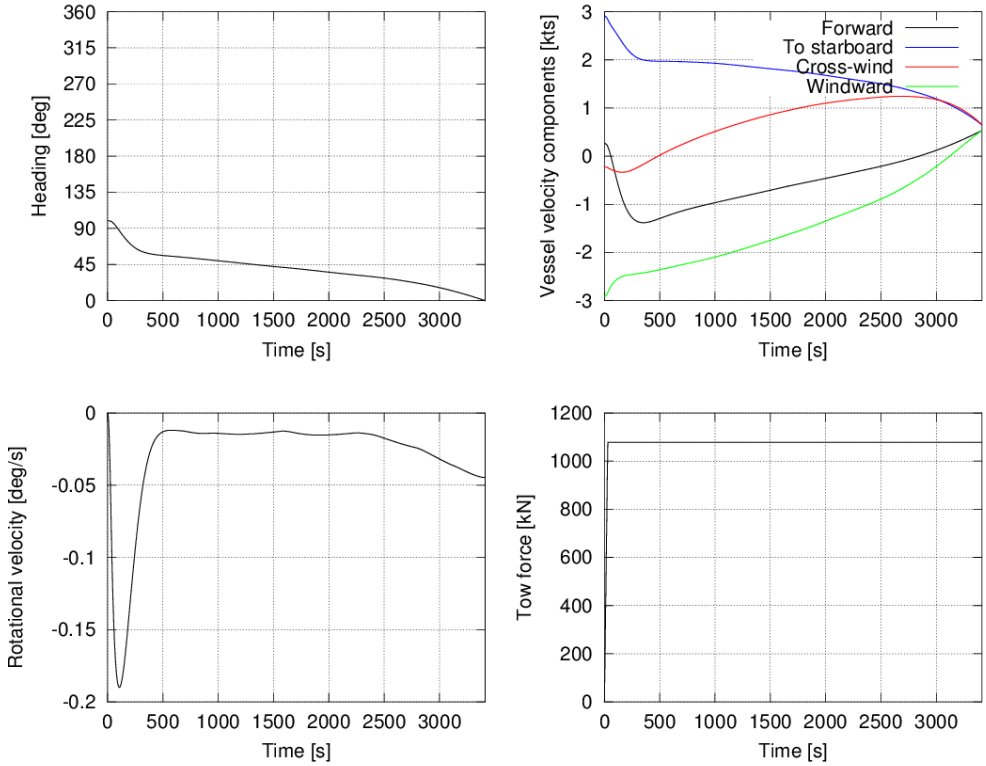
Large Container Ship, 95th percentile environment, 802 kN pull, port turn



Large Container Ship, 99th percentile environment, 1078 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 34130.0 s



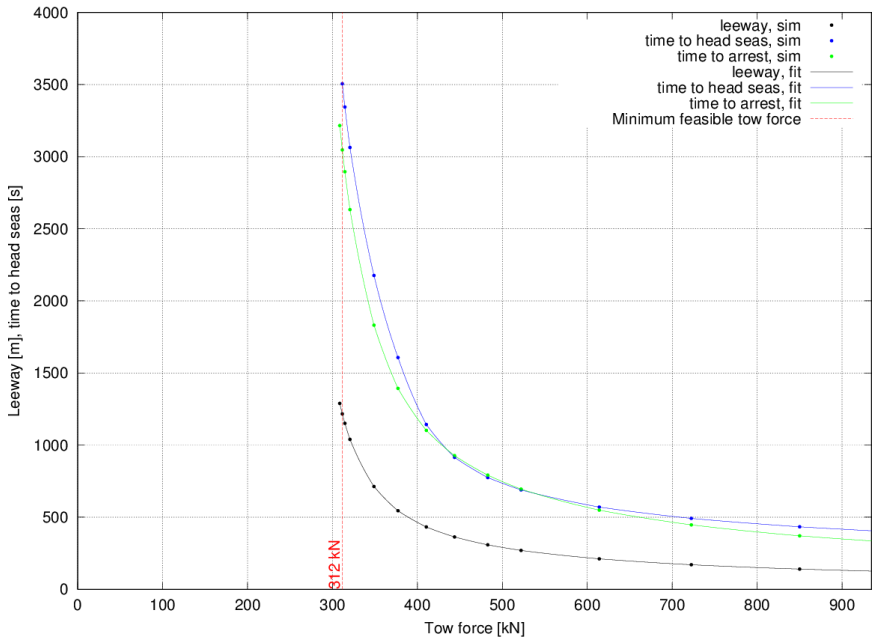
Large Container Ship, 99th percentile environment, 1078 kN pull, port turn



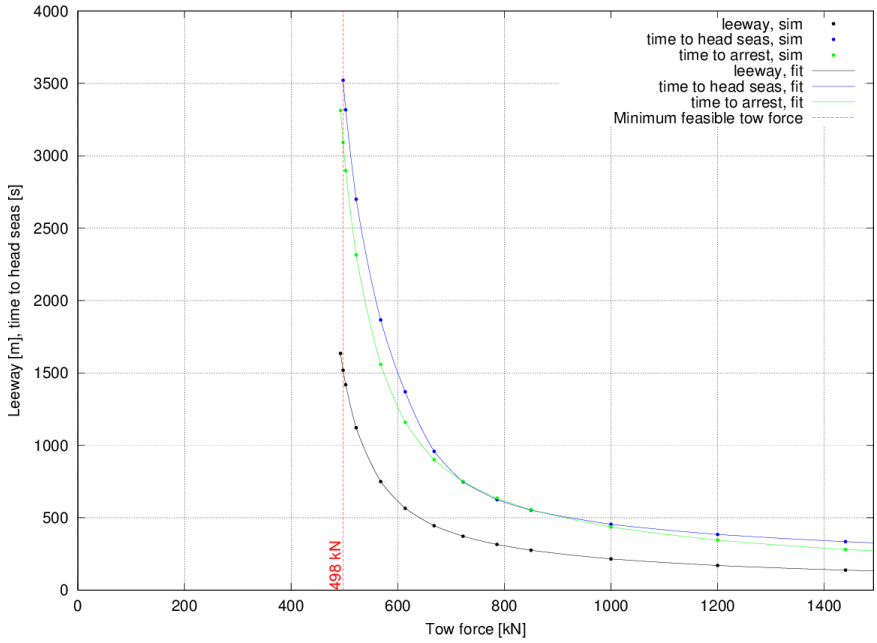
12.0 Appendix B.2: Very Large Container Ship Simulation Results

12.1 Effect of Tow Force

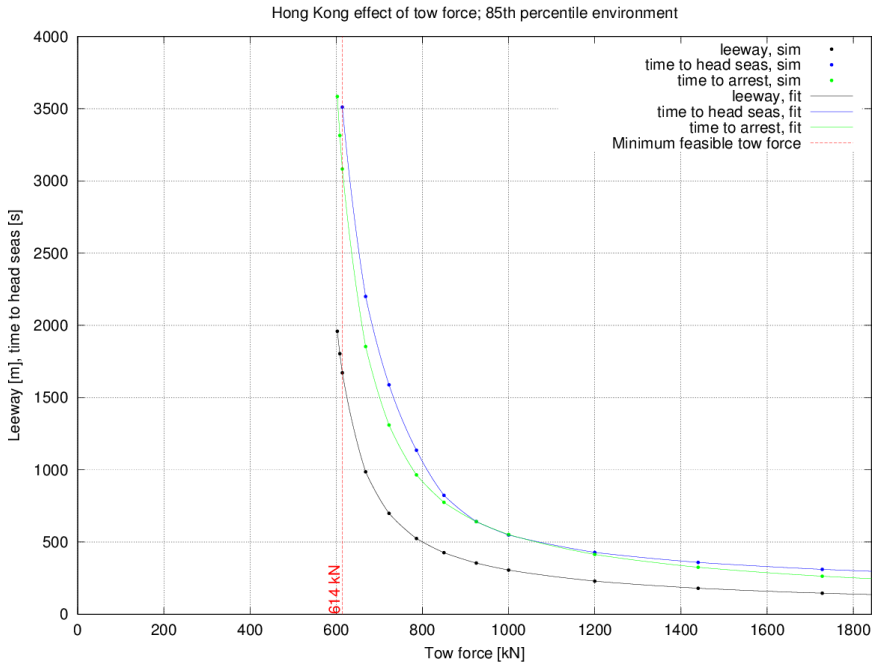
Very Large Container Ship effect of tow force; 50th percentile environment



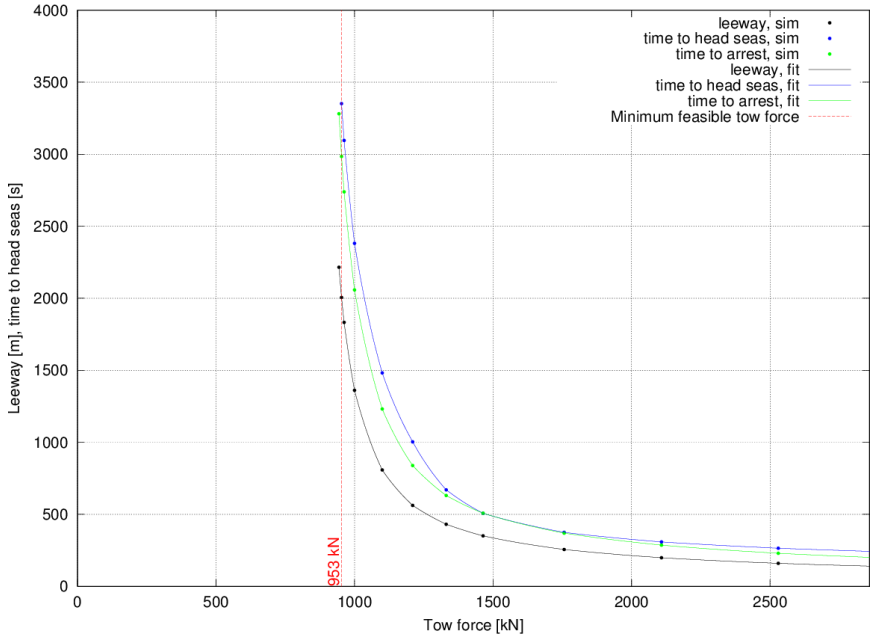
Very Large Container Ship effect of tow force; 75th percentile environment



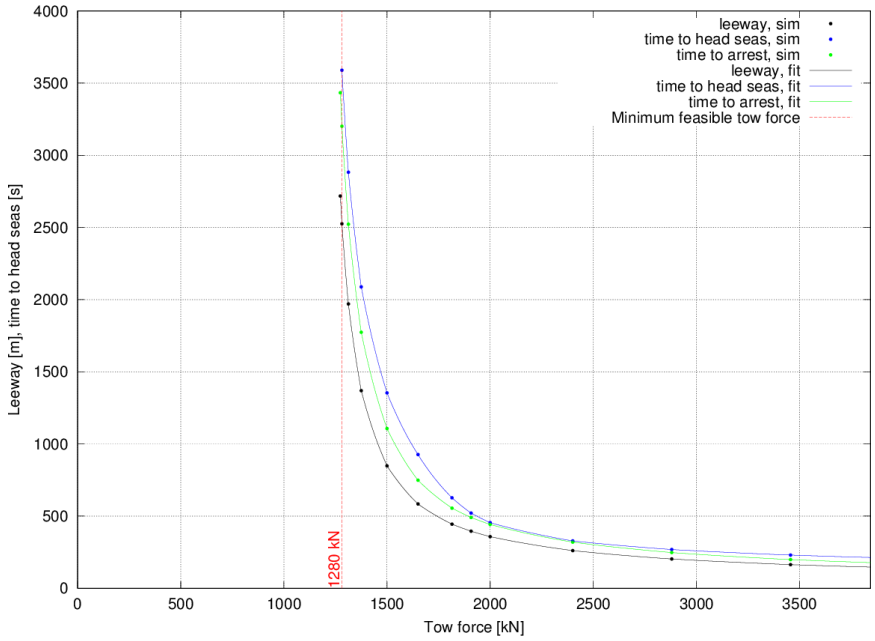
Very Large Container Ship effect of tow force; 85th percentile environment



Very Large Container Ship effect of tow force; 95th percentile environment

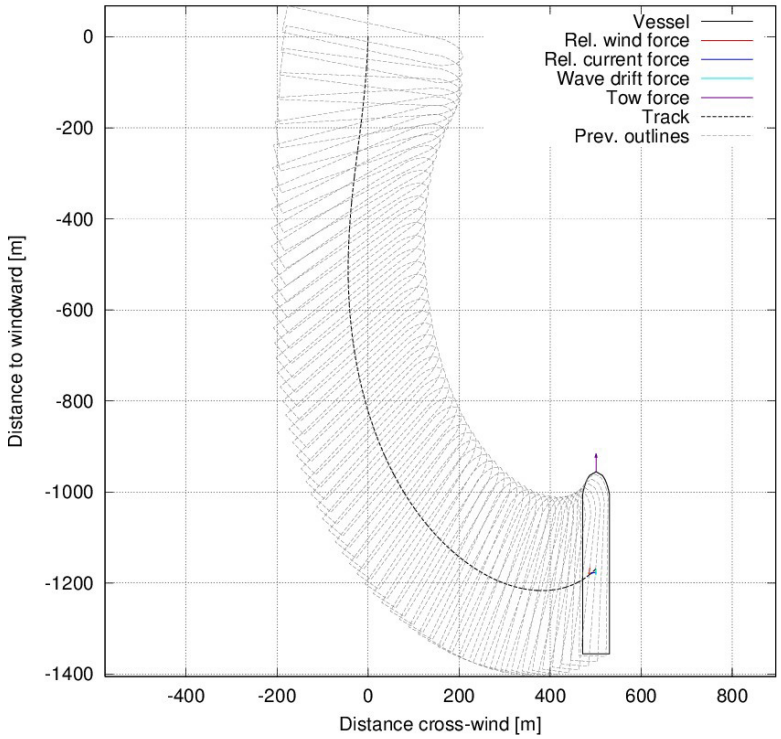


Very Large Container Ship effect of tow force; 99th percentile environment

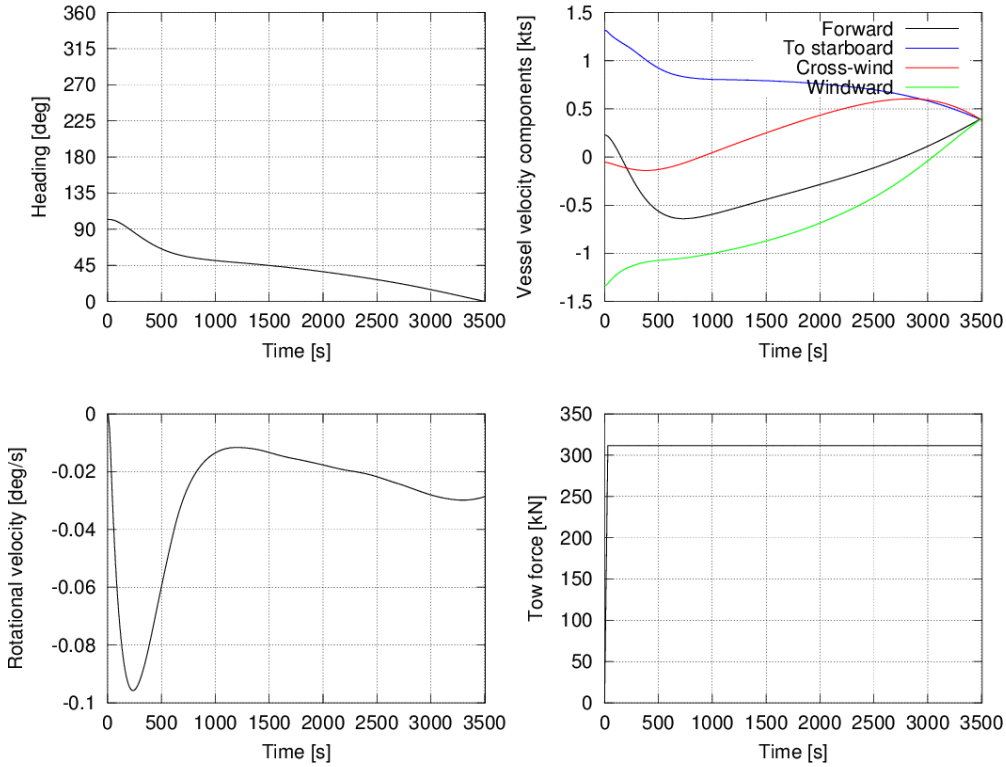


12.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

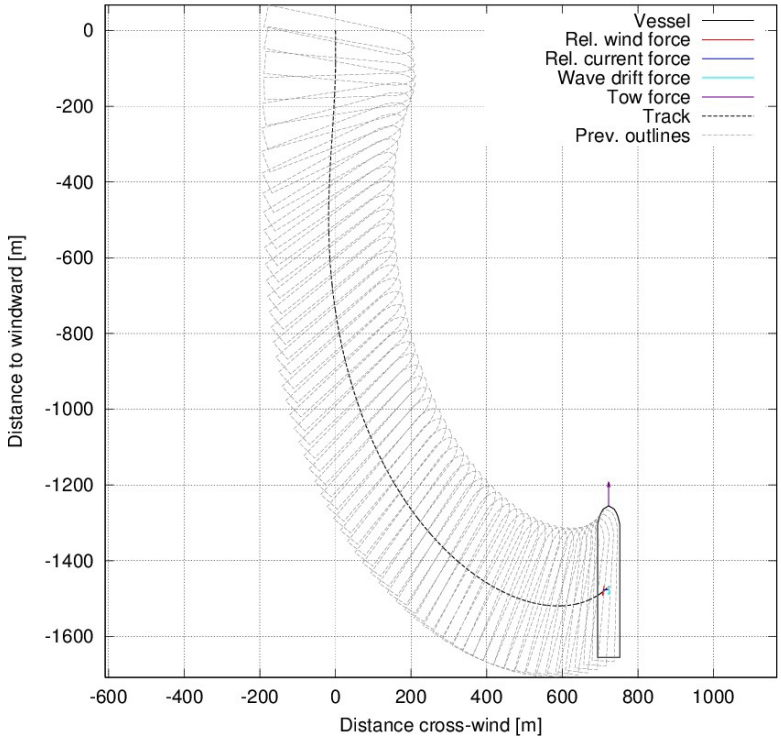
Very Large Container Ship, 50th percentile environment, 312 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3506.0 s



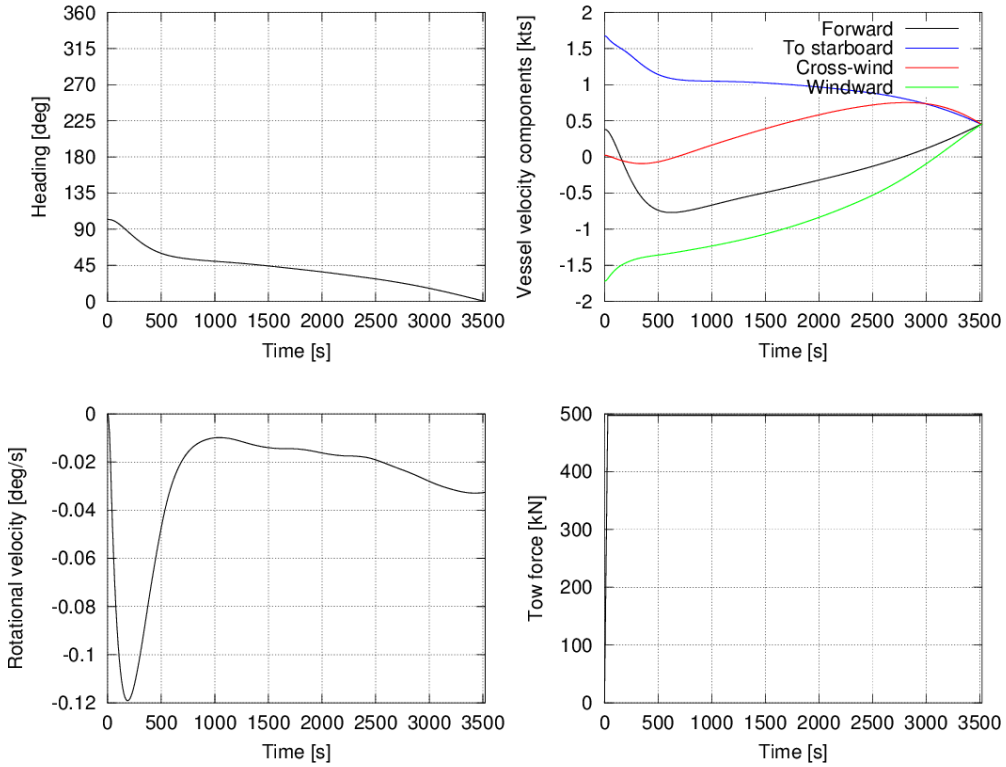
Very Large Container Ship, 50th percentile environment, 312 kN pull, port turn



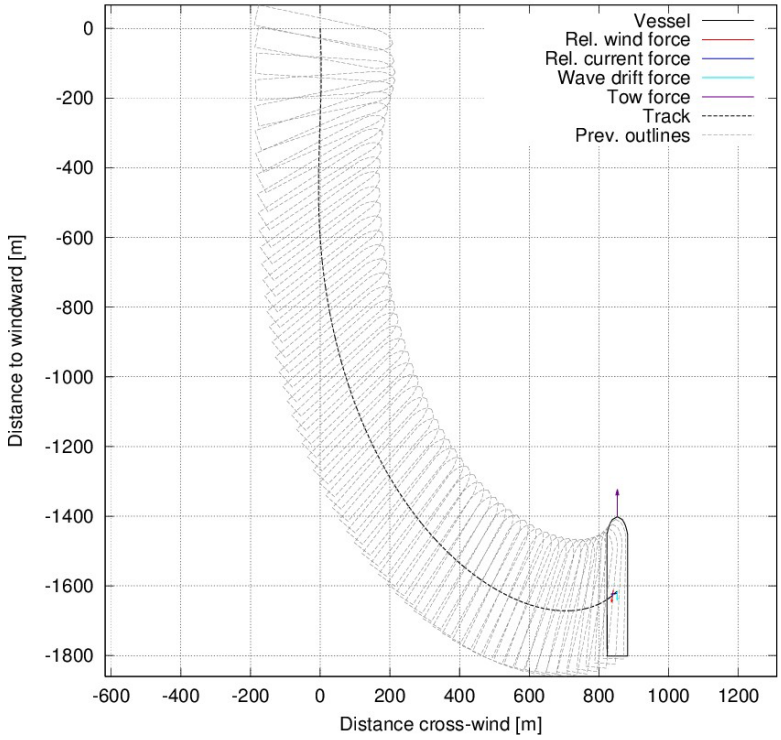
Very Large Container Ship, 75th percentile environment, 498 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3522.0 s



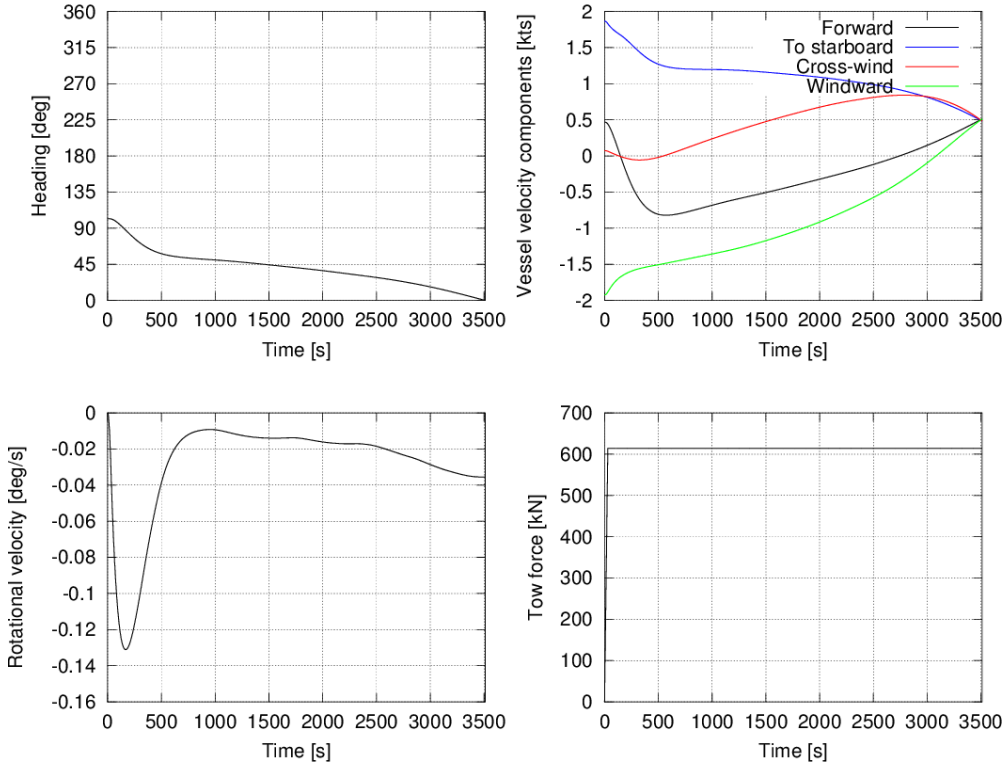
Very Large Container Ship, 75th percentile environment, 498 kN pull, port turn



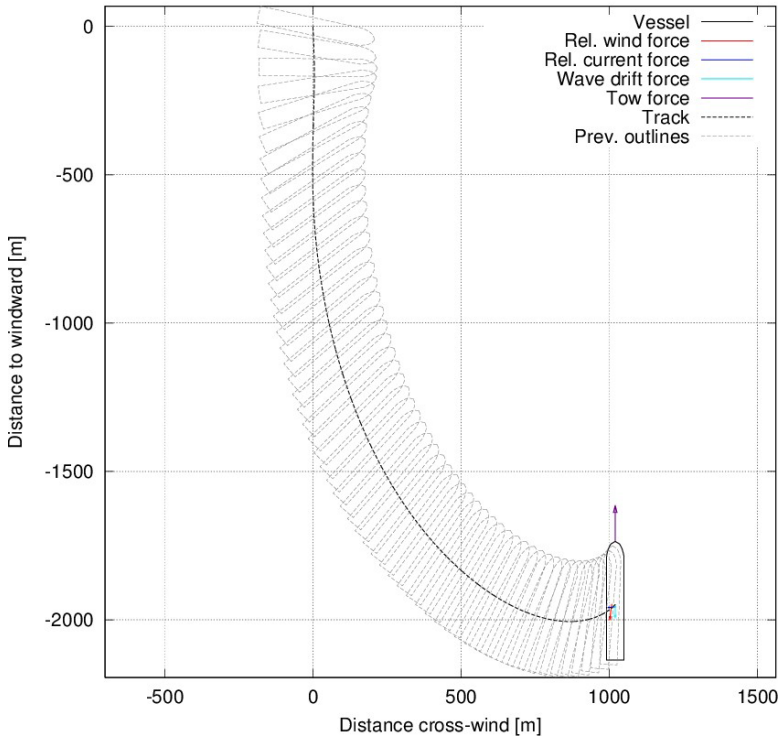
Very Large Container Ship, 85th percentile environment, 614 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3511.0 s



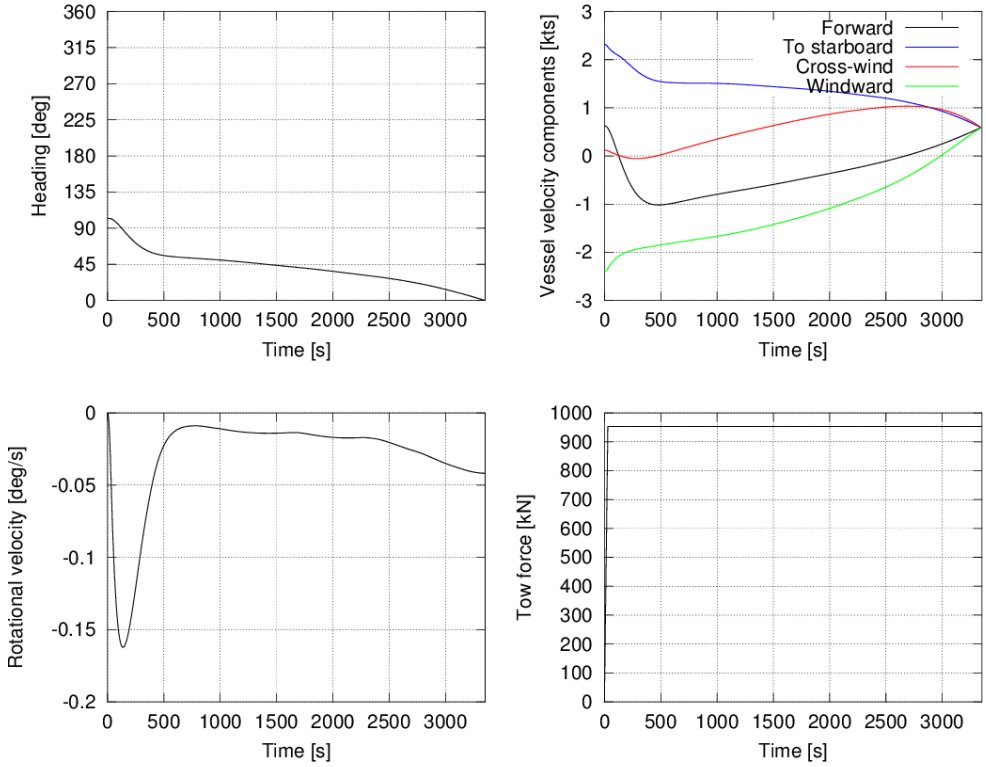
Very Large Container Ship, 85th percentile environment, 614 kN pull, port turn



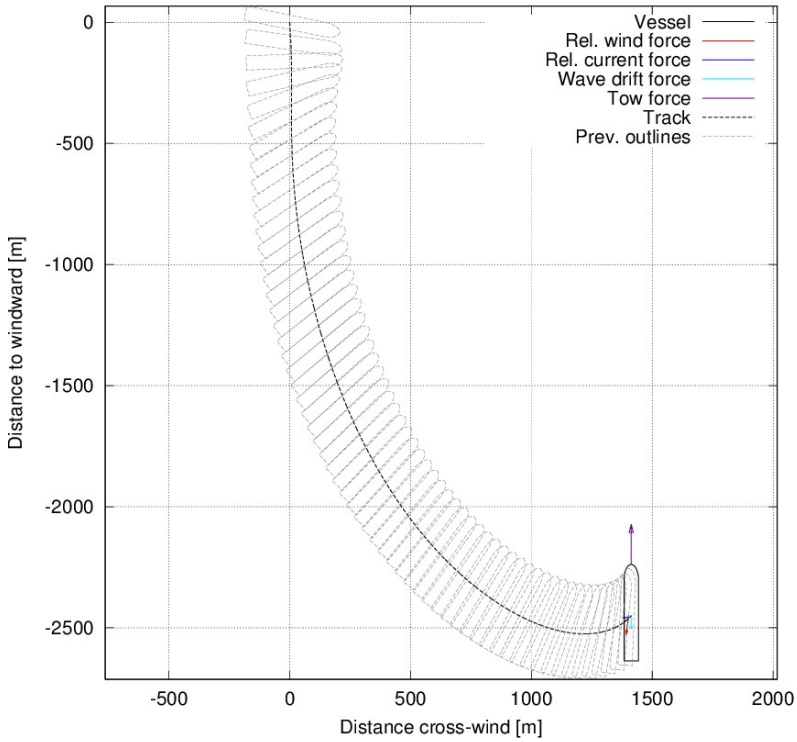
Very Large Container Ship, 95th percentile environment, 953 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3552.0 s



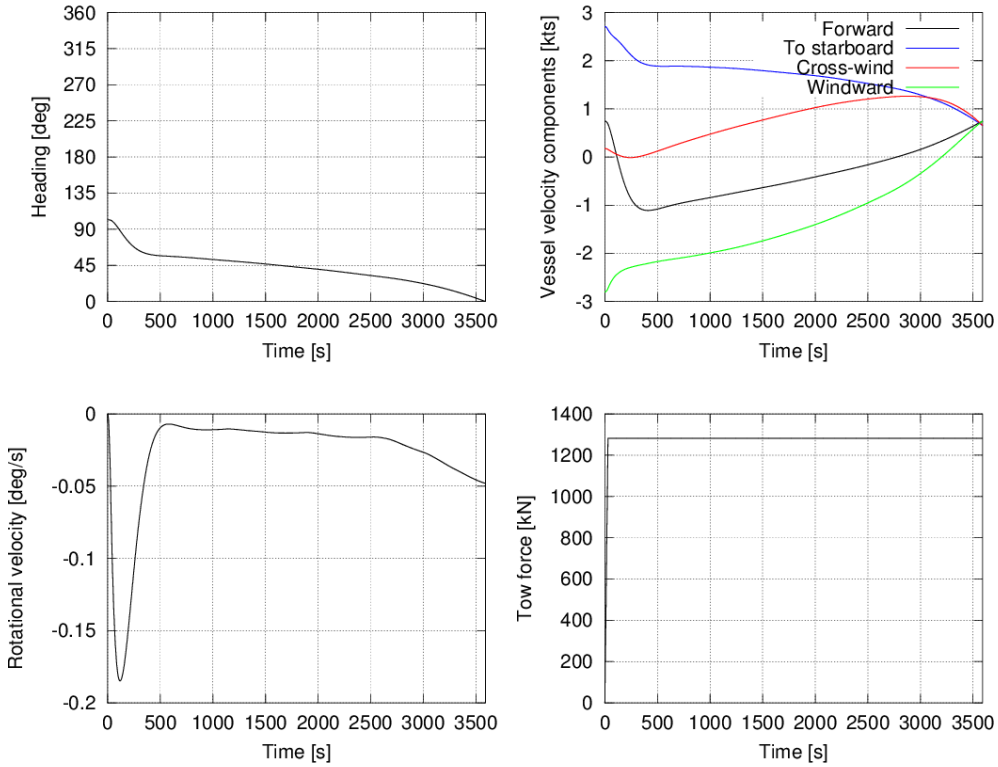
Very Large Container Ship, 95th percentile environment, 953 kN pull, port turn



Very Large Container Ship, 99th percentile environment, 1281 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3590.0 s



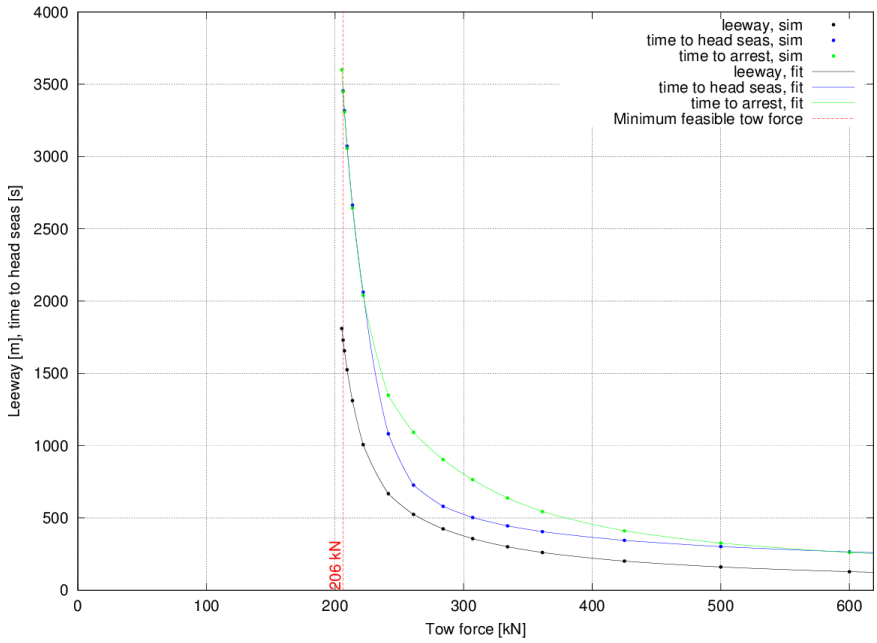
Very Large Container Ship, 99th percentile environment, 1281 kN pull, port turn



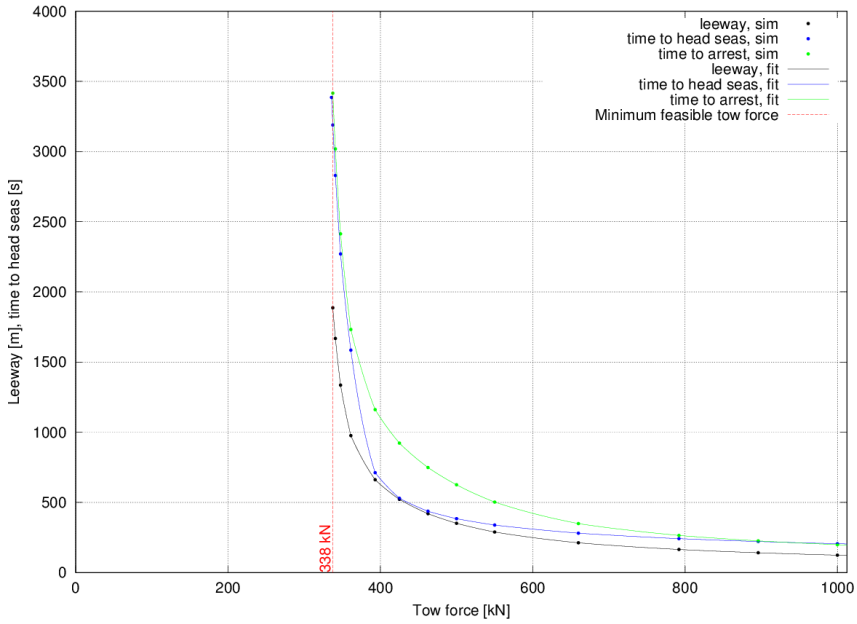
13.0 Appendix B.3: LNG Carrier Simulation Results

13.1 Effect of Tow Force

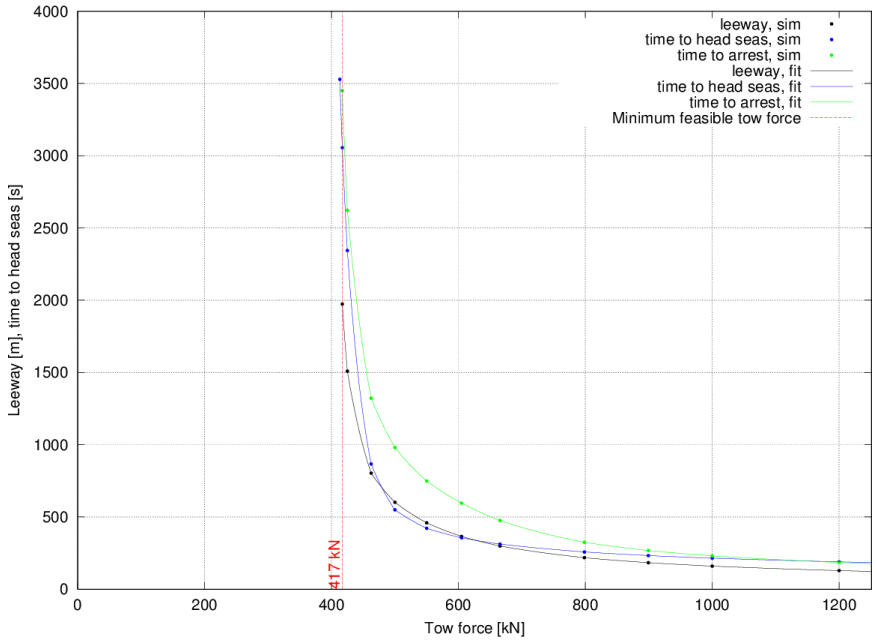
LNG Carrier effect of tow force; 50th percentile environment



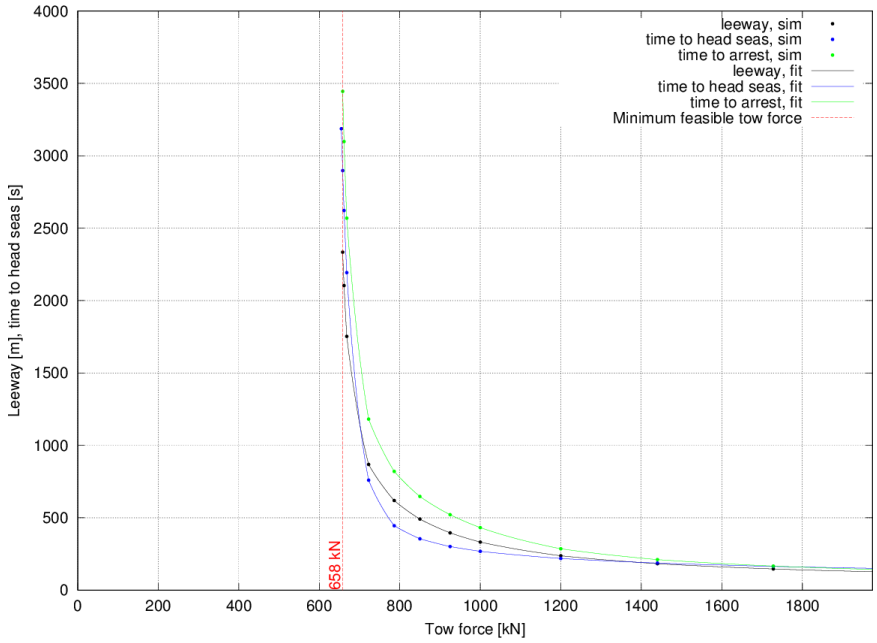
LNG Carrier effect of tow force; 75th percentile environment



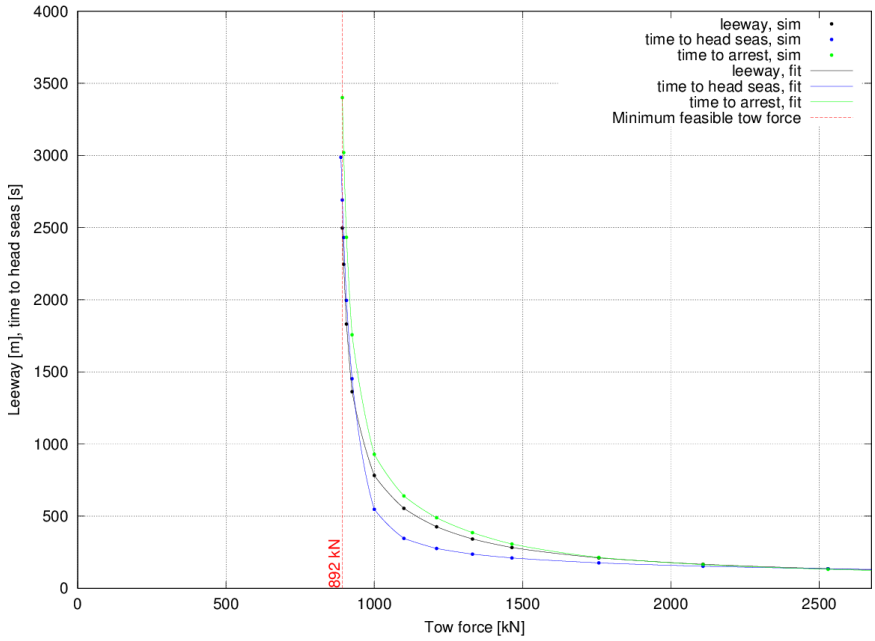
LNG Carrier effect of tow force; 85th percentile environment



LNG Carrier effect of tow force; 95th percentile environment

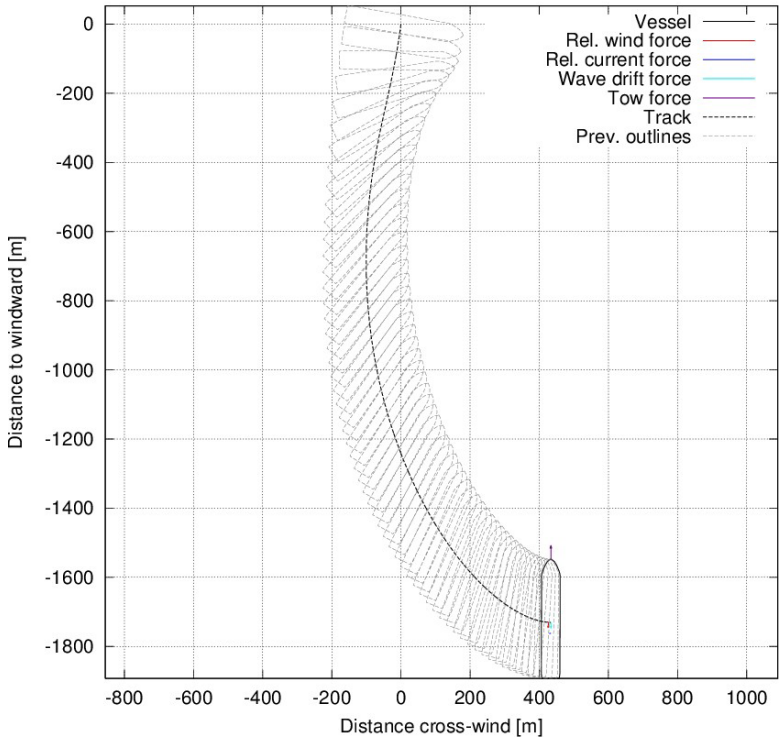


LNG Carrier effect of tow force; 99th percentile environment

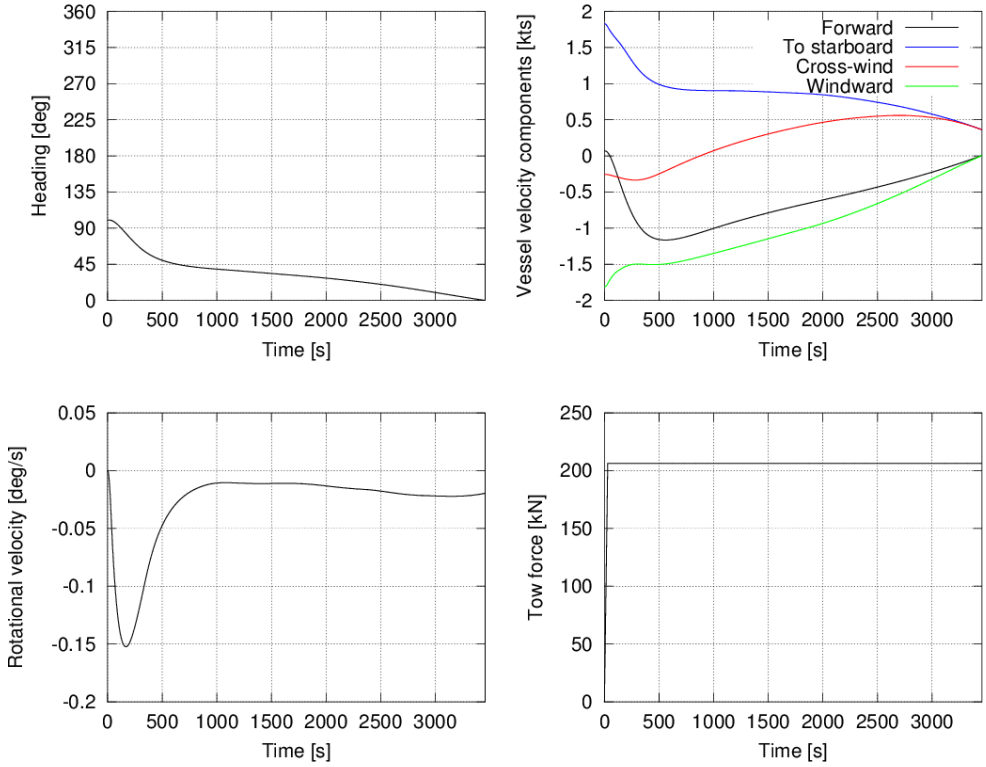


13.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

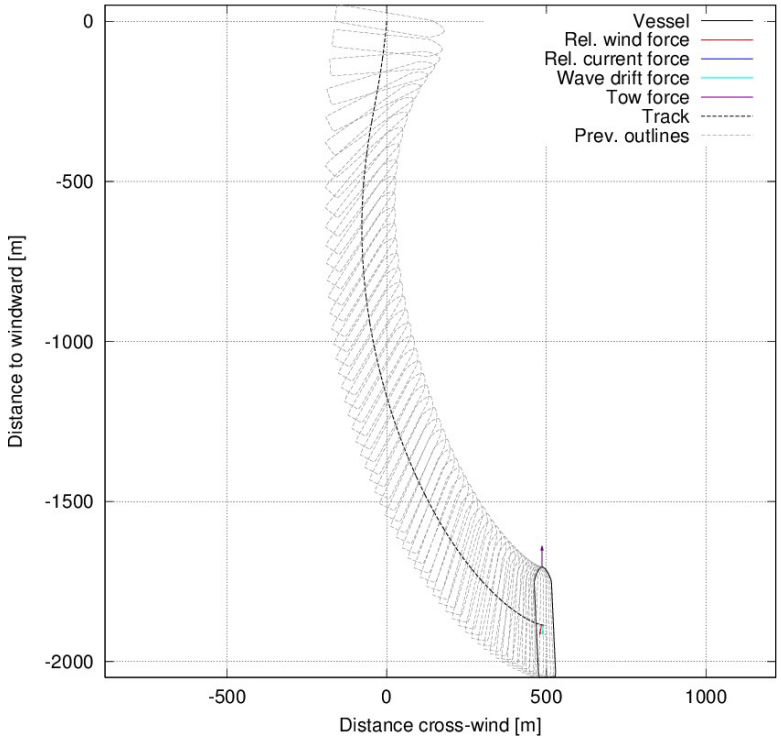
LNG Carrier, 50th percentile environment, 206 kN pull, port turn 0.1 deg heading from windward at 3448.0 s



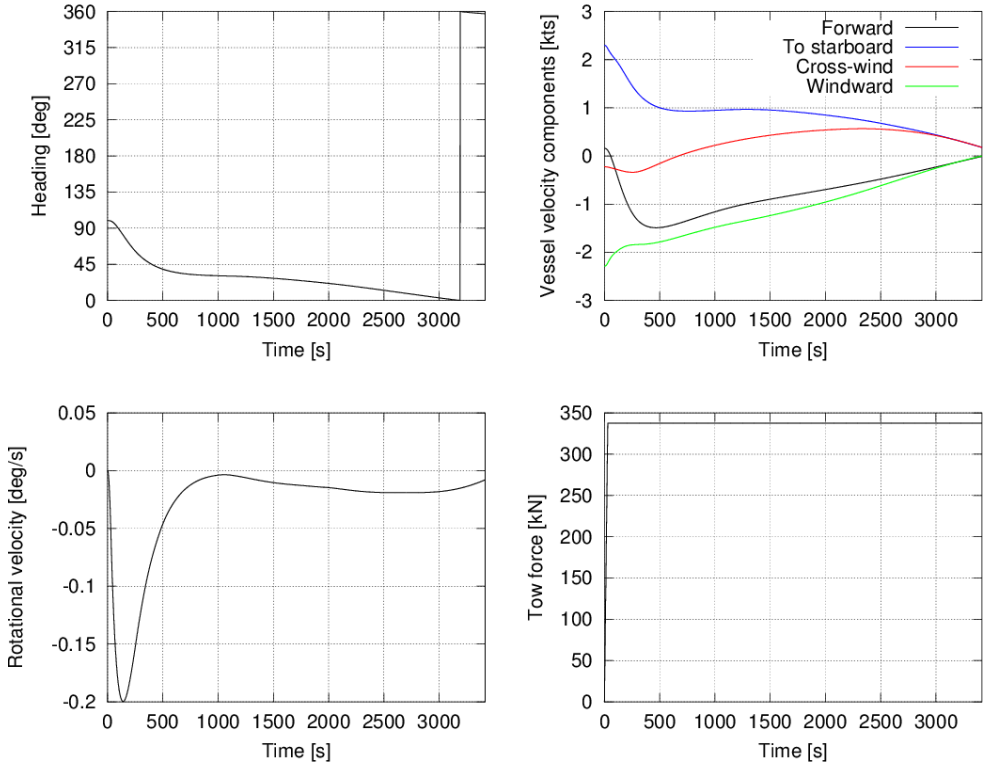
LNG Carrier, 50th percentile environment, 206 kN pull, port turn



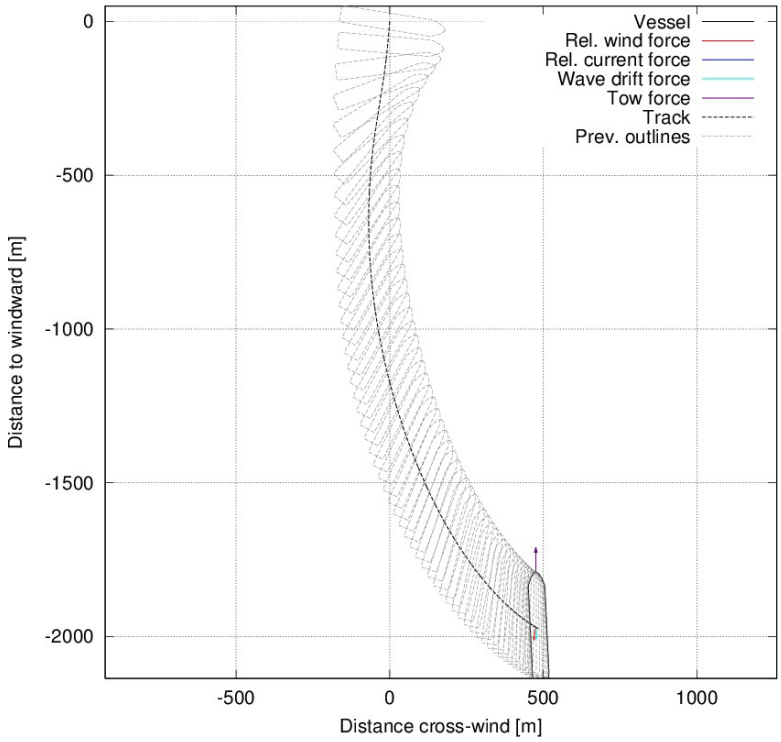
LNG Carrier, 75th percentile environment, 338 kN pull, port turn 357.3 deg heading from windward at 3416.0 s



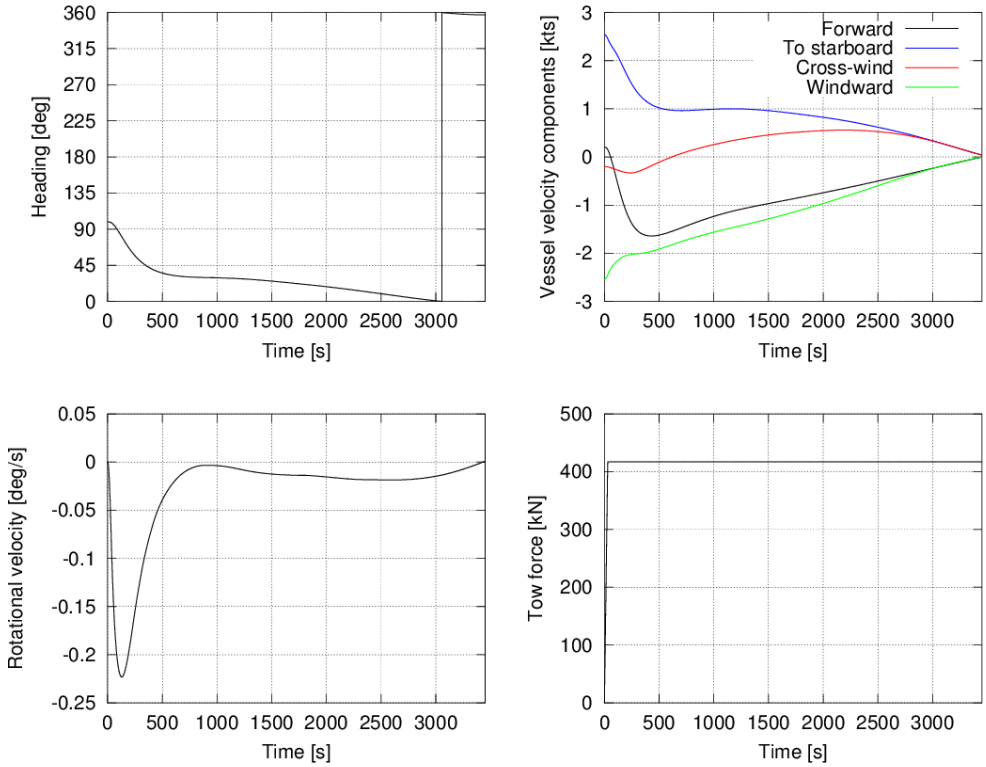
LNG Carrier, 75th percentile environment, 338 kN pull, port turn



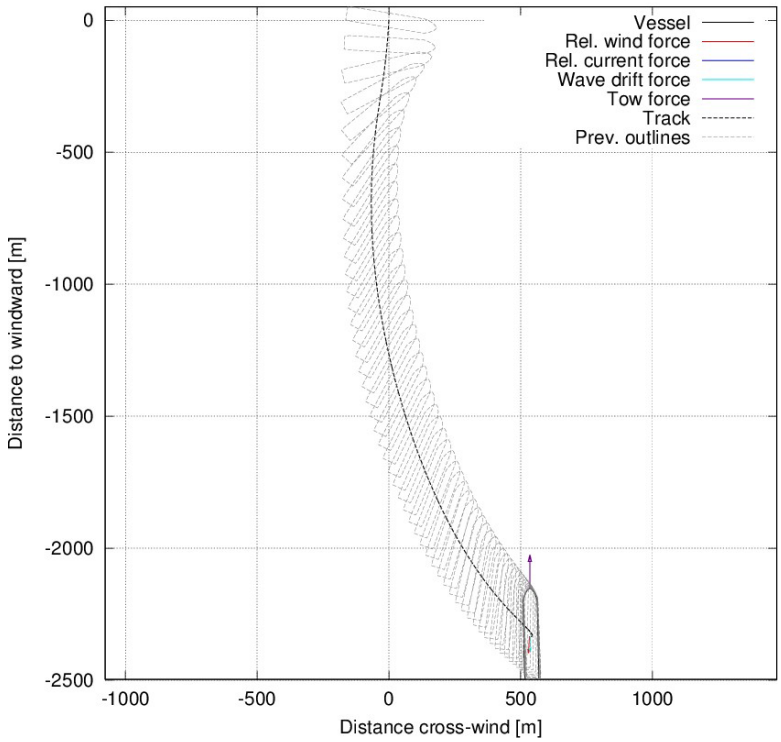
LNG Carrier, 85th percentile environment, 417 kN pull, port turn 357.2 deg heading from windward at 3451.0 s



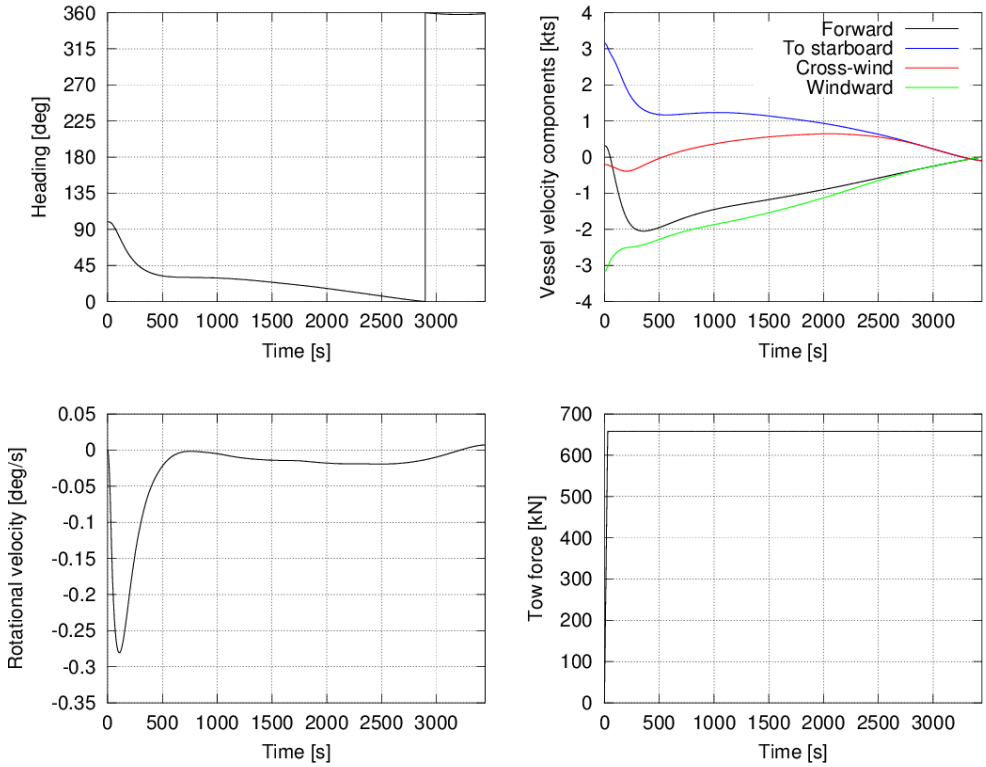
LNG Carrier, 85th percentile environment, 417 kN pull, port turn



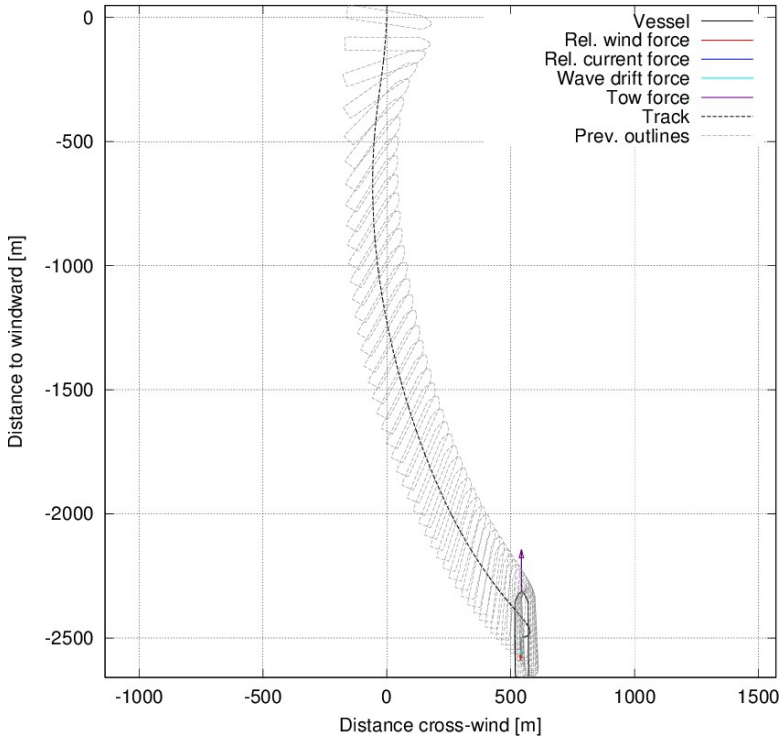
LNG Carrier, 95th percentile environment, 658 kN pull, port turn 358.7 deg heading from windward at 3445.0 s



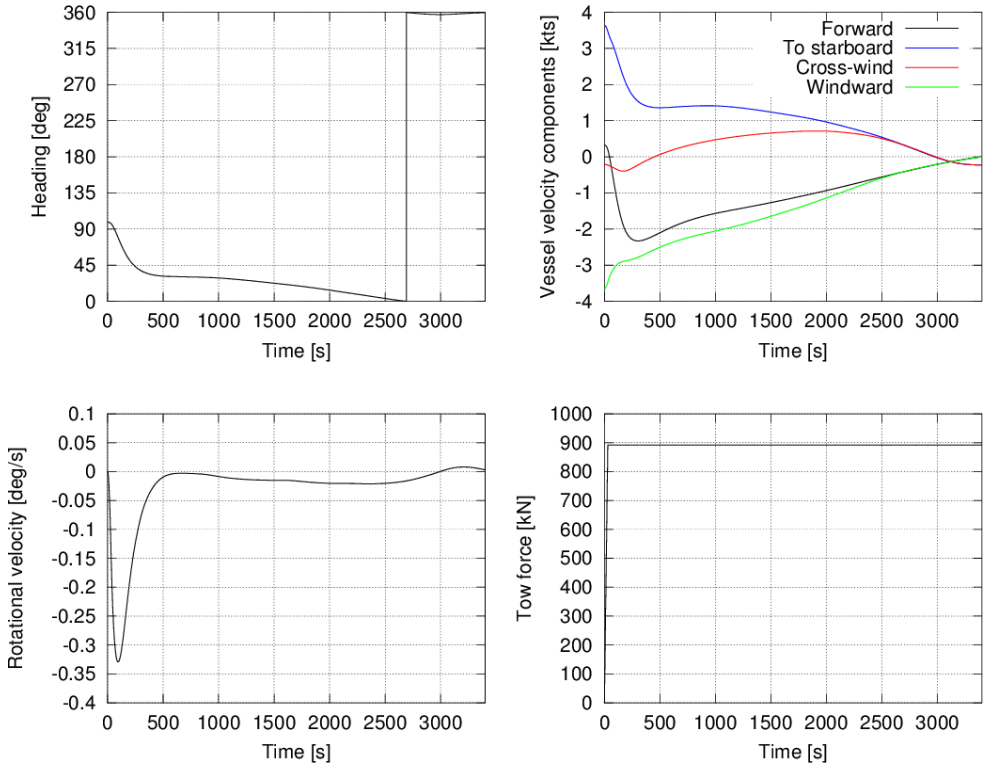
LNG Carrier, 95th percentile environment, 658 kN pull, port turn



LNG Carrier, 99th percentile environment, 892 kN pull, port turn 359.6 deg heading from windward at 3401.0 s



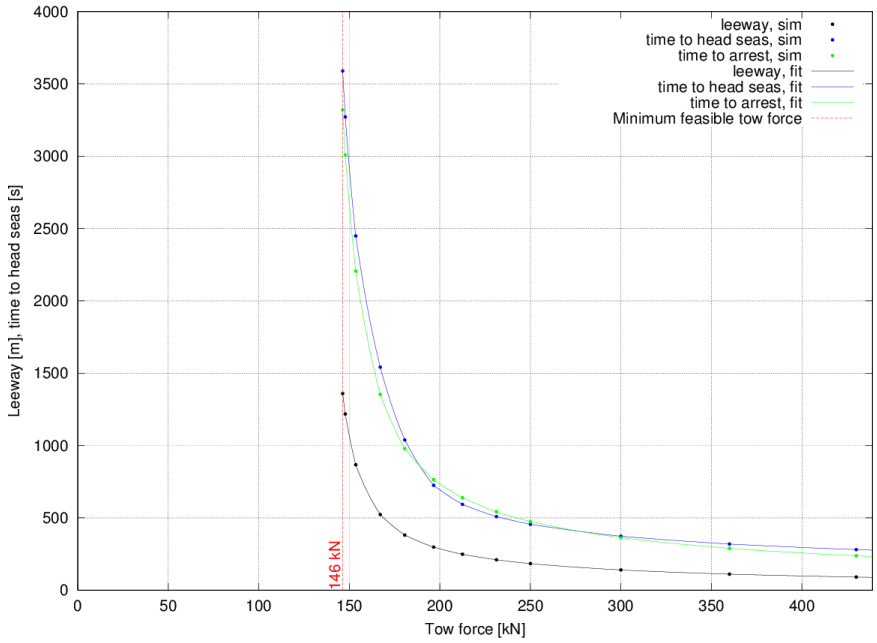
LNG Carrier, 99th percentile environment, 892 kN pull, port turn



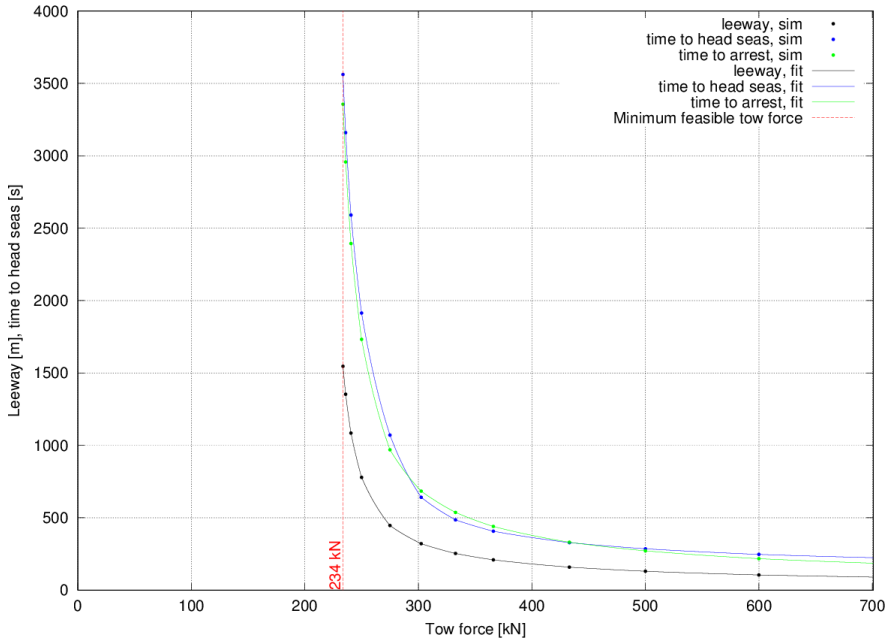
14.0 Appendix B.4: Vehicle Carrier Simulation Results

14.1 Effect of Tow Force

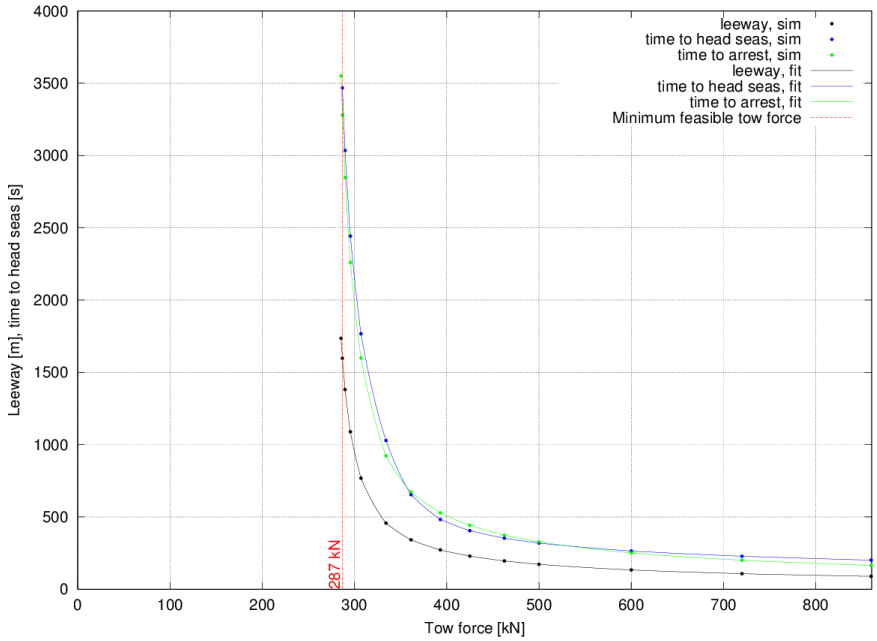
Vehicle Carrier effect of tow force; 50th percentile environment



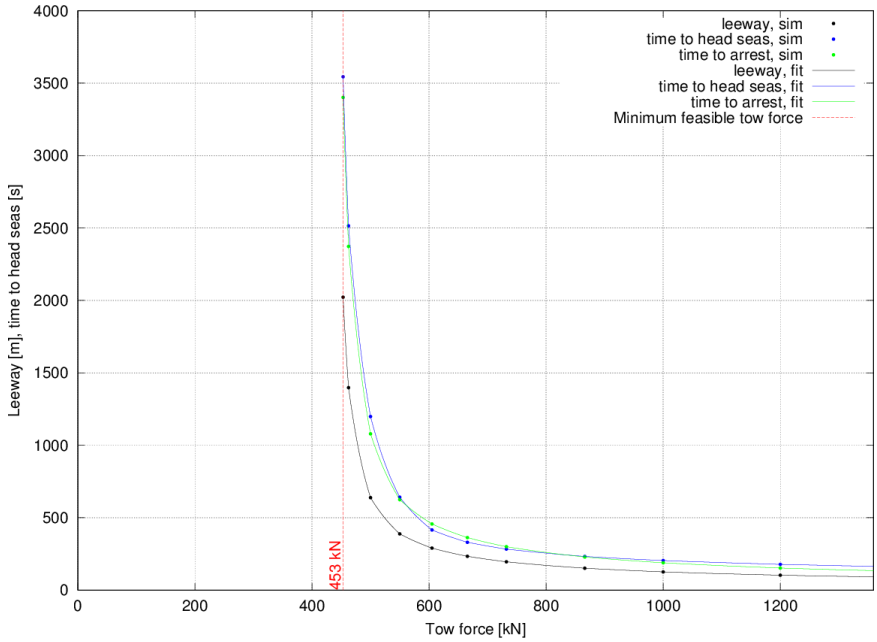
Vehicle Carrier effect of tow force; 75th percentile environment



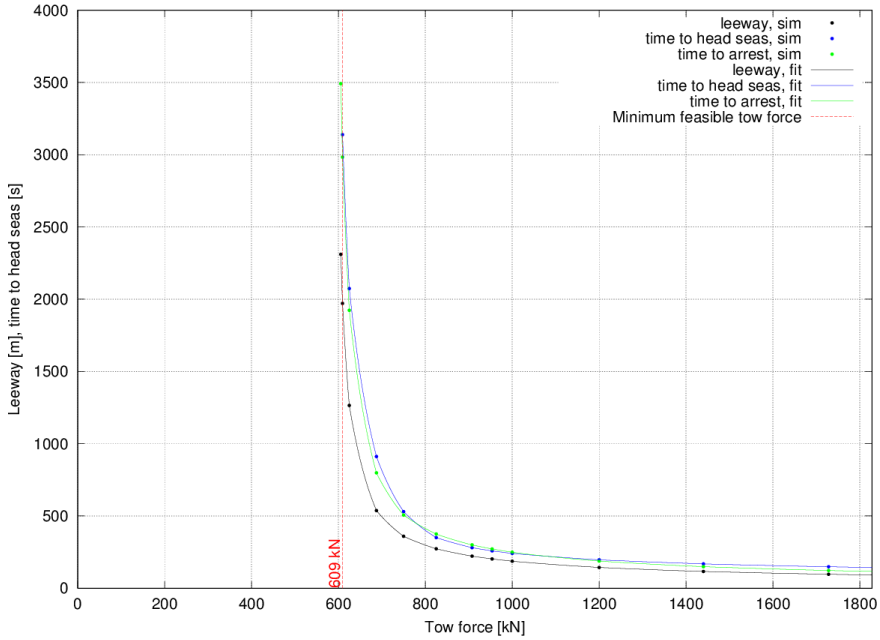
Vehicle Carrier effect of tow force; 85th percentile environment



Vehicle Carrier effect of tow force; 95th percentile environment

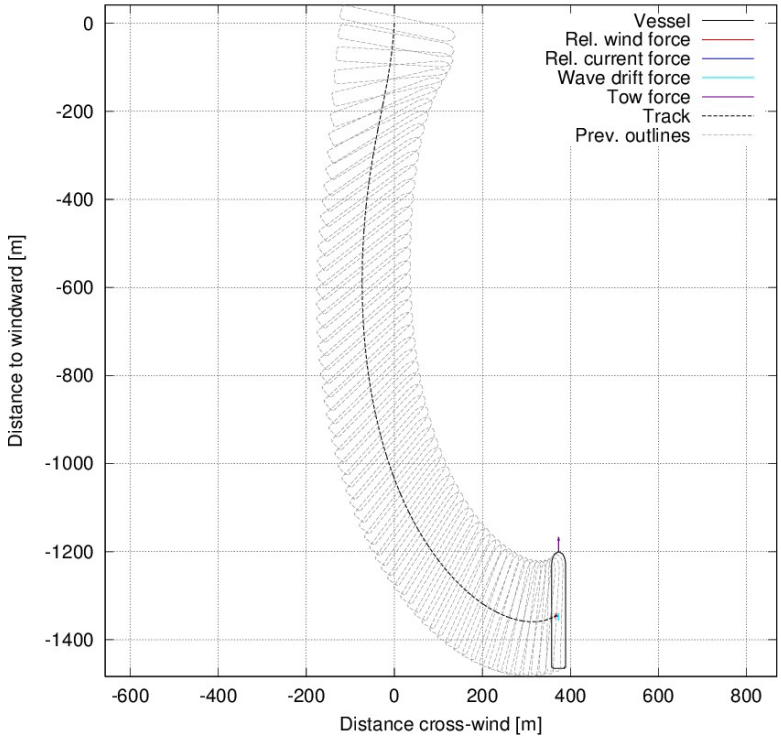


Vehicle Carrier effect of tow force; 99th percentile environment

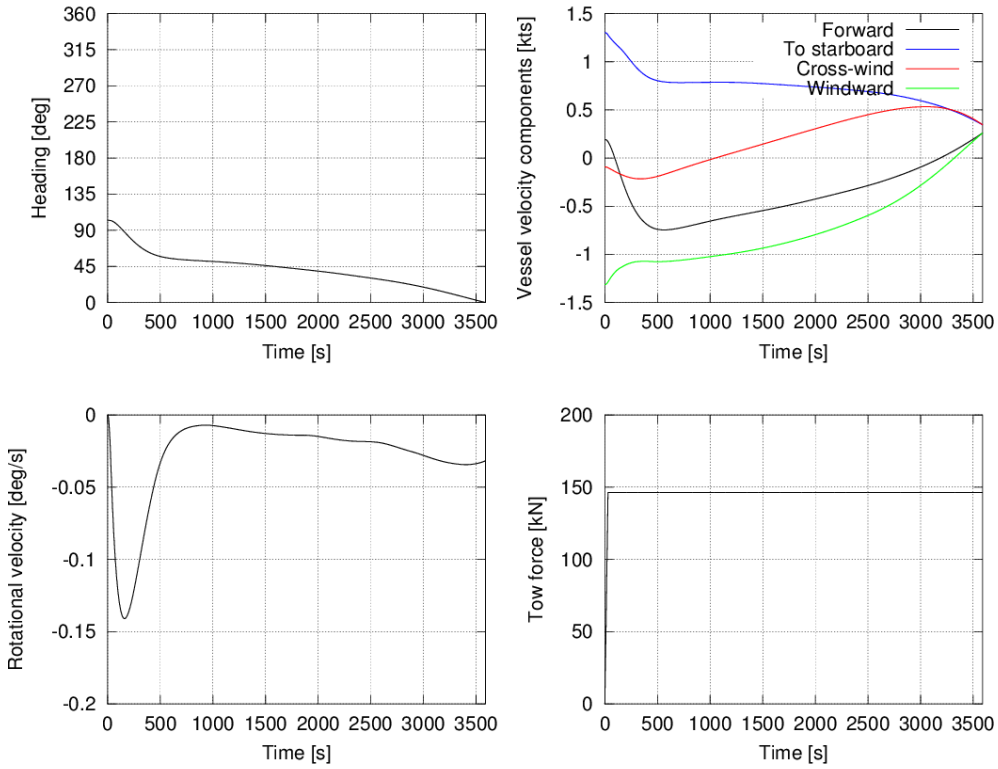


14.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

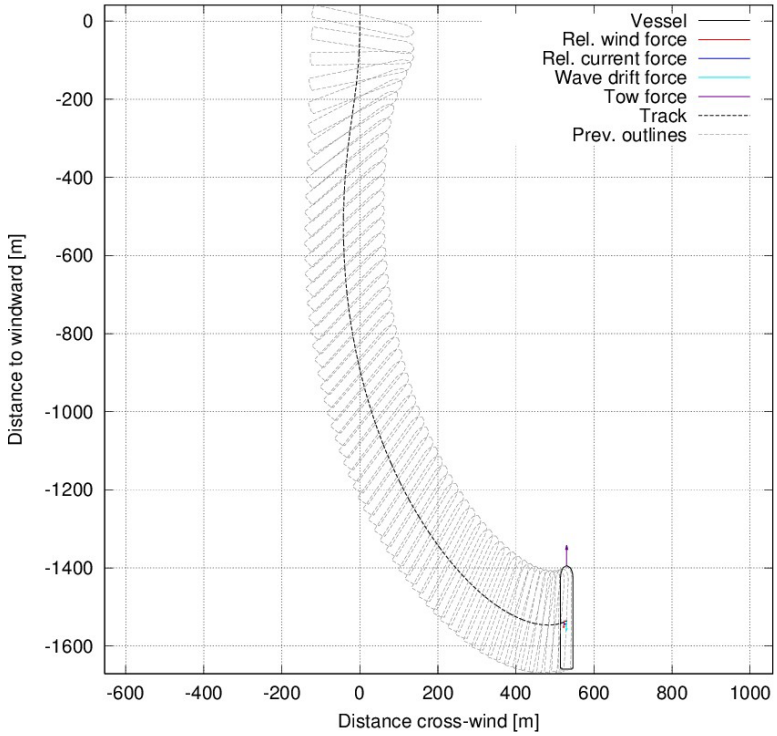
Vehicle Carrier, 50th percentile environment, 146 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3589.0 s



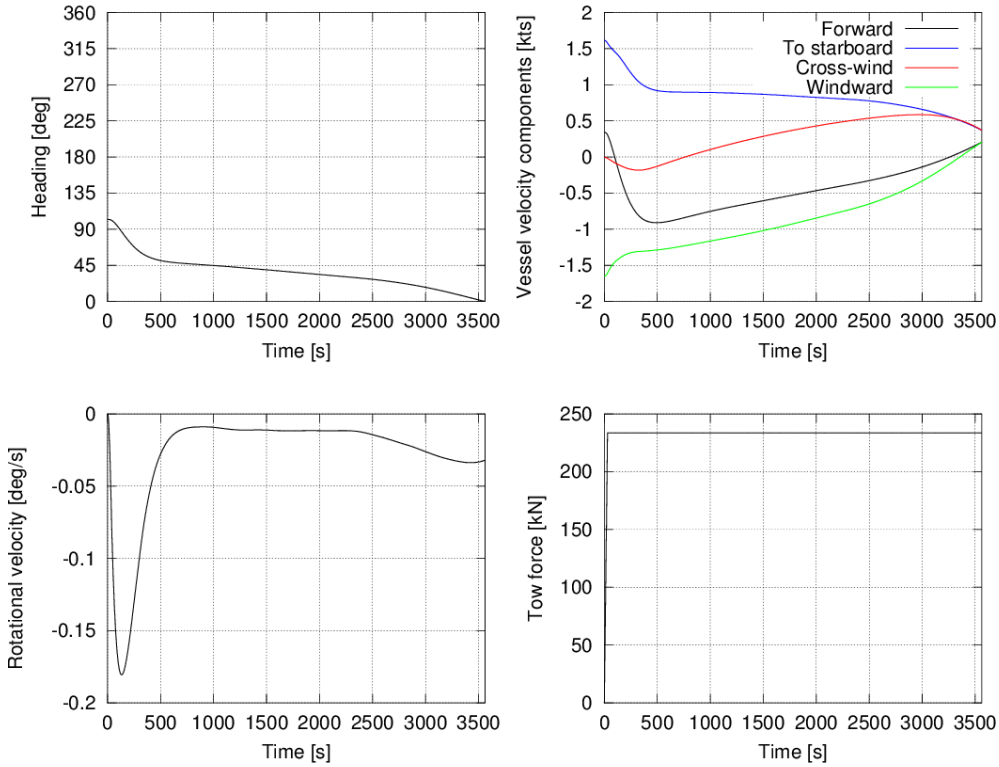
Vehicle Carrier, 50th percentile environment, 146 kN pull, port turn



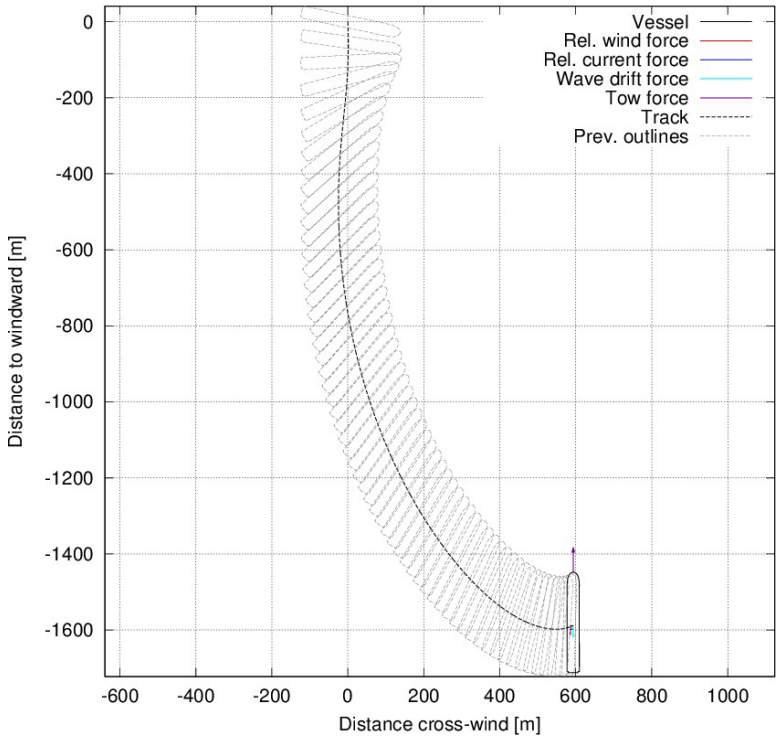
Vehicle Carrier, 75th percentile environment, 234 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3562.0 s



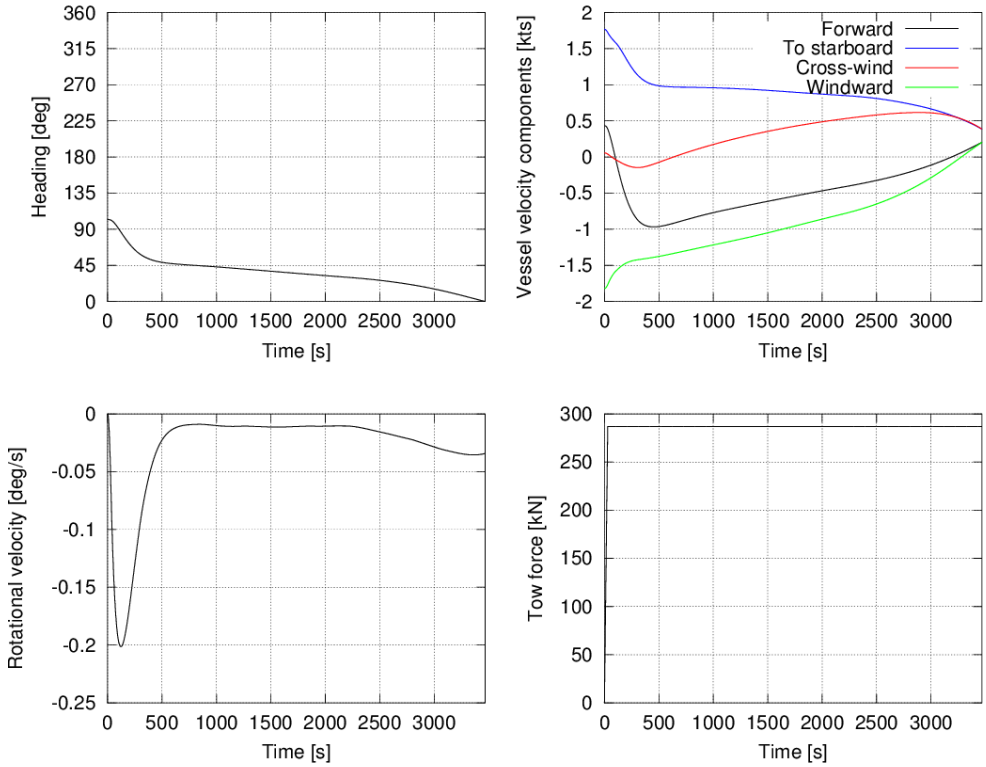
Vehicle Carrier, 75th percentile environment, 234 kN pull, port turn



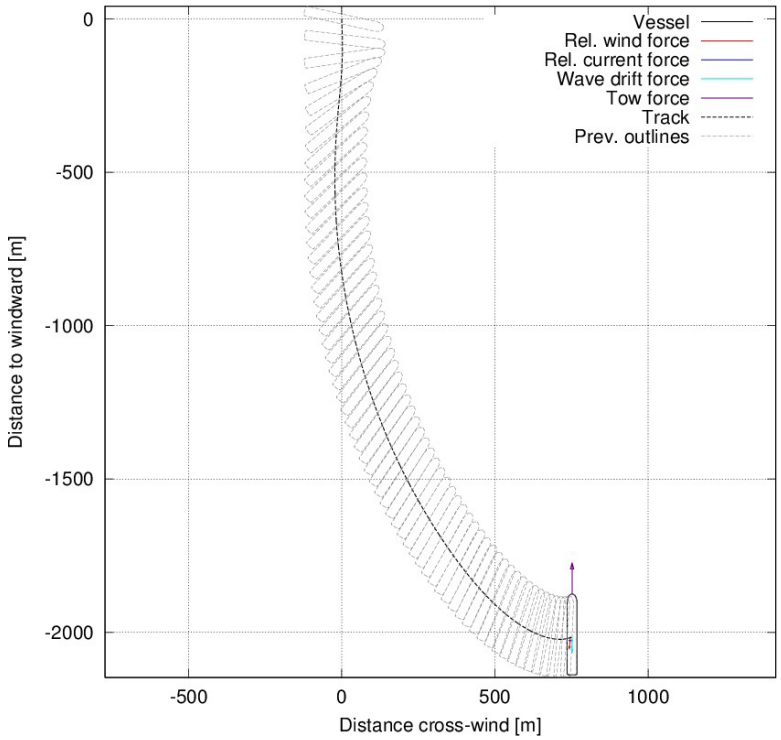
Vehicle Carrier, 85th percentile environment, 287 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3468.0 s



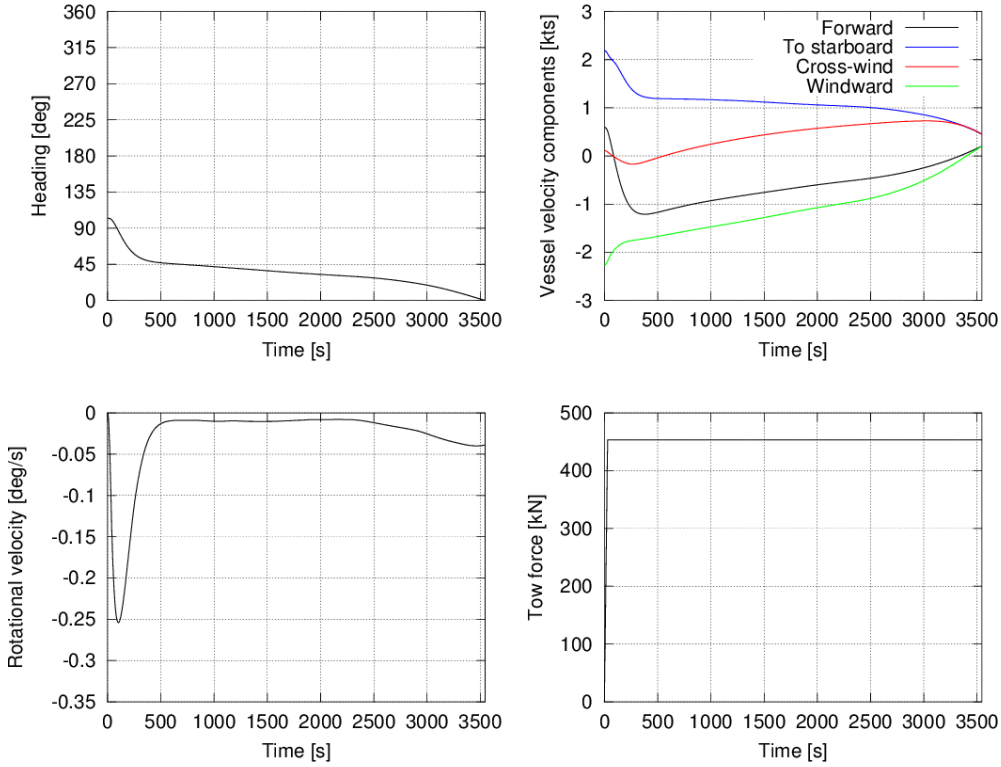
Vehicle Carrier, 85th percentile environment, 287 kN pull, port turn



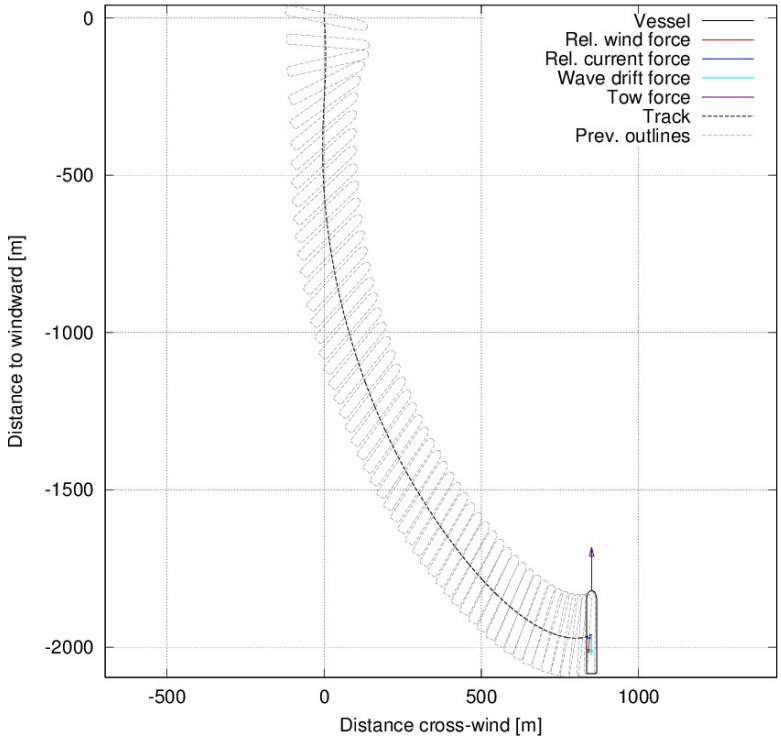
Vehicle Carrier, 95th percentile environment, 453 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3545.0 s



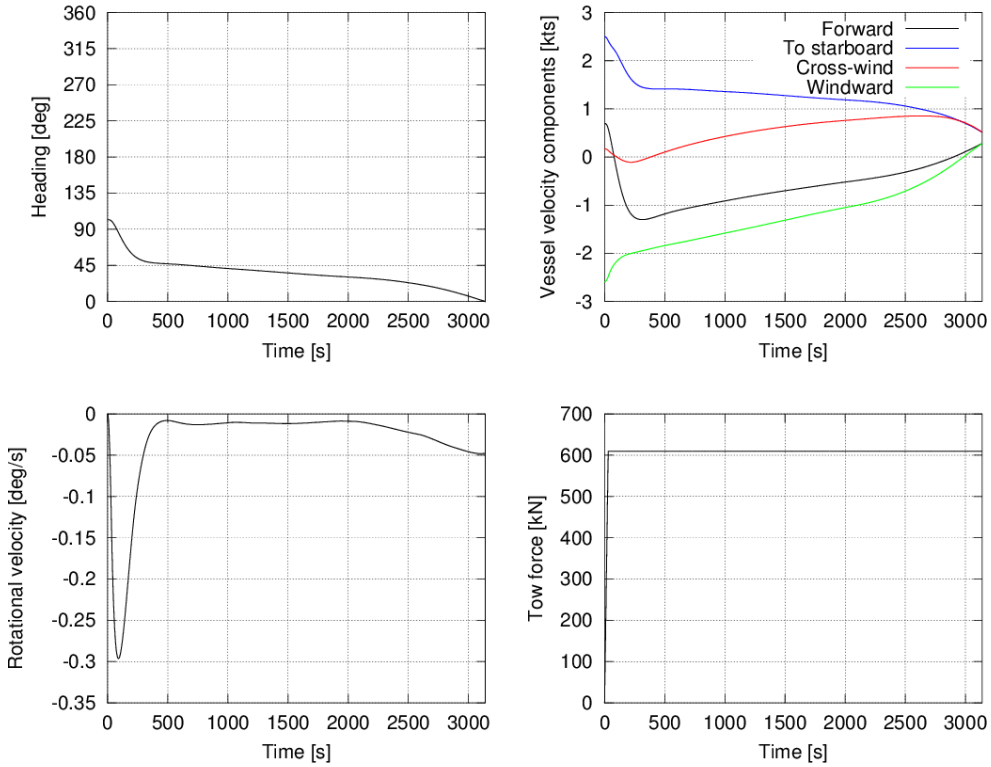
Vehicle Carrier, 95th percentile environment, 453 kN pull, port turn



Vehicle Carrier, 99th percentile environment, 609 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3139.0 s



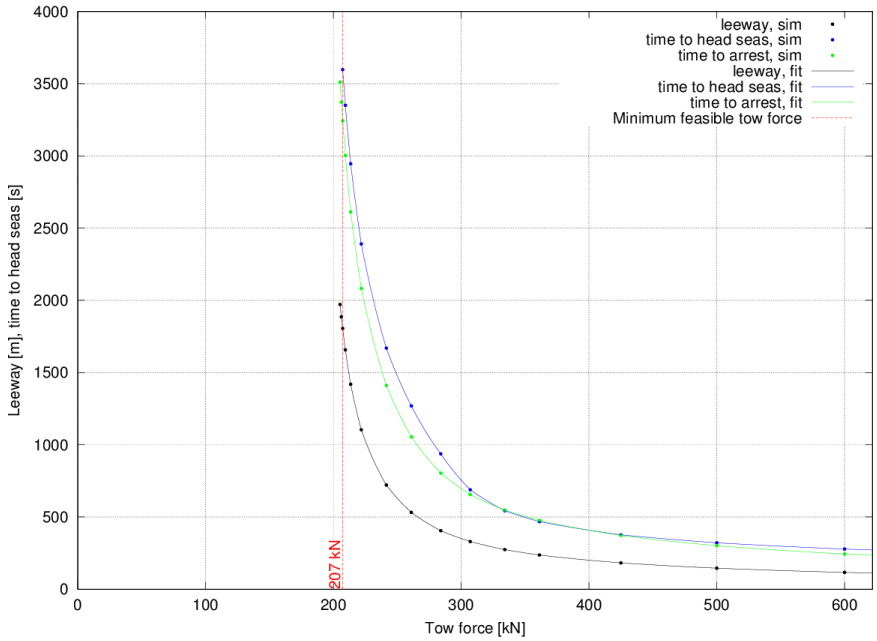
Vehicle Carrier, 99th percentile environment, 609 kN pull, port turn



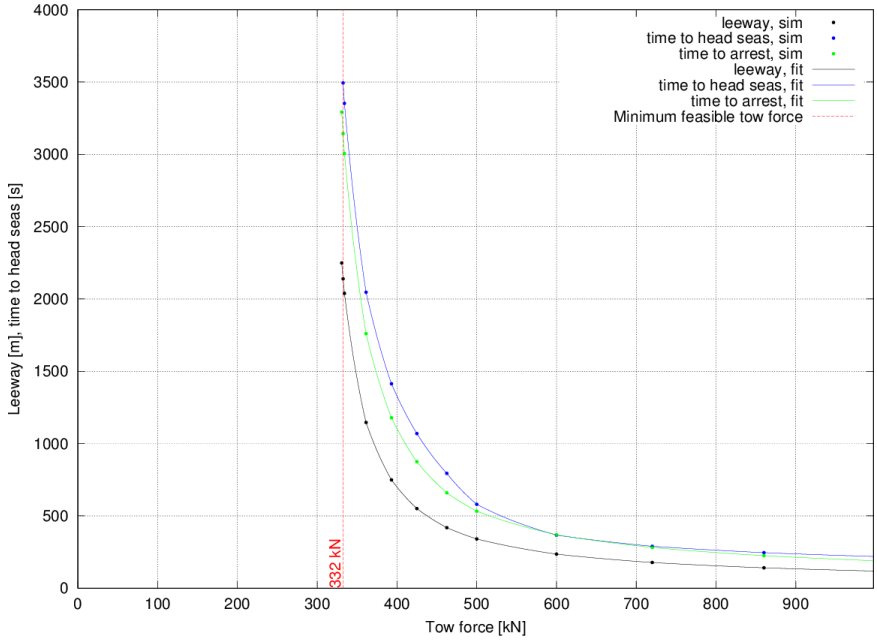
15.0 Appendix B.5: Passenger Ship Simulation Results

15.1 Effect of Tow Force

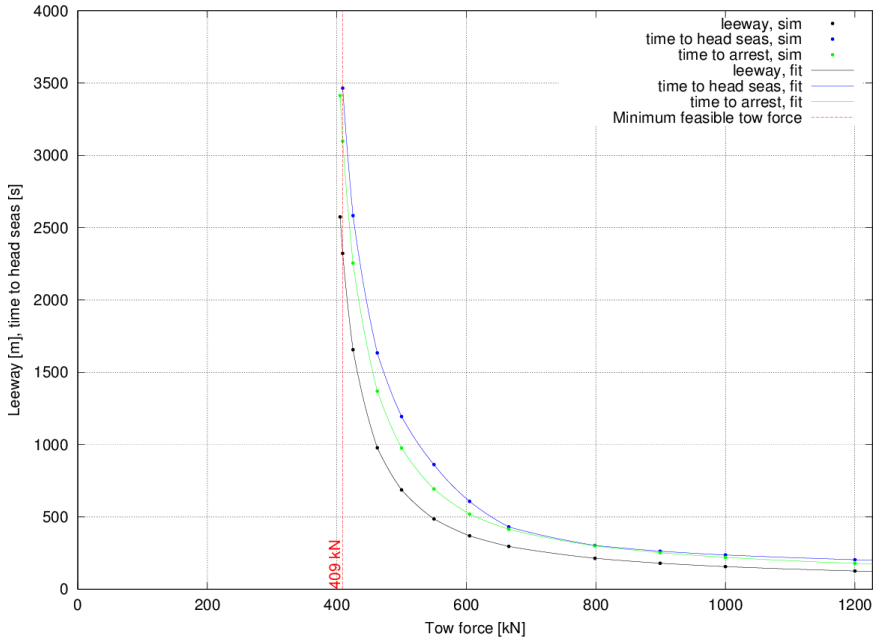
Passenger Ship effect of tow force; 50th percentile environment



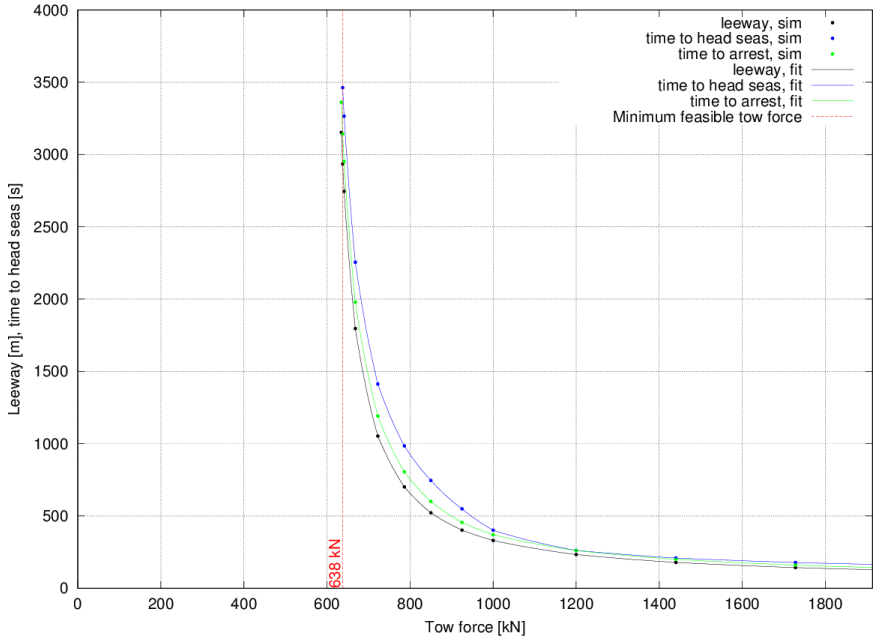
Passenger Ship effect of tow force; 75th percentile environment



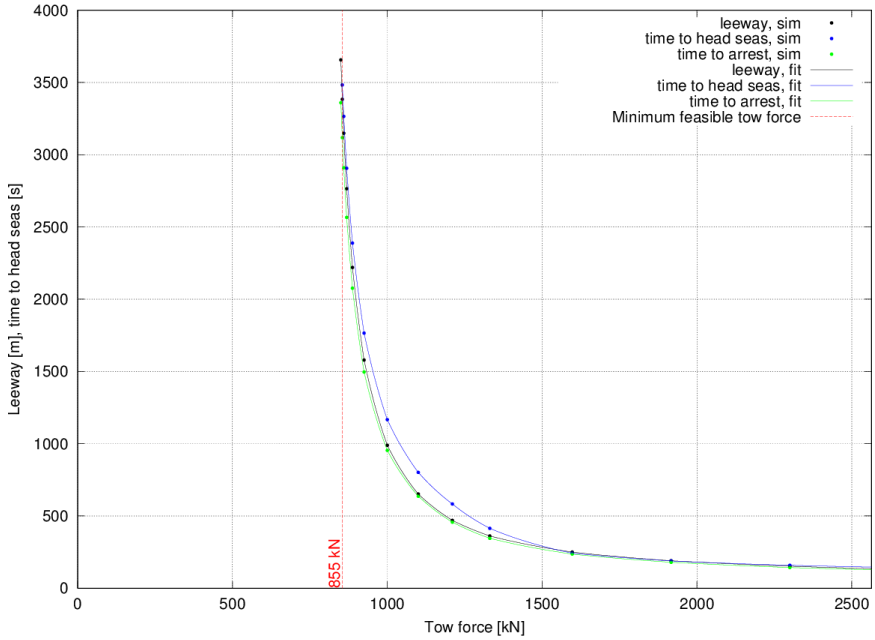
Passenger Ship effect of tow force; 85th percentile environment



Passenger Ship effect of tow force; 95th percentile environment

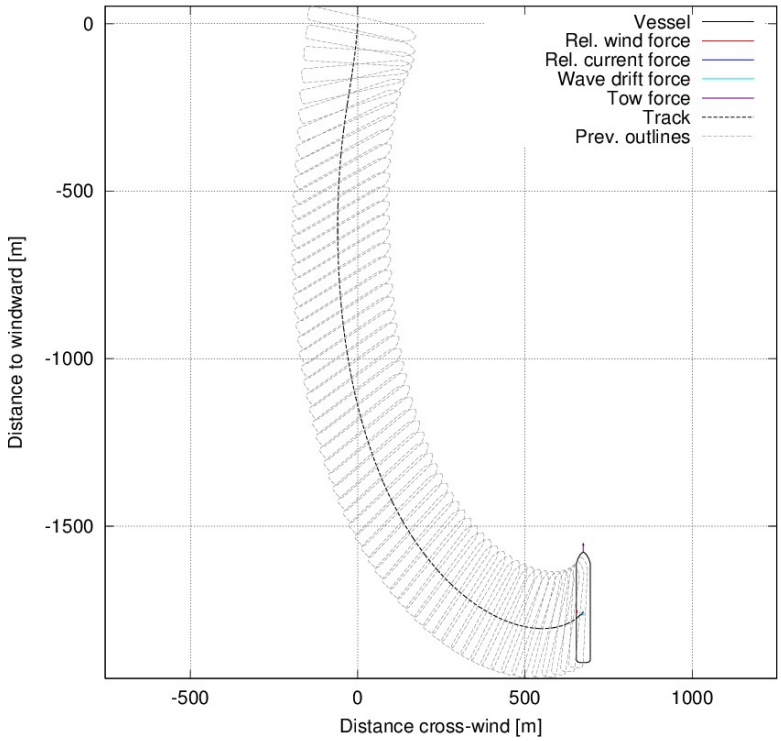


Passenger Ship effect of tow force; 99th percentile environment

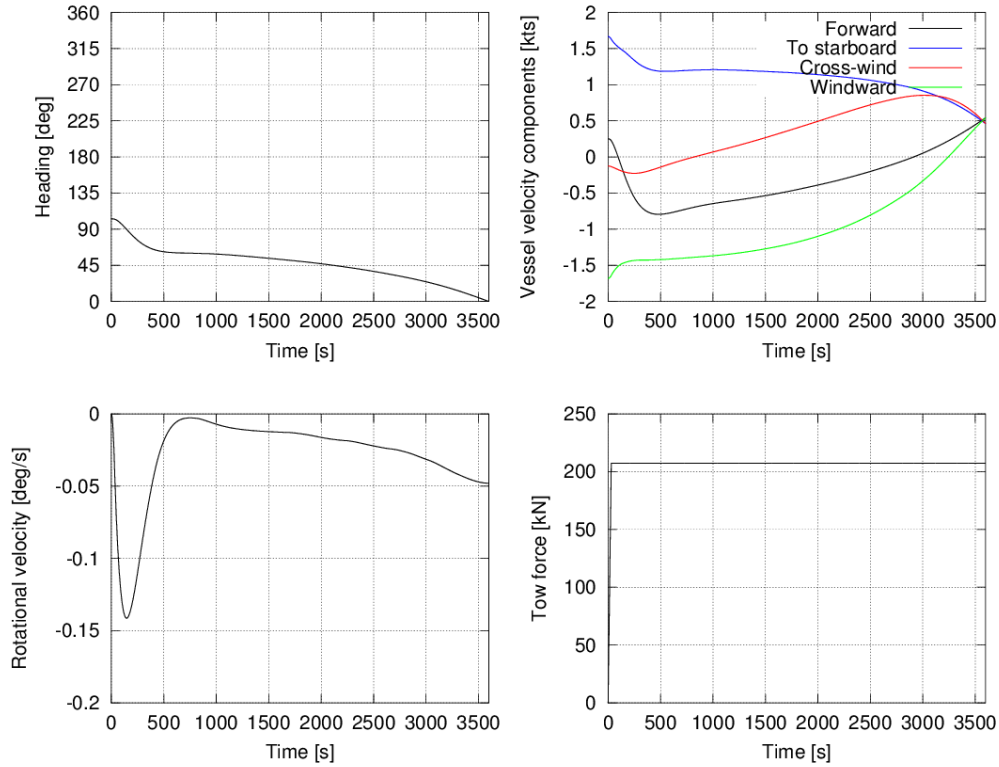


15.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

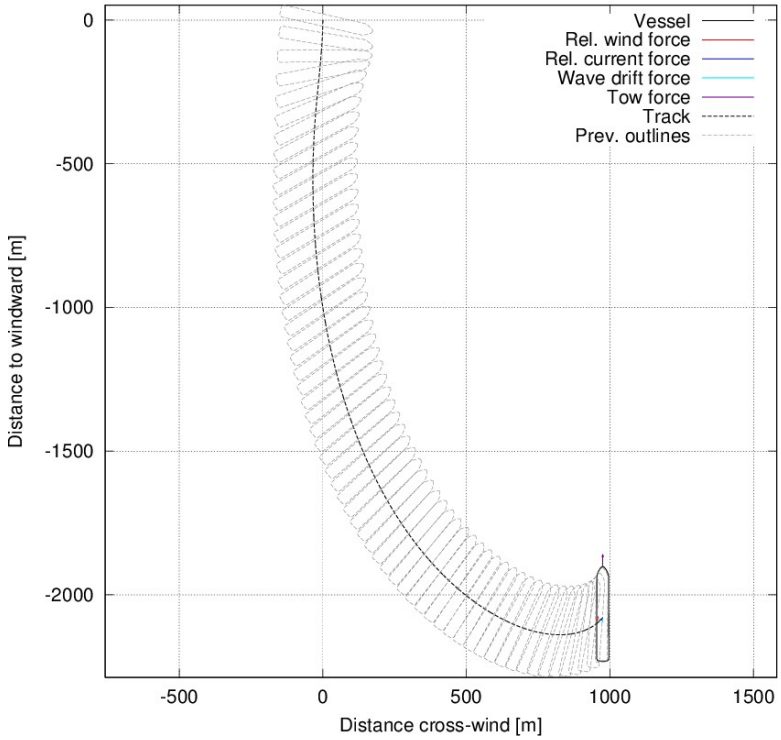
Passenger Ship, 50th percentile environment, 207 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3598.0 s



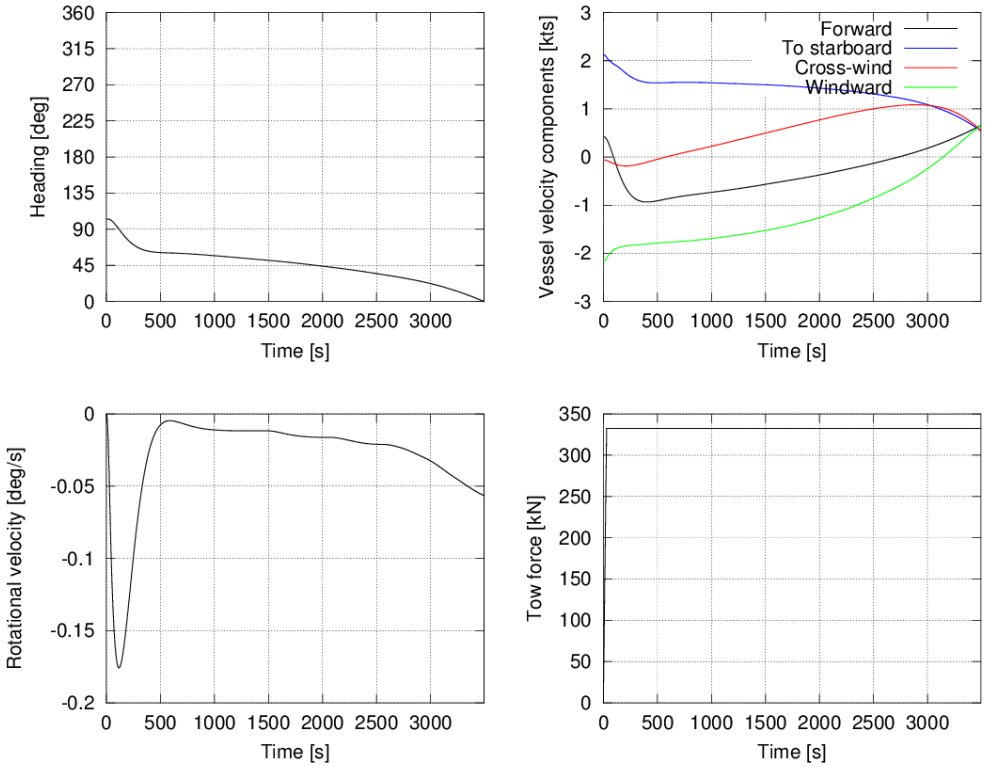
Passenger Ship, 50th percentile environment, 207 kN pull, port turn



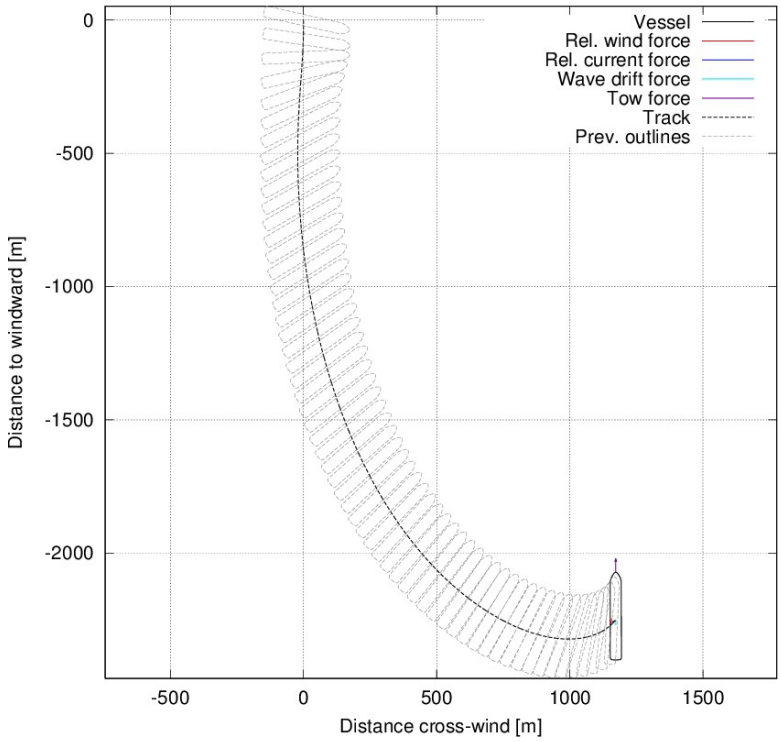
Passenger Ship, 75th percentile environment, 332 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3494.0 s



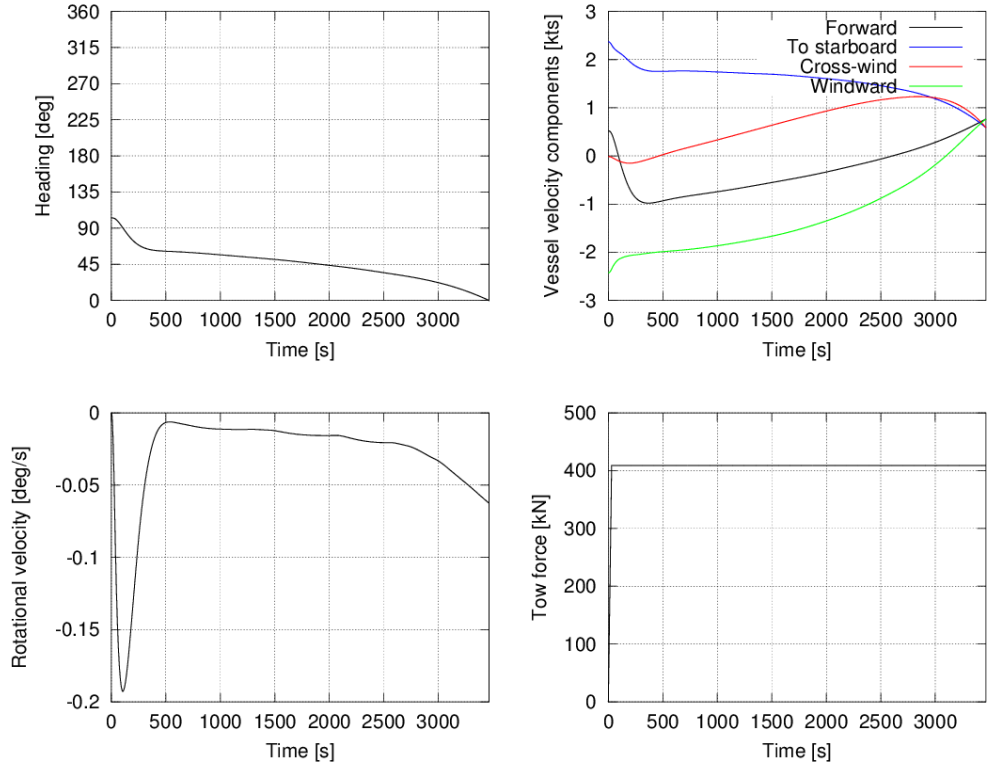
Passenger Ship, 75th percentile environment, 332 kN pull, port turn



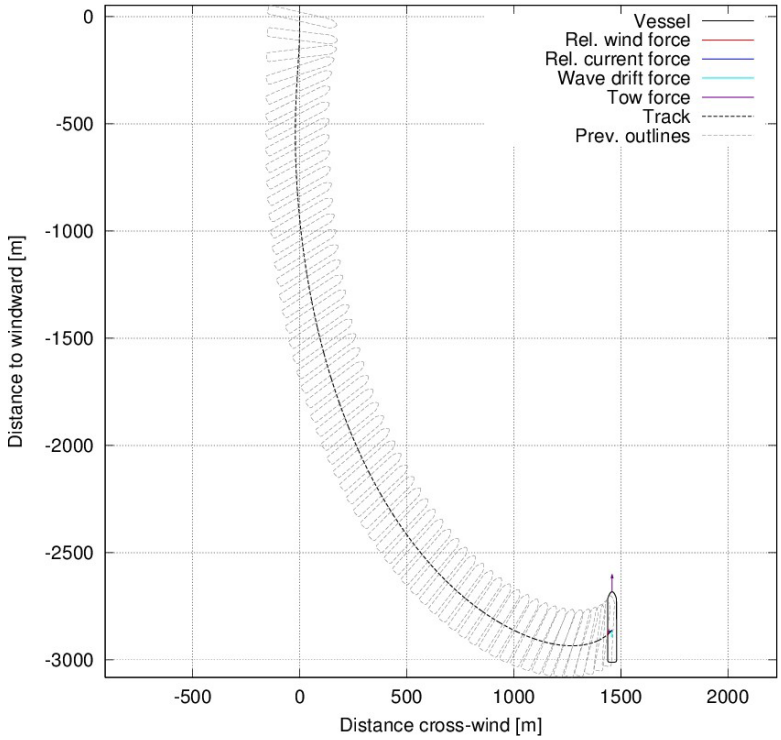
Passenger Ship, 85th percentile environment, 409 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3465.0 s



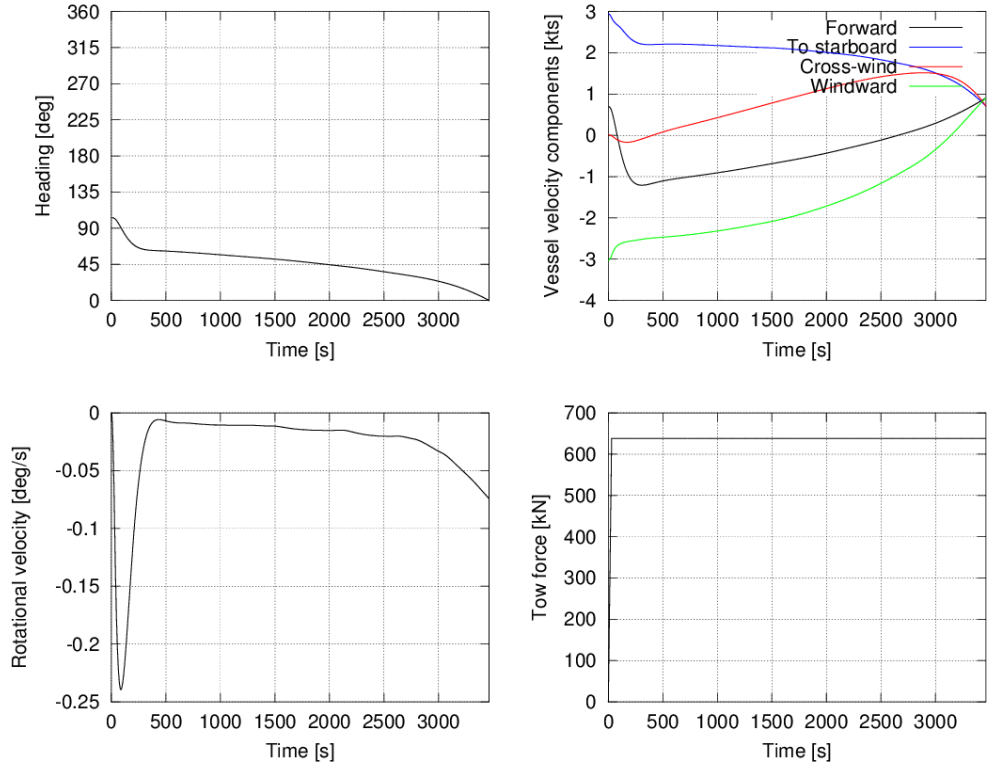
Passenger Ship, 85th percentile environment, 409 kN pull, port turn



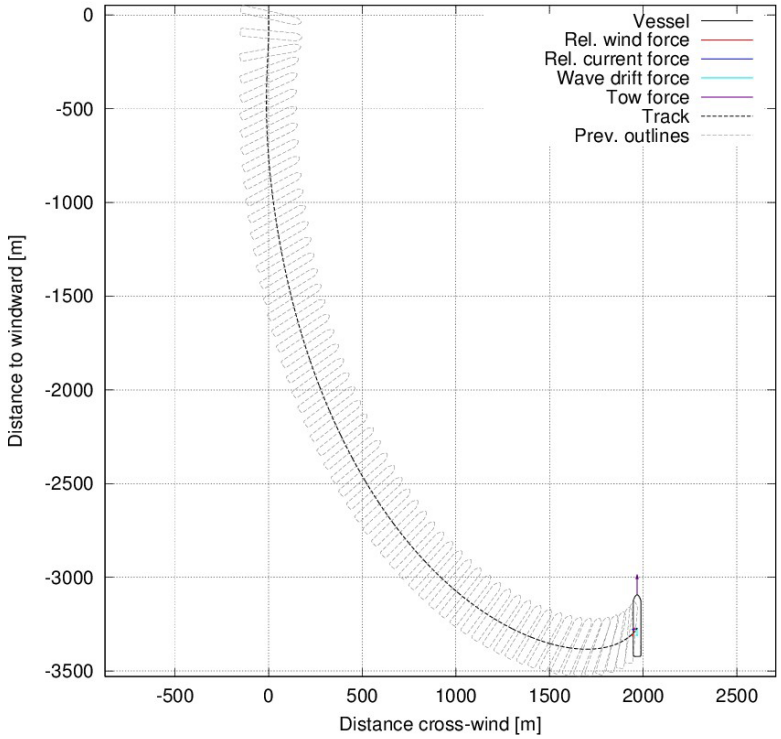
Passenger Ship, 95th percentile environment, 638 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3463.0 s



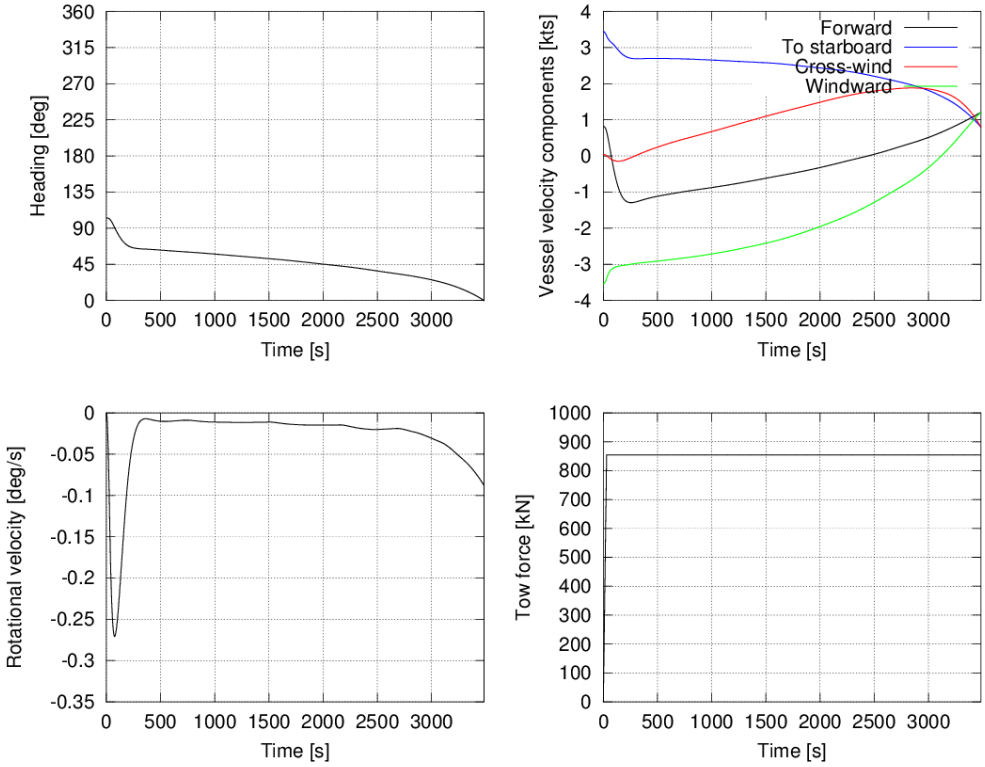
Passenger Ship, 95th percentile environment, 638 kN pull, port turn



Passenger Ship, 99th percentile environment, 855 kN pull, port turn 359.9 deg heading from windward at 3484.0 s



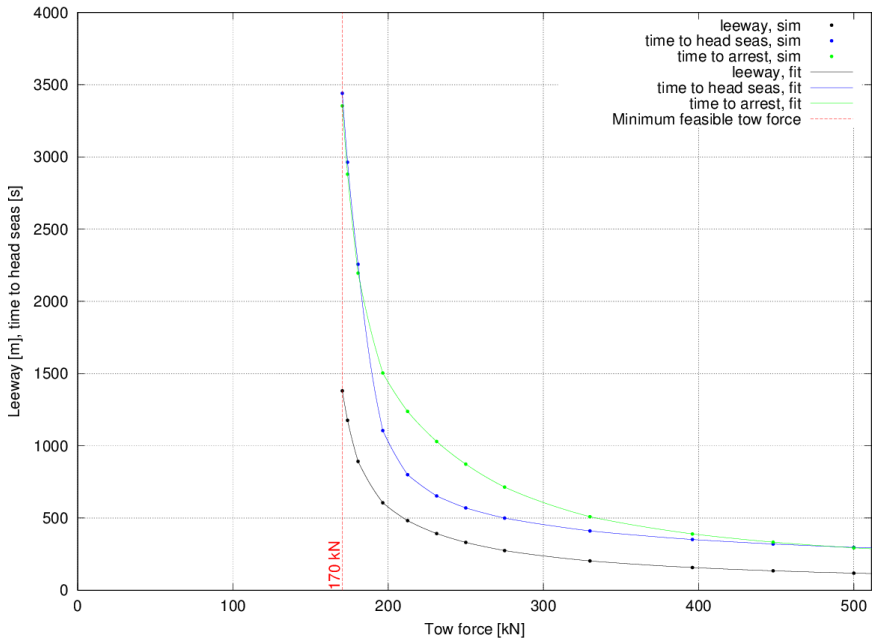
Passenger Ship, 99th percentile environment, 855 kN pull, port turn



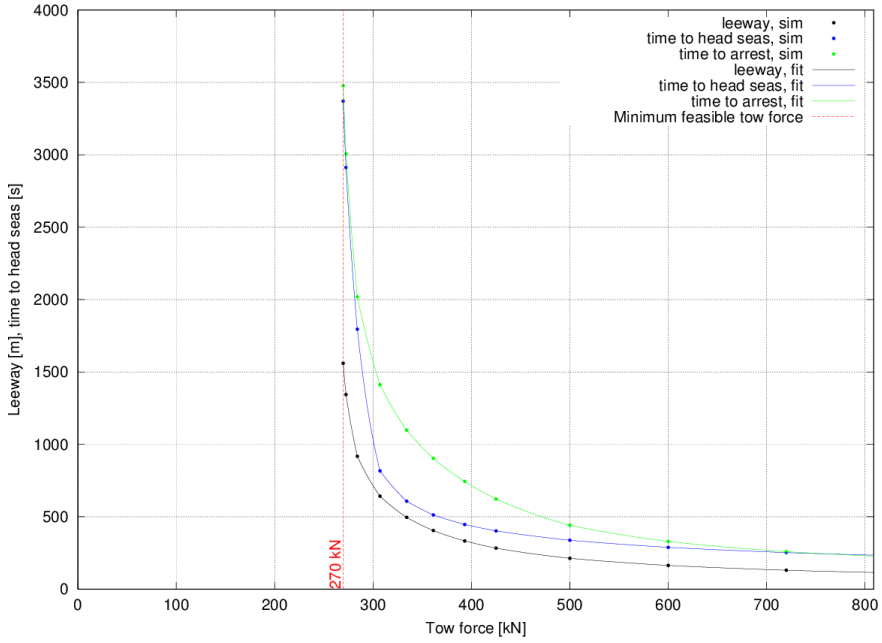
16.0 Appendix B.6: Bulk Carrier Simulation Results

16.1 Effect of Tow Force

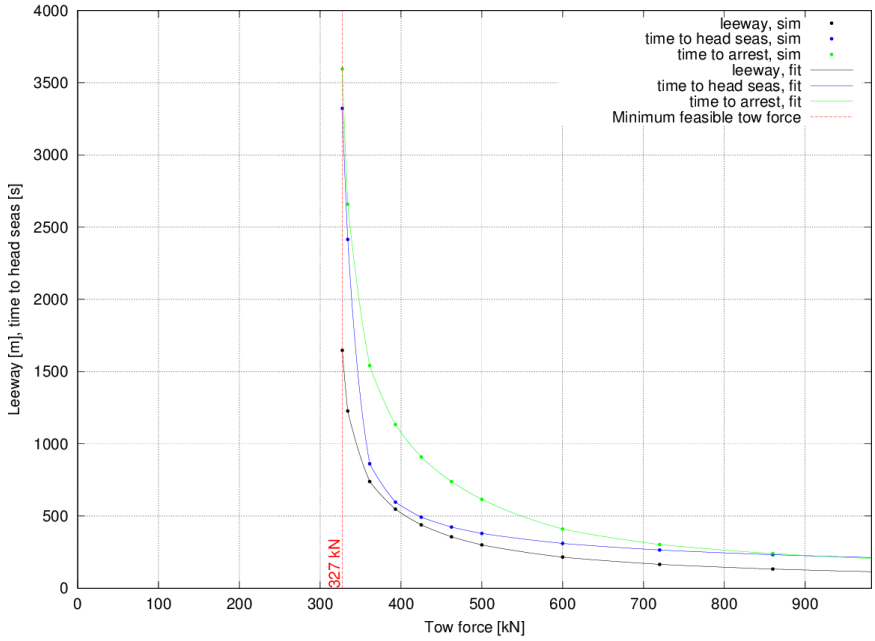
Bulk Carrier effect of tow force; 50th percentile environment



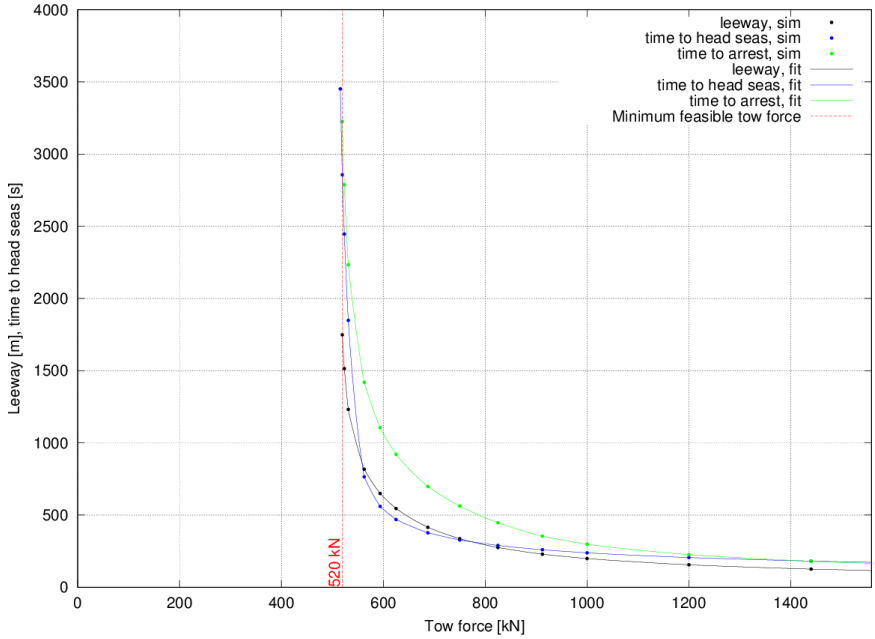
Bulk Carrier effect of tow force; 50th percentile environment



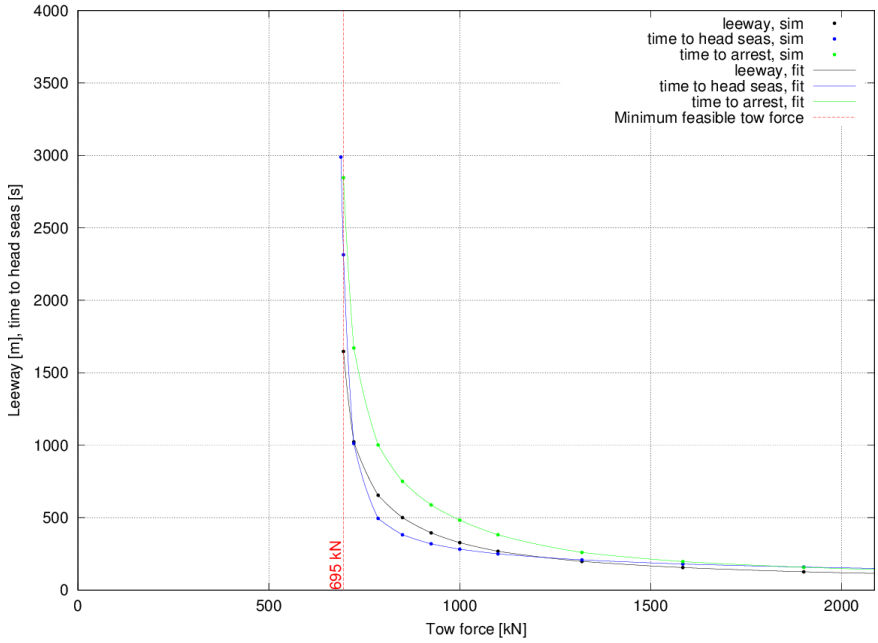
Bulk Carrier effect of tow force; 85th percentile environment



Bulk Carrier effect of tow force; 95th percentile environment

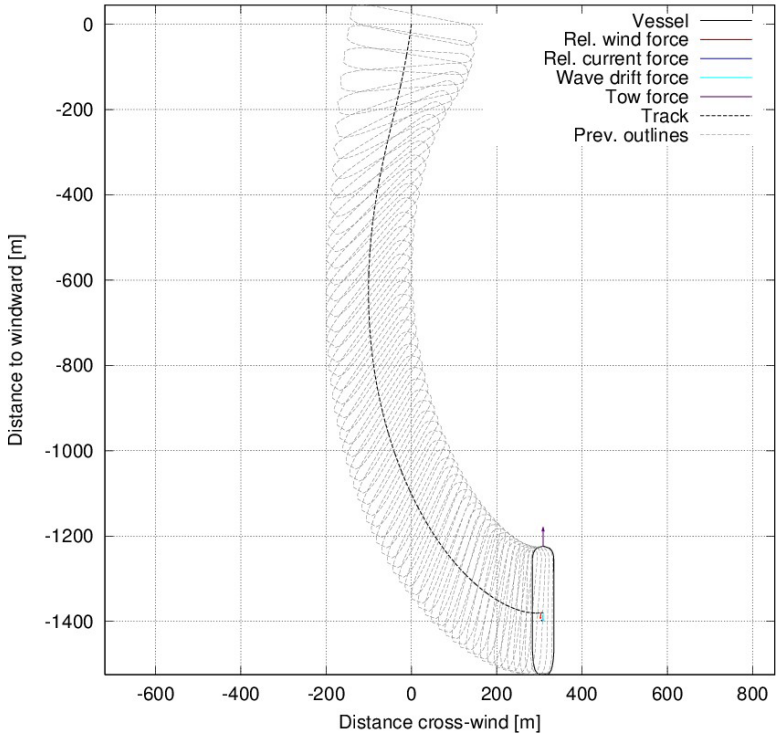


Bulk Carrier effect of tow force; 99th percentile environment

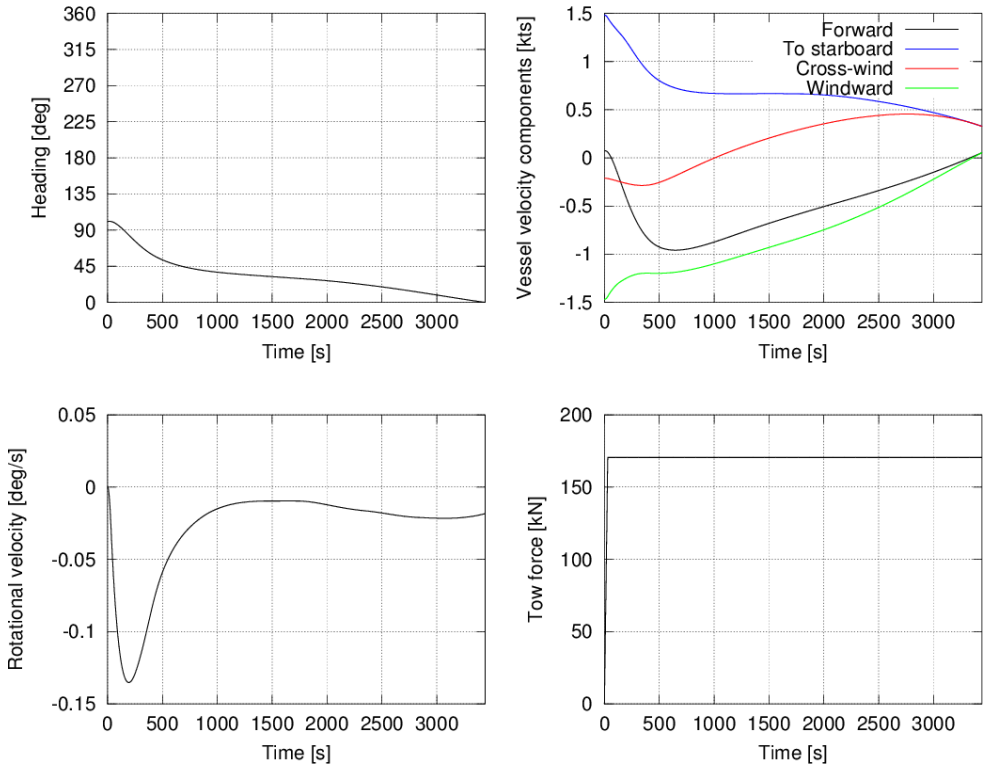


16.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

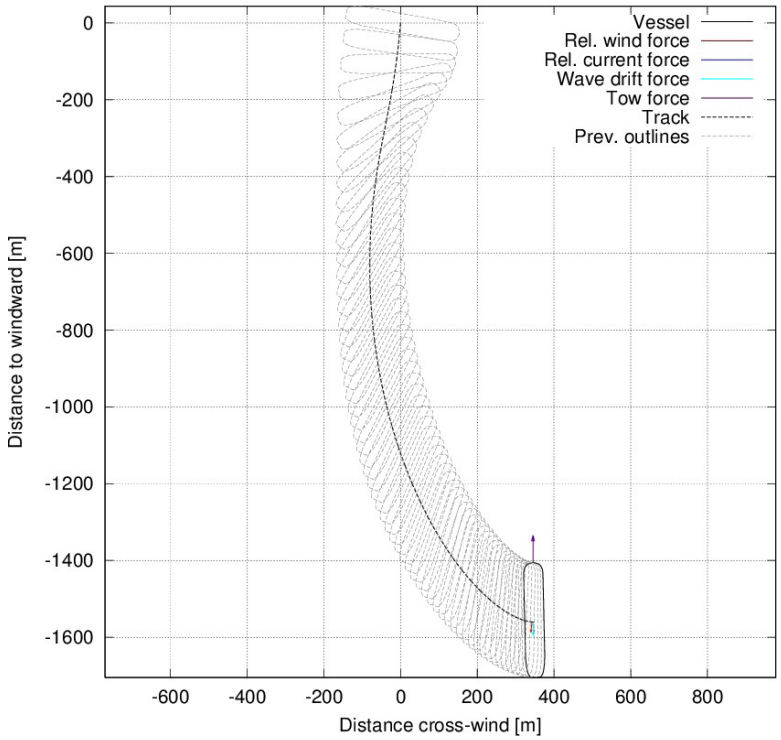
Bulk Carrier, 50th percentile environment, 170 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3441.0 s



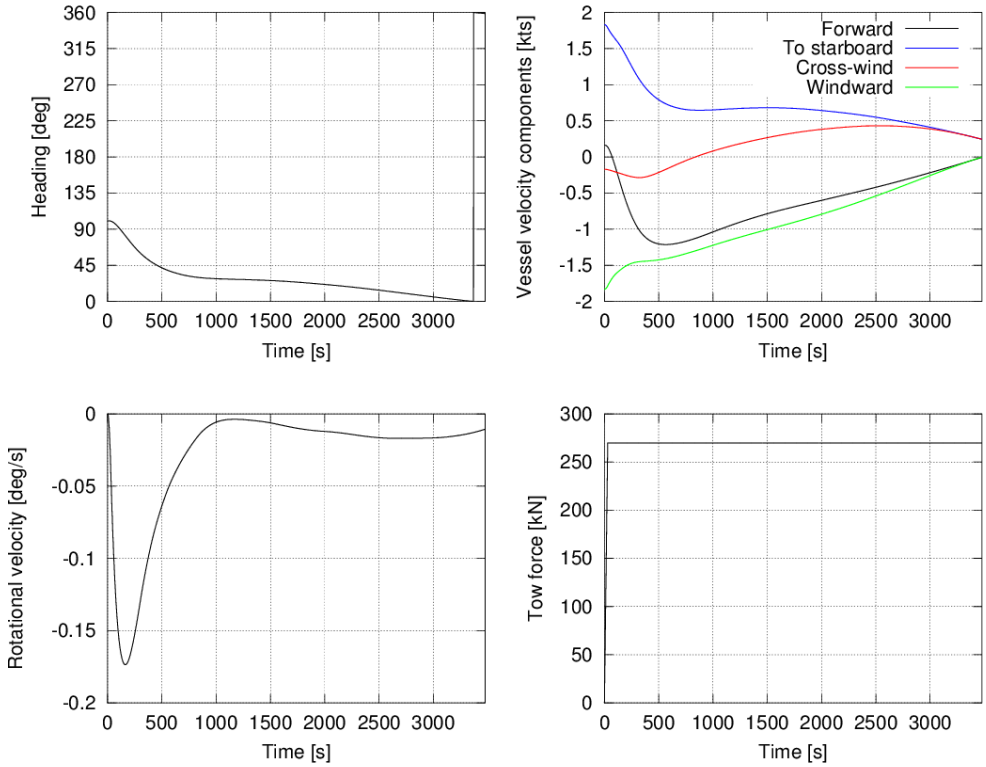
Bulk Carrier, 50th percentile environment, 170 kN pull, port turn



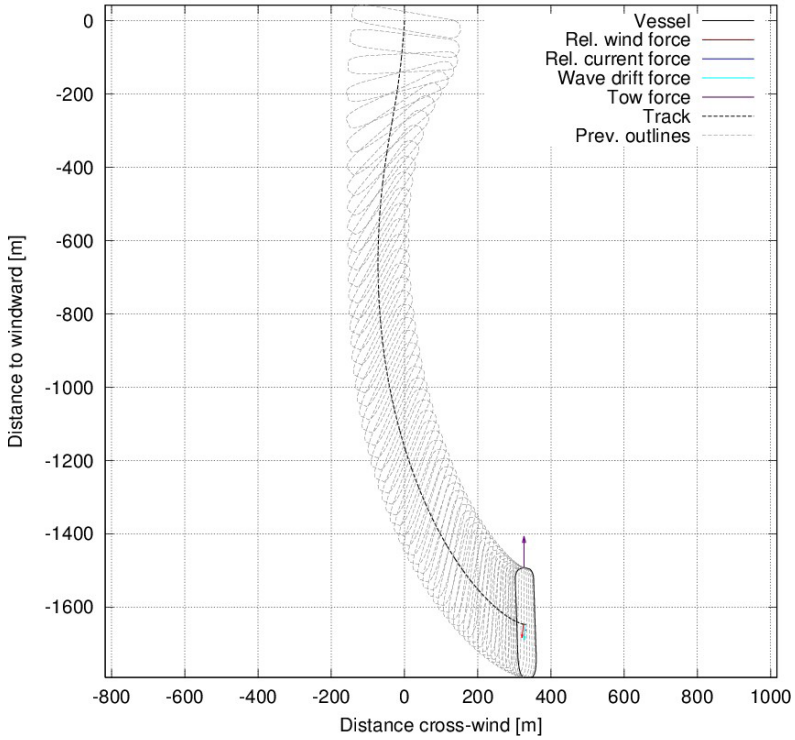
Bulk Carrier, 75th percentile environment, 270 kN pull, port turn 358.7 deg heading from windward at 3477.0 s



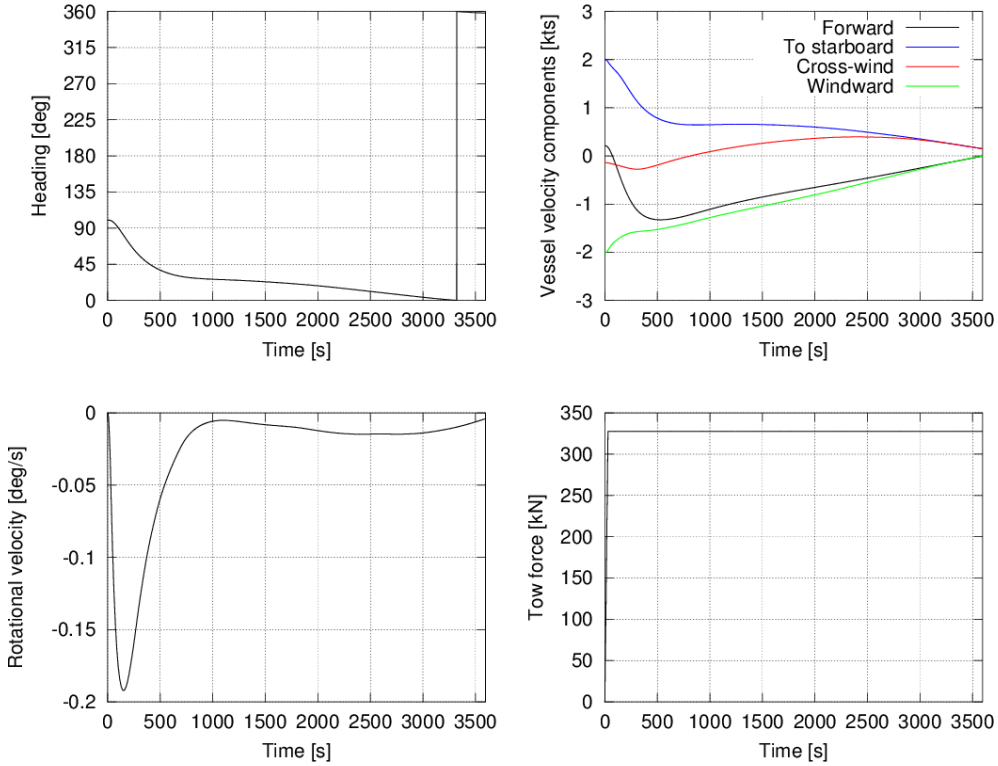
Bulk Carrier, 75th percentile environment, 270 kN pull, port turn



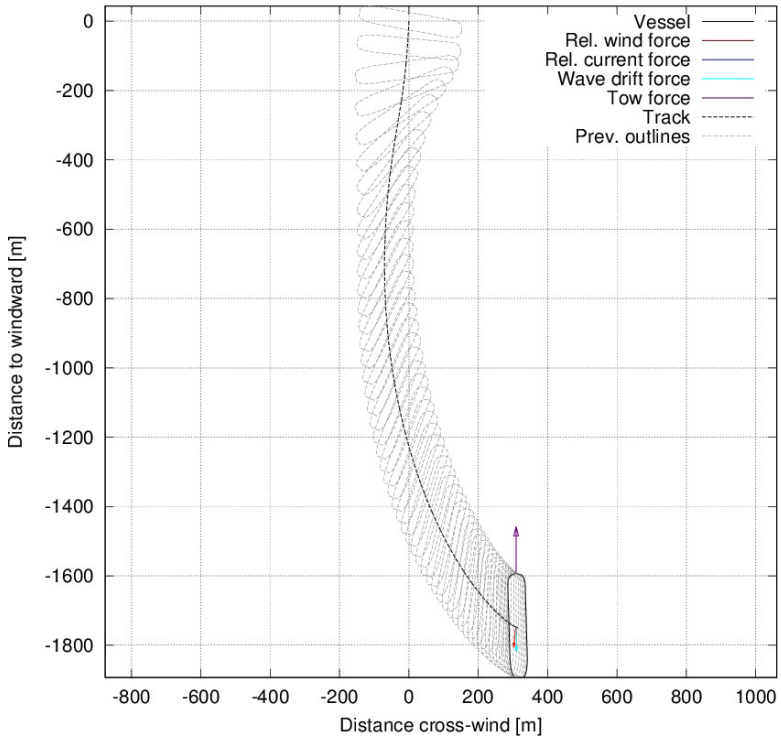
Bulk Carrier, 85th percentile environment, 327 kN pull, port turn 358.1 deg heading from windward at 3595.0 s



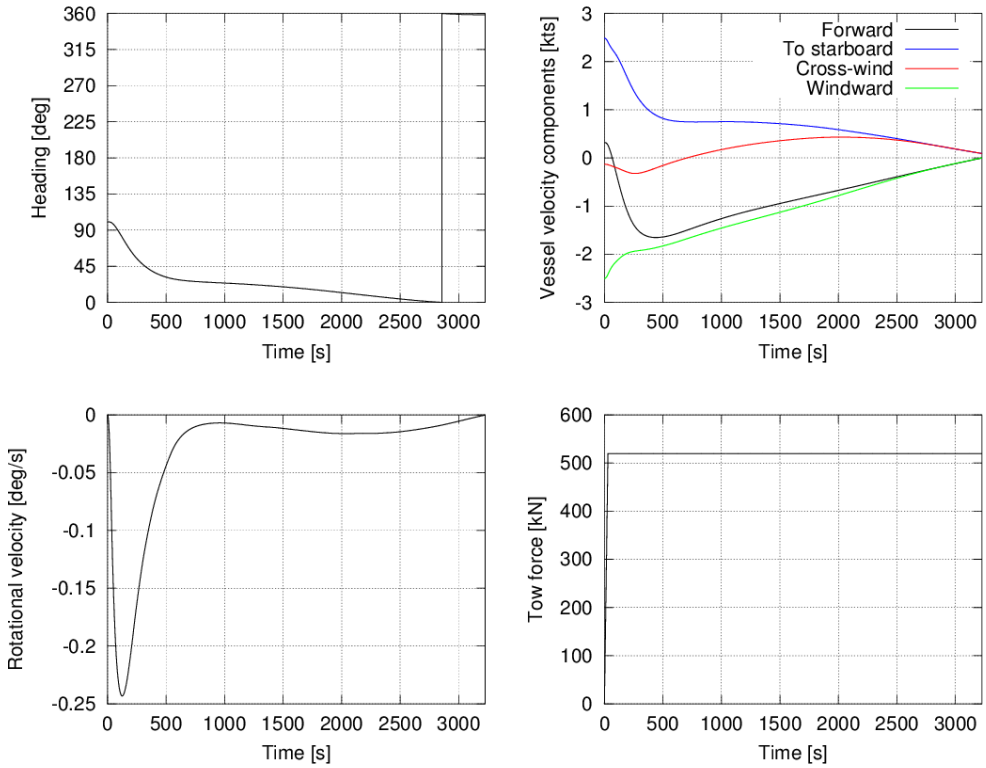
Bulk Carrier, 85th percentile environment, 327 kN pull, port turn



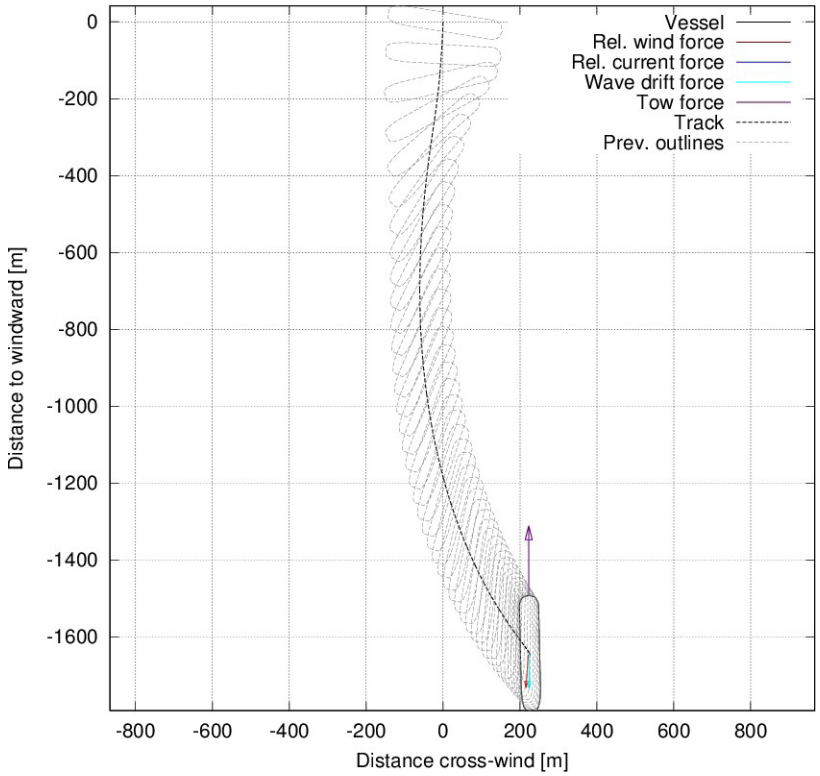
Bulk Carrier, 95th percentile environment, 520 kN pull, port turn 358.3 deg heading from windward at 3226.0 s



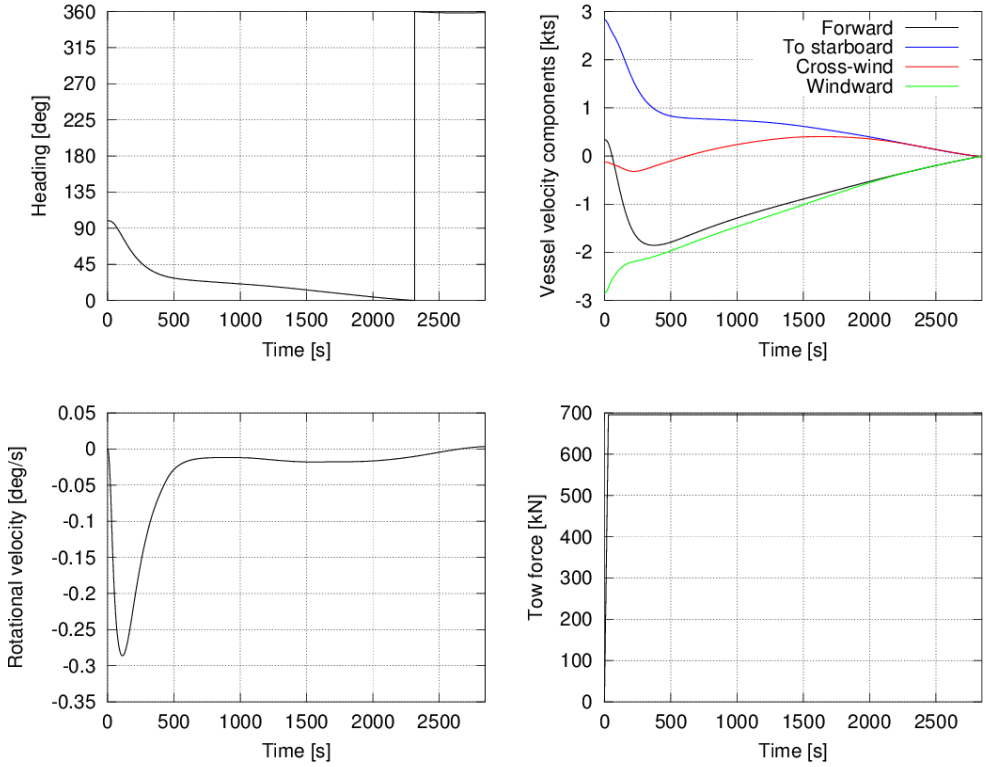
Bulk Carrier, 95th percentile environment, 520 kN pull, port turn



Bulk Carrier, 99th percentile environment, 695 kN pull, port turn 358.7 deg heading from windward at 2846.0 s



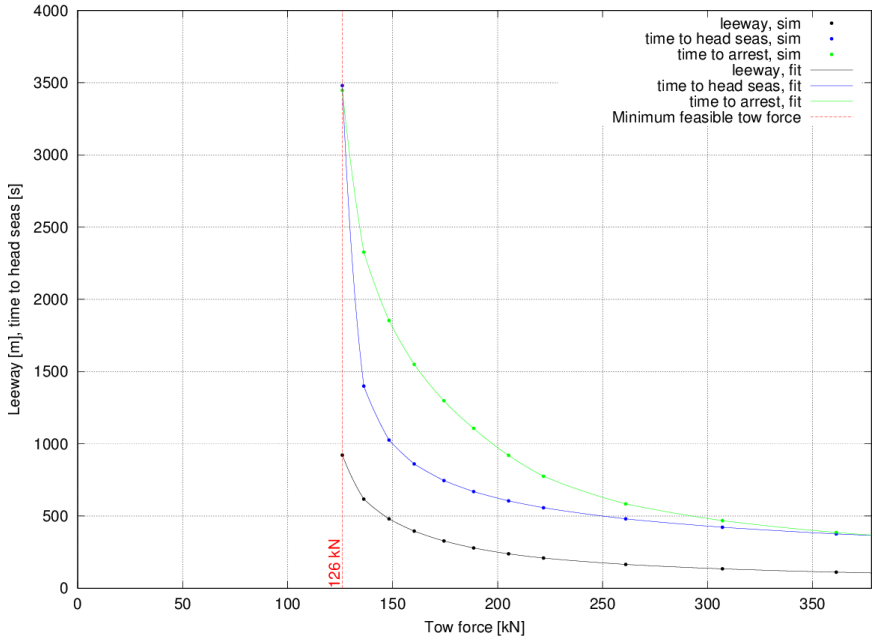
Bulk Carrier, 99th percentile environment, 695 kN pull, port turn



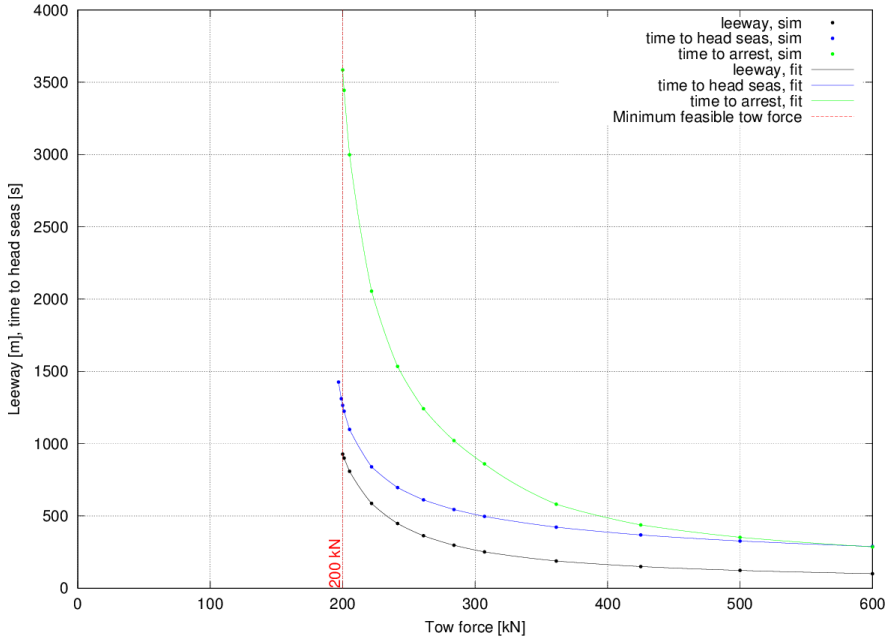
17.0 Appendix B.7: Aframax Tanker Simulation Results

17.1 Effect of Tow Force

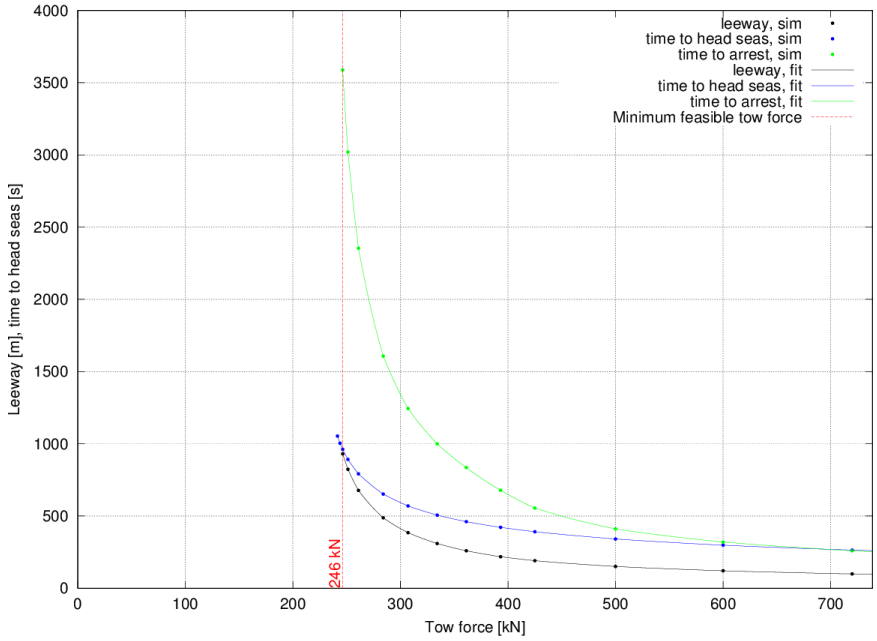
Aframax Tanker effect of tow force; 50th percentile environment



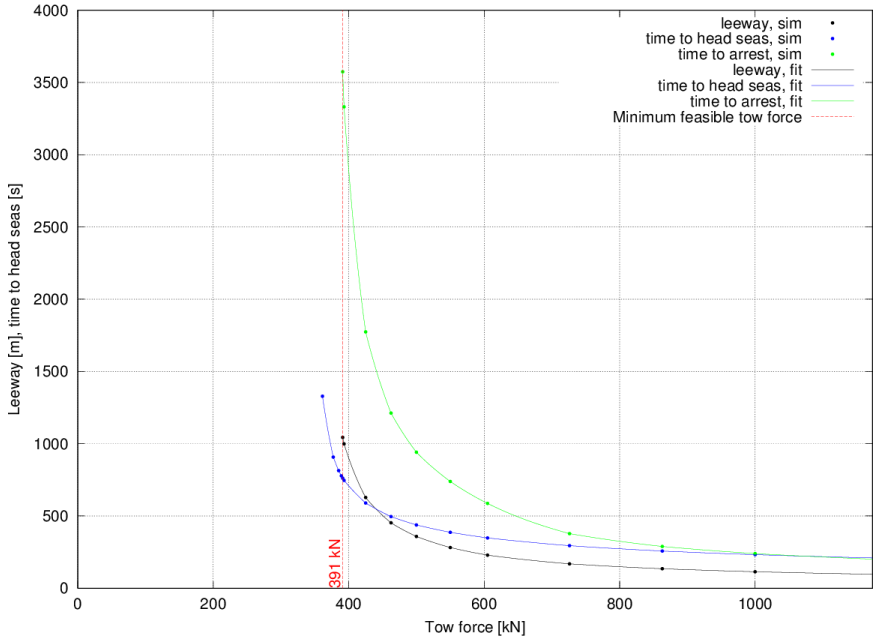
Aframax Tanker effect of tow force; 75th percentile environment



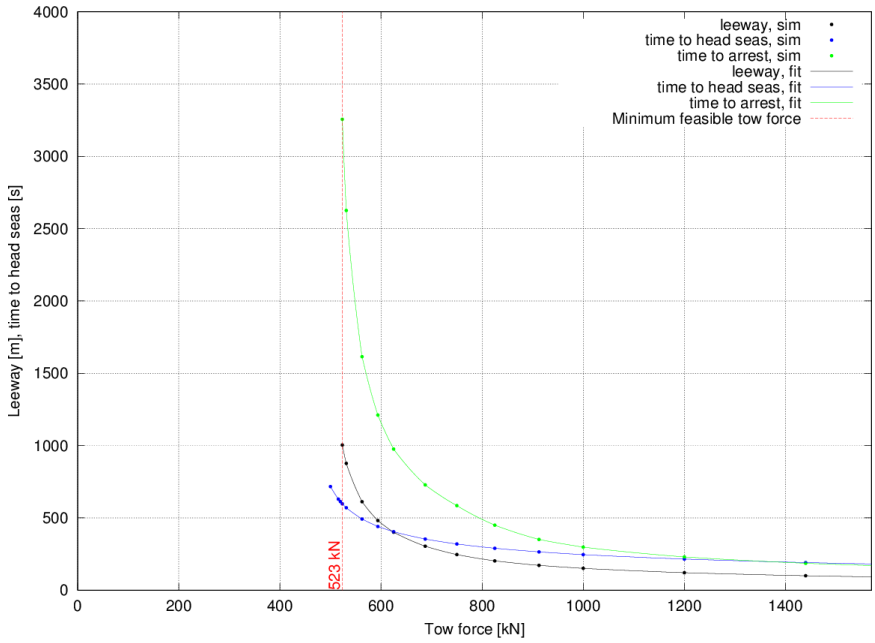
Aframax Tanker effect of tow force; 85th percentile environment



Aframax Tanker effect of tow force; 95th percentile environment

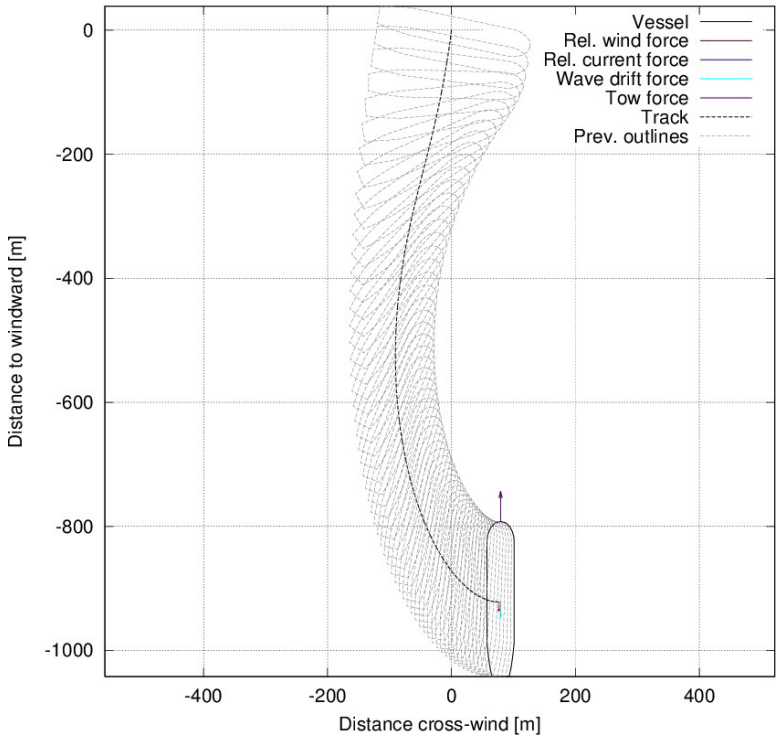


Aframax Tanker effect of tow force; 99th percentile environment

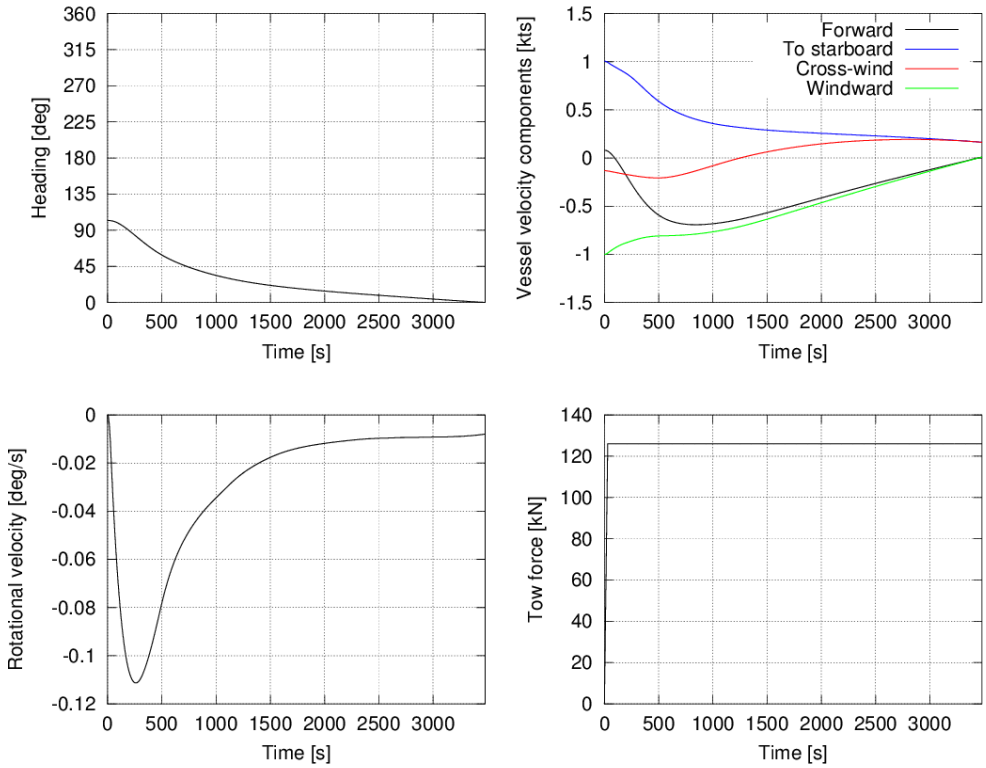


17.2 Simulations at Minimum Feasible Tow Force

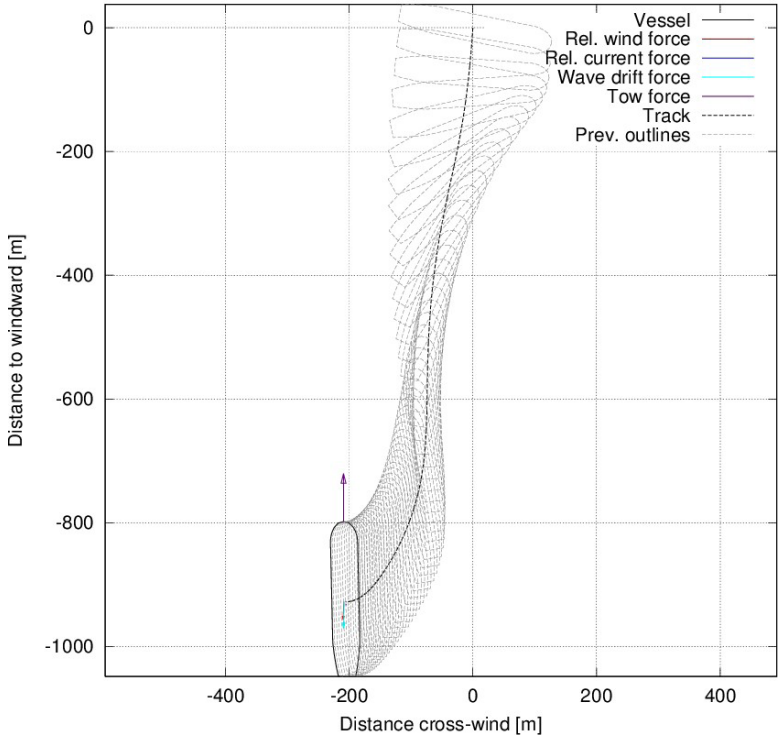
Aframax Tanker, 50th percentile environment, 126 kN pull, port turn 360.0 deg heading from windward at 3480.0 s



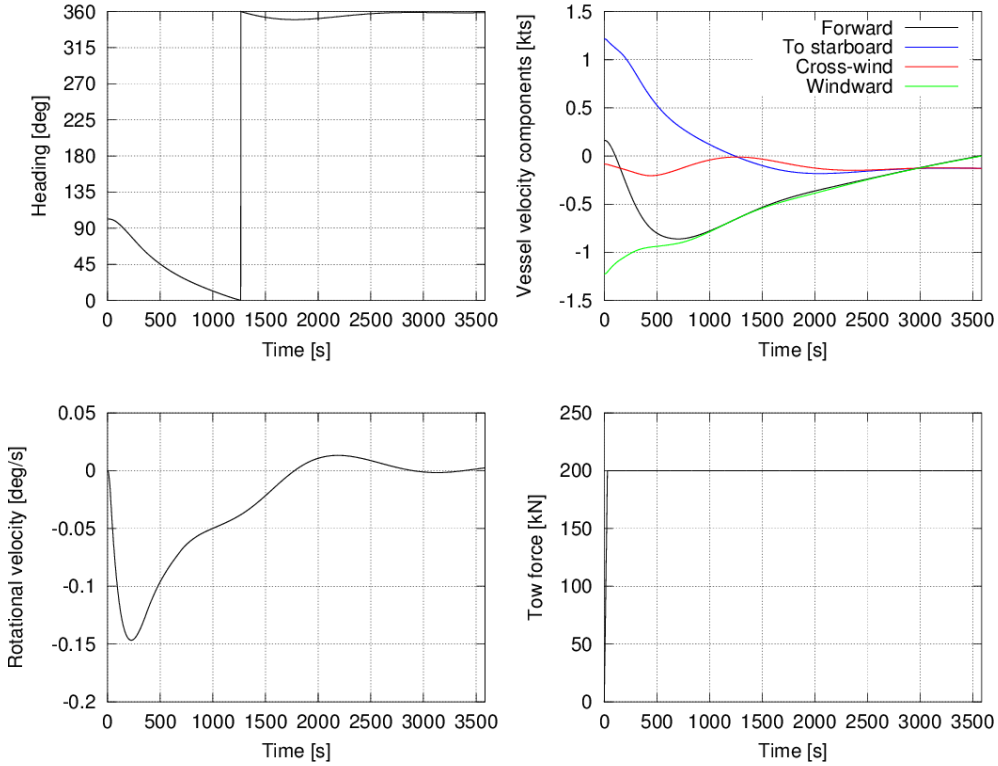
Aframax Tanker, 50th percentile environment, 126 kN pull, port turn



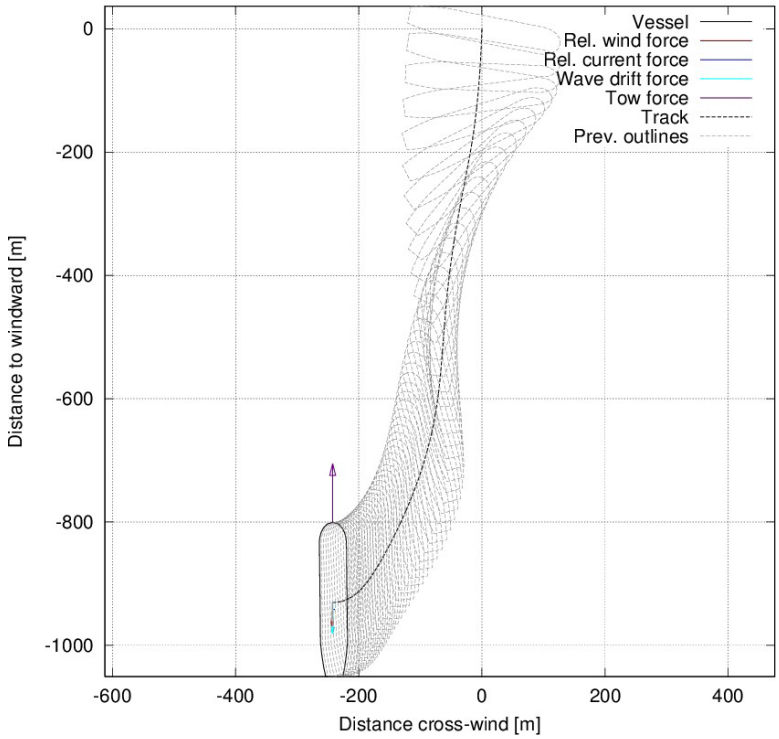
Aframax Tanker, 75th percentile environment, 200 kN pull, port turn 358.7 deg heading from windward at 3585.0 s



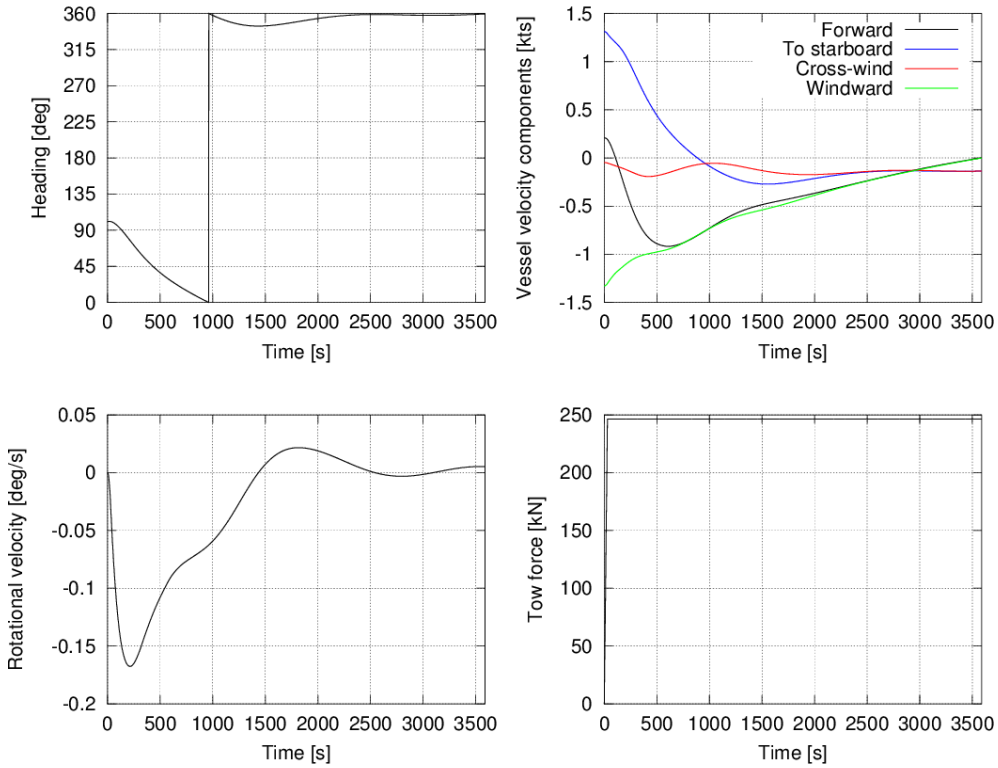
Aframax Tanker, 75th percentile environment, 200 kN pull, port turn



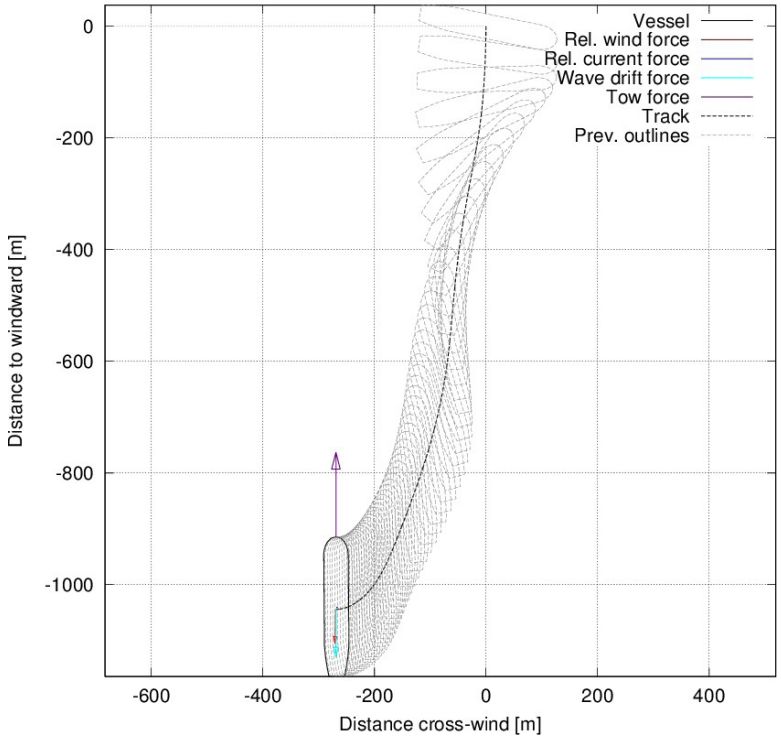
Aframax Tanker, 85th percentile environment, 246 kN pull, port turn 359.4 deg heading from windward at 3588.0 s



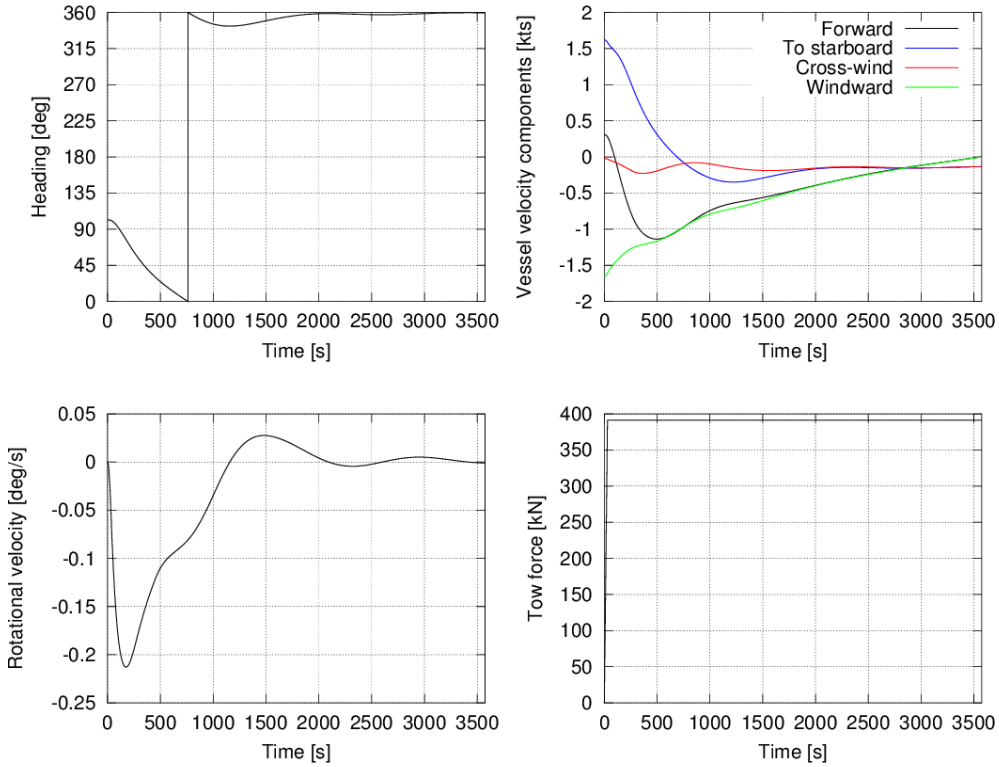
Aframax Tanker, 85th percentile environment, 246 kN pull, port turn



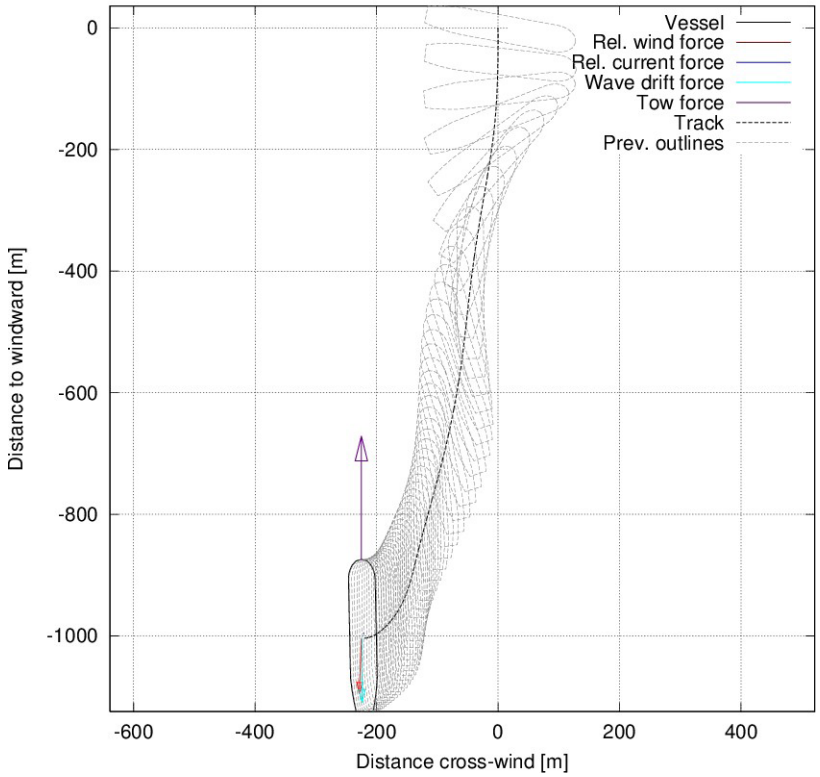
Aframax Tanker, 95th percentile environment, 391 kN pull, port turn 359.6 deg heading from windward at 3574.0 s



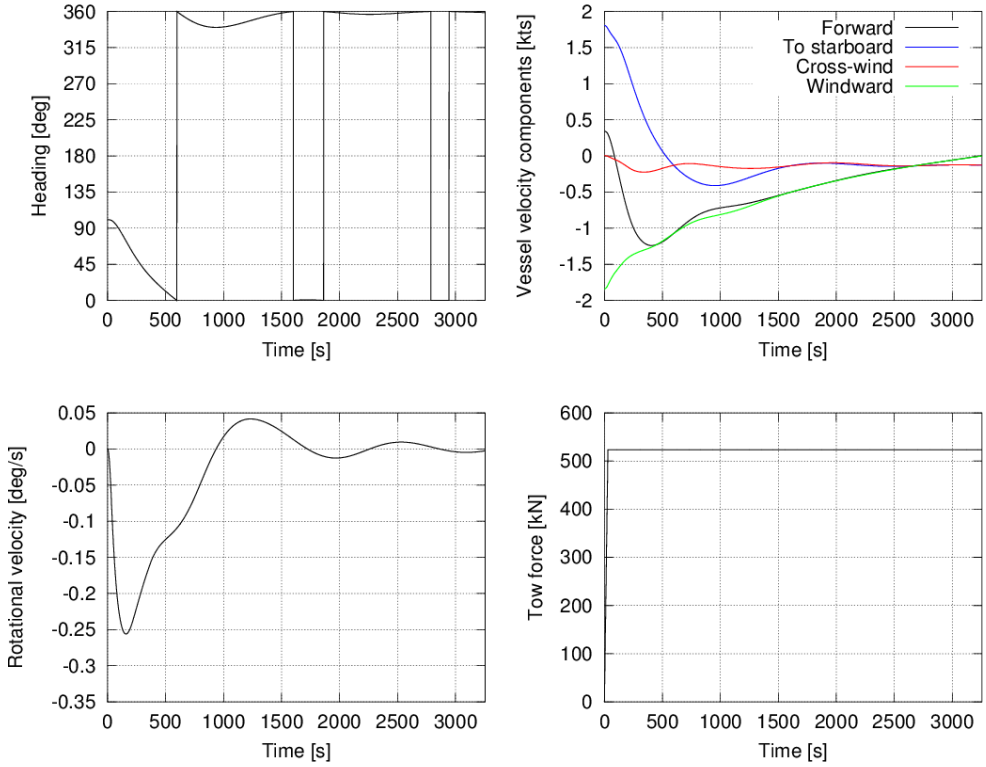
Aframax Tanker, 95th percentile environment, 391 kN pull, port turn



Aframax Tanker, 99th percentile environment, 523 kN pull, port turn 358.8 deg heading from windward at 3256.0 s



Aframax Tanker, 99th percentile environment, 523 kN pull, port turn



ClearSeas
CENTRE POUR LE TRANSPORT MARITIME RESPONSABLE

630 – 355, rue Burrard
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6C 2G8
604.408.1648

Pour nous joindre :

info@clearseas.org
@ClearSeasOrg
ClearSeasOrg
Clear Seas Centre pour
le transport maritime responsable

clearseas.org/fr/