

Les
publications
de la Direction de l'innovation
et des technologies

Rapport de recherche-développement

N° 167

PANDALUS : Optimisation énergétique
des trains de pêche crevettière au chalut

Marie-Lyne Larrivée
Marie-Hélène Rondeau
Yoland Plourde
Marie-Joëlle Leblanc

avec la collaboration scientifique
de Francis Coulombe

PANDALUS : Optimisation
énergétique des trains de
pêche crevette à au chalut

Rapport de recherche-
développement n° 167

Marie-Lyne Larrivée
Marie-Hélène Rondeau
Yoland Plourde
Marie-Joëlle Leblanc

avec la collaboration scientifique
de Francis Coulombe

Ce projet, une réalisation de Halieutec, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, a été rendu possible grâce à la participation financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, de la Fondation communautaire Gaspésie—Les Îles, du ministère des Affaires municipales et des Régions, du ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation et du ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport.

Collaboration scientifique

Francis Coulombe, biologiste
Centre technologique des produits aquatiques, MAPAQ

Réalisation

Marc Veillet, responsable du bureau d'édition
Julie Rousseau, agente de secrétariat

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Bureau d'édition - DIT
96, montée de Sandy Beach, bureau 2.05
Gaspé (Québec) G4X 2V6
publications.dit@mapaq.gouv.qc.ca

Pour une version gratuite (fichier pdf) de ce document, visitez notre site Internet à l'adresse suivante : <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche/md/Publications/> ou écrire à l'adresse de courriel ci-dessus.

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-54266-7
ISBN (version PDF) : 978-2-550-54267-4

Dépôt légal – Bibliothèque et archives nationales du Québec, 2008

PANDALUS : Optimisation énergétique des trains
de pêche crevette à au chalut. Expérimentation et adaptation.

Marie-Lyne Larrivée¹, Marie-Hélène Rondeau¹, Yolande Plourde¹, Marie-Joëlle Leblanc¹

1. Halieutec, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Cégep de la Gaspésie et des Îles

On doit citer ce document comme suit : Larrivée M-L., M.-H. Rondeau, Y. Plourde, M.-J. Leblanc. 2008. *Pandalus* : Optimisation énergétique des trains de pêche crevette à au chalut. Expérimentation et adaptation. MAPAQ, DIT. Rapport de R-D n° 167. 24 pages.

Résumé

Depuis plus de dix ans, une série de facteurs menace la rentabilité de l'industrie de la pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) qui revêt une importance économique non négligeable pour le Québec et les provinces maritimes. Entre autres, les pêcheurs ont subi une augmentation de 300 % du prix du carburant entre 1995 et 2005, ce qui représente maintenant un de leurs principaux coûts d'exploitation. La réduction de ces dépenses constitue donc aujourd'hui l'un des principaux défis à relever pour assurer la rentabilité de leur pêche. C'était l'objectif principal de *Pandalus*, qui a été orienté vers la recherche de solutions pour réduire de façon significative la consommation de carburant en diminuant la résistance des trains de pêche tout en conservant ou en améliorant les taux de capture.

La performance de quatre trains de pêche a été comparée en trois étapes. Tout d'abord, la traînée et la surface pêchante des neuf agencements possibles ont été simulées sur le logiciel *DynamiT* de façon à confirmer les hypothèses *a priori* et à choisir les engins les plus appropriés pour les tests en mer. Ensuite, des essais expérimentaux, lors desquels on cherchait à contrôler un maximum de conditions et lors desquels aucune capture n'était prévue, se sont déroulés au large de Grande-Rivière. Les principales données recueillies étaient la traînée, la consommation de carburant et l'ouverture des chaluts. Enfin, lors des essais avec capture effectués au large de Rivière-au-Renard, les données relevées étaient la quantité de prises et les pertes de crevettes dans les sections antérieures des chaluts. Tous les essais en mer ont été menés avec le Bussola, un chalutier à pêche arrière de 45 pieds, et avec quatre agencements incluant un engin témoin.

Les chaluts ont été ordonnancés du plus lourd au plus léger, leur construction utilisant un fil de plus en plus léger et des mailles plus grandes. Les chaluts plus légers ont produit une

traînée de plus en plus faible. Il en était de même avec les panneaux, classés du plus lourd au plus léger. Ainsi, en considérant l'ensemble des résultats, on a établi la meilleure combinaison parmi les trains de pêche testés selon les valeurs de traînée et de consommation de carburant générées en mer et également selon la surface pêchante significativement plus élevée obtenue. De plus, même si ces résultats proviennent d'un nombre limité d'essais avec captures, la meilleure combinaison a permis une prise par unité d'effort (PUE) satisfaisante comparativement aux PUE des trois autres engins et les pertes de crevettes ont été négligeables.

Il reste que les résultats du projet en terme de captures n'ont pas atteint le succès escompté, puisque différents facteurs sont venus perturber l'acquisition de données de rendement de pêche propices à désigner l'engin le plus efficace. De même, les données relatives à la consommation de carburant n'ont pas permis de mettre en évidence l'effet de la traînée sur une éventuelle réduction de cette dépense. Les auteurs suggèrent donc d'autres essais en mer afin que le choix de l'engin optimal puisse être clairement démontré.

Abstract

For over ten years, a series of factors has threatened the profitability of the northern shrimp (*Pandalus borealis*) fishery, which is of major economic importance for Quebec and the Maritimes. Among other things, fishers saw their fuel prices increase by 300% from 1995 to 2005, and today, this is one of their main operating costs. Reducing this expenditure is therefore now one of the main challenges in ensuring the profitability of their fishery. This was the main objective of *Pandalus*, a study seeking solutions that would significantly reduce fuel consumption by decreasing fishing gear drag while maintaining or improving catch rates.

Mots-clés : Crevette nordique, consommation de carburant, train de pêche, résistance hydrodynamique, chalutier
Key Words : Northern shrimp, fuel consumption, fishing gear, water resistance, trawler

The performance of four shrimp trawl gears was compared in three stages. First of all, the drag and mouth area of the possible arrangements were simulated using *DynamiT* software to confirm initial assumptions and choose the most suitable gear for testing at sea. Then, we conducted experimental trials off the coast of Grande-Riviere, the goal being to control as many conditions as possible without attempting to catch any shrimp. The principal data collected included drag, fuel consumption and trawl opening. Finally, during catch trials conducted off Riviere-au-Renard, we recorded data on catch volume and on shrimp loss in the forward sections of the trawls. All sea trials of the four arrangements – including the control gear – were conducted with the *Bussola*, a 45-foot stern trawler.

Trawl gear were ranked from heaviest to lightest, with increasingly less twine and larger mesh sizes used for their construction. The lighter the gear, the smaller the resulting drag. The otter boards were also rated from heaviest to lightest. Thus, taking into consideration all the results obtained, we identified the best combination of the tested fishing gears in terms of drag values, fuel consumption at sea values and the significantly larger mouth area obtained. In addition, although these findings are the outcome of a limited number of catch-targeted trials, the best combination allowed a satisfactory catch per unit of effort (CPUE) compared to the CPUE obtained with the three other gears and shrimp losses were negligible.

However, the study did not produce the anticipated results in terms of catch, since a variety of factors disrupted the acquisition of data on fishing efficiency that could be used to design more efficient shrimp fishing gear. Similarly, fuel consumption data did not show how the drag effect could be modified to reduce fuel costs. The authors therefore suggest that other trials be conducted at sea to clearly identify what gear would be optimal.

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 Objectifs du projet.....	1
2. Aspects méthodologiques.....	1
2.1 Analyse des caractéristiques hydrodynamiques des chalutiers à crevettes actuels.....	1
2.2 Comparaison des performances des différents trains de pêche	2
2.2.1 Caractéristiques du bateau utilisé	2
2.2.2 Trains de pêche.....	2
2.2.3 Protocole des simulations	2
2.2.4 Protocole des essais expérimentaux	3
2.2.5 Protocole des essais avec captures.....	4
2.3 Analyse numérique des données	5
2.3.1 Simulations.....	5
2.3.2 Essais en pêche expérimentale	5
2.3.3 Essais avec captures	5
3. Résultats	6
3.1 Simulations <i>a priori</i>	6
3.1.1 Traînée simulée.....	6
3.1.2 Surface pêchante simulée.....	6
3.2 Résultats des essais expérimentaux	7
3.2.1 Traînée des quatre engins expérimentés.....	7
3.2.2 Consommation de carburant des quatre engins expérimentés	7
3.2.3 Surface pêchante des quatre engins expérimentés.....	8
3.2.4 Calibration des coefficients de traînée et d'écartement des portes	8
3.3 Résultats des essais avec captures	9
3.3.1 Prise par unité d'effort (PUE) des quatre engins lors des essais avec captures	9
3.3.2 Pertes de crevettes dans trois des quatre engins	9
4. Discussion	10
4.1 Simulations	10
4.1.1 Traînée simulée.....	10
4.1.2 Surface pêchante simulée.....	10
4.2 Interprétation des essais expérimentaux	10
4.2.1 Traînée des quatre engins expérimentés.....	10
4.2.2 Consommation de carburant des quatre engins expérimentés.....	11
4.2.3 Surface pêchante des quatre engins expérimentés.....	11
4.3 Interprétation des essais avec captures	12
4.3.1 PUE des quatre engins lors des essais avec captures	12
4.3.2 Pertes de crevettes dans trois des quatre engins	12
5. Conclusion et recommandations	12
6. Remerciements	13
7. Bibliographie.....	13

Liste des tableaux

Tableau 1. Illustration des neuf agencements possibles entre les chaluts et les panneaux à tester.....	2
Tableau 2. Moyenne des traînées (kg) simulées pour les neuf agencements possibles.....	6
Tableau 3. Variation de la traînée moyenne (kg) d'un train de pêche à l'autre obtenue en simulation.....	6
Tableau 4. Moyenne des surfaces pêchantes simulées (m ²) pour les neuf agencements possibles.....	6
Tableau 5. Variation de la surface pêchante moyenne (m ²) d'un train de pêche à l'autre obtenue en simulation.....	7
Tableau 6. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de traînée obtenues à la suite des essais en mer.....	7
Tableau 7. Variation de la traînée moyenne (kg) d'un train de pêche à l'autre obtenue à la suite des essais expérimentaux en mer.....	7
Tableau 8. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de consommation de carburant obtenues à la suite des essais en mer.....	8
Tableau 9. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de surface pêchante obtenues à la suite des essais en mer....	8
Tableau 10. Variation de la surface pêchante moyenne (m ²) d'un train de pêche à l'autre obtenue à la suite des essais expérimentaux en mer.....	8
Tableau 11. Coefficients de traînée et d'écartement des panneaux testés avant et après les essais en mer.....	9
Tableau 12. Localisation et quantification des pertes de crevettes dans les sections antérieures des trois chaluts testés lors des essais avec captures.....	10

Liste des figures

Figure 1. Périmètre dans lequel se sont déroulés les essais expérimentaux entre le 13 juin et le 20 juillet 2006.....	3
Figure 2. Périmètre dans lequel se sont déroulés les essais avec captures du 25 juillet au 5 août 2006.....	5
Figure 3. Traînée moyenne obtenue par simulation pour les quatre trains de pêche expérimentés ultérieurement dans le chenal de Grande-Rivière en juin et juillet 2006.....	6
Figure 4. Surface pêchante moyenne obtenue par simulation pour les quatre trains de pêche expérimentés ultérieurement dans le chenal de Grande-Rivière en juin et juillet 2006.....	7
Figure 5. Traînée moyenne des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006.....	7
Figure 6. Consommation moyenne de carburant des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006.....	8
Figure 7. Surface pêchante moyenne des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006.....	8
Figure 8. PUE moyenne des quatre trains de pêche à la suite des essais avec captures au large de Rivière-au-Renard du 25 juillet au 5 août 2006.....	9
Figure 9. Pertes de crevettes par le maillage des sections antérieures des chaluts C_{st} , C_{gm} et C_{lg} , exprimées en pourcentage des captures effectuées au large de Rivière-au-Renard du 25 juillet au 5 août 2006.....	9

Liste des annexes

Annexe 1 Formulaire distribué aux pêcheurs.....	17
Annexe 2 Description des chaluts et des panneaux expérimentés.....	19

PANDALUS : Optimisation énergétique des trains de pêche crevettière au chalut.

EXPÉRIMENTATION ET ADAPTATION

1. Introduction

1.1 Problématique

La crevette nordique, *Pandalus borealis*, est une ressource abondante dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. En 2004, le Québec a débarqué 17 423 tonnes de crevettes pour une valeur de près de 24 millions de dollars, ce qui représente 12 % de la valeur totale des débarquements de crevettes au Canada. Depuis quelques années, une série de facteurs menace la rentabilité de cette industrie qui revêt une grande importance pour le Québec et les provinces maritimes. Premièrement, l'explosion des quotas de ce crustacé accordés aux pêcheurs de l'est du Canada depuis une dizaine d'années et la hausse du nombre de crevettes mises en marché par d'autres pays ont engendré une saturation des marchés internationaux. De plus, la montée en flèche du taux de change depuis 2003 a causé une perte de compétitivité de l'ordre de 15 à 20 % des industries canadiennes. La conjugaison de ces facteurs a entraîné une baisse importante des prix payés au débarquement, et tout semble indiquer que la situation ne s'améliorera pas sous peu. Parallèlement à ce phénomène, les pêcheurs ont subi une augmentation de 300 % du prix du carburant et des lubrifiants entre 1995 et 2005, ce qui représente maintenant un de leurs principaux coûts d'exploitation (Direction des analyses et des politiques, 2006). Bref, l'industrie canadienne de la crevette est en situation de crise et il paraît évident que les pêcheurs auront des défis à relever pour assurer la rentabilité de leur pêche au cours des prochaines années.

Le projet Pandalus vise le déploiement d'une stratégie de réduction des coûts d'exploitation au sein des entreprises de pêche à la crevette. Comme la plus grande partie des frais associés à la capture sont occasionnés par le remorquage du chalut, c'est donc sur cette dernière activité qu'une attention particulière est portée. En effet, la technologie offre maintenant des moyens efficaces pour réduire la résistance du train de pêche tout en conservant ou même en améliorant les taux de capture.

On peut citer comme moyens de réduction de la consommation d'énergie :

- la conception de chaluts assistée par ordinateur;
- l'emploi des fibres synthétiques plus fines et plus résistantes;
- l'utilisation de plus grands maillages dans la partie antérieure du chalut;
- l'utilisation de panneaux de chalut ayant des caractéristiques hydrodynamiques supérieures à la moyenne.

Par ailleurs, l'utilisation d'un train de pêche moins énergivore ne peut qu'avoir des conséquences bénéfiques pour l'environnement. En effet, l'utilisation d'engins plus efficaces entraîne dans un premier temps la diminution de la consommation de carburant, ce qui diminue les émissions de gaz à effet de serre et en second lieu peut réduire les dommages causés aux fonds marins, par l'emploi de panneaux divergents de plus faible dimension.

Dans le contexte actuel, il est urgent pour l'industrie de mettre l'emphase sur la réduction de la consommation d'énergie afin de préserver une santé économique dans ce secteur d'activité tout en favorisant un virage vers une exploitation moins polluante.

1.2 Objectifs du projet

L'objectif principal du projet Pandalus est de diminuer de façon significative la consommation de carburant fossile reliée au remorquage du chalut de fond utilisé dans la pêche crevettière.

Les objectifs spécifiques du projet Pandalus sont de :

- 1.2.1 Faire la démonstration que les chaluts faits de matériaux composites et comportant des grandes mailles requièrent moins d'énergie à tracter tout en conservant ou même en améliorant les taux de capture.
- 1.2.2 Faire la démonstration que des panneaux hydrodynamiques requièrent moins d'énergie à tracter tout en conservant ou même en améliorant les taux de capture.
- 1.2.3 Sensibiliser les membres de l'industrie des pêches à l'utilisation de trains de pêche ayant une résistance moindre.
- 1.2.4 Permettre le développement de trains de pêche ayant une résistance moindre.
- 1.2.5 Valoriser l'économie d'énergie dans l'industrie de la pêche à la crevette.
- 1.2.6 Valoriser la diminution des impacts sur les fonds marins dans l'industrie de la pêche à la crevette.

2. Aspects méthodologiques

2.1 Analyse des caractéristiques hydrodynamiques des chalutiers à crevettes actuels

Vingt-neuf crevettiers, membres de l'Association des capitaines propriétaires de la Gaspésie (ACPG) ont fourni les caractéristiques de leur train de pêche aux fins du projet (plan de chalut, type et dimension des panneaux, caractéristiques du bateau, etc.). Le formulaire utilisé pour recueillir ces renseignements est présenté à l'annexe 1. Les données ont été compilées puis analysées par Halieutec (Centre collégial de transfert de technologie des pêches), à l'aide du logiciel *DynamiT*. Ce logiciel, développé par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), génère un chalut virtuel ainsi que son gréement et simule le comportement du train de pêche en traction afin d'obtenir certains paramètres qui nous intéressent, soit l'ouverture du chalut et la traînée. La traînée est l'une des deux forces composantes de la résistance hydrodynamique¹, qui est

1. La résistance hydrodynamique se décompose en deux forces principales, la traînée et la portance (perpendiculaire). La résistance hydrodynamique est plus ou moins déviée vers l'arrière par les forces de friction qui s'exercent parallèlement à la surface du corps en mouvement.

dirigée vers l'arrière et de direction parallèle au déplacement de l'engin (George et Nédélec, 1991). La consommation de carburant est influencée par la traînée, mais ce paramètre ne peut être simulé à partir du logiciel. Nous avons donc effectué 29 simulations de trains de pêche différents dans les mêmes conditions. L'information relative à la traînée et à l'ouverture du chalut de chaque entreprise de pêche a été communiquée aux pêcheurs dans le but de les aider à optimiser leurs activités de capture. Pour des raisons de confidentialité, ces renseignements n'ont pas été annexés au présent document.

2.2 Comparaison des performances des différents trains de pêche

La comparaison des performances de quatre trains de pêche constitue la partie déterminante du projet Pandalus. Cette comparaison a été effectuée en trois étapes : premièrement, nous avons simulé les quatre engins sur le logiciel *DynamiT*. Ensuite, des essais expérimentaux, lors desquels un maximum de conditions était contrôlé et lors desquels aucune capture n'était prévue, se sont déroulés au large de Grande-Rivière. Enfin, des essais avec captures s'apparentant davantage à une pêche commerciale à la crevette ont été effectués au large de Rivière-au-Renard. Le protocole de chacune de ces trois étapes est détaillé aux sections 2.2.3 à 2.2.5.

2.2.1 Caractéristiques du bateau utilisé

Le Bussola est un navire de pêche qui appartient conjointement à l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (ÉPAQ) et au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et possède une double vocation soit l'enseignement et la recherche. Ce chalutier de 45 pieds à pêche arrière est construit en bois recouvert de fibre de verre et équipé d'un moteur de 375 chevaux-vapeur, couplé à une hélice à pas fixe. Notre choix de bateau s'est fait en fonction des raisons suivantes :

- La location d'un crevettier commercial, lors de la période de pêche, est un processus très coûteux et très contraignant pour le capitaine-propriétaire, qui doit prendre son quota dans un délai raisonnable.
- Le Bussola est un navire de pêche de petit format (45 pieds), qui engendre des dépenses moindres qu'un crevettier de 65 pieds.
- Halieutec possède déjà une grande partie des trains de pêche à expérimenter et ceux-ci ont été acquis en fonction des dimensions du Bussola.

2.2.2 Trains de pêche

Lorsque le projet Pandalus a été initié, la majorité des pêcheurs commerciaux du Québec utilisait des chaluts construits avec du fil de polyéthylène (PE) standard; ces chaluts étaient agencés avec des portes *Morgère R* ($C_{st}P_{mr}$ pour établir le parallèle avec la codification du projet ; voir annexe 2 pour la description) et environ 10 % des pêcheurs commerciaux se servaient de chaluts conventionnels C_{st} combinés à des panneaux *Perfect High Power* (P_{ph}). Les chaluts à grandes mailles en PE (C_{gm}) associés à différents types de portes étaient utilisés par 2 % de la flotte québécoise en 2006. Par contre, aucun pêcheur n'utilisait de chalut léger muni de filet *Euroneema* (C_{lg}), ni de portes *Morgère Oval foil en V* (P_{mv}). Il faut noter qu'à l'annexe 2, toutes les dimensions fournies ont été mises à l'échelle pour

les essais avec un bateau de la dimension du Bussola, à l'exception des panneaux P_{mr} . Par conséquent, les chaluts utilisés pour le projet faisaient environ 75 % de la taille des plus gros chaluts de la flotte québécoise.

Étant donné qu'il y avait trois chaluts et trois panneaux à tester lors du projet Pandalus, le nombre d'agencements possibles était de neuf (tableau 1). Quatre agencements ont été expérimentés, il s'agit de $C_{st}P_{mr}$, $C_{gm}P_{ph}$, $C_{lg}P_{mv}$ et $C_{st}P_{ph}$. Le logiciel *DynamiT* a permis de simuler la performance (traînée et ouverture du chalut) des neuf agencements possibles, mais seuls quatre d'entre eux ont été mis à l'épreuve en mer. Des essais en mer avec les neuf agencements se seraient avérés longs et coûteux. Initialement, seuls trois engins ($C_{st}P_{mr}$, $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$) devaient être expérimentés en mer, mais l'engin $C_{st}P_{mr}$, destiné à servir de standard s'est avéré inapproprié. En effet, il n'a pas été possible de trouver des panneaux P_{mr} de 450 kg, mieux adaptés pour le Bussola, étant donné leur extrême rareté. La plupart des panneaux de ce modèle sont conçus pour s'agencer à des bateaux plus puissants que le Bussola et les seuls panneaux P_{mr} de 520 kg disponibles alors étaient donc trop lourds pour le navire. C'est pourquoi un quatrième engin a été ajouté à l'expérimentation en mer, soit $C_{st}P_{ph}$. Celui-ci est devenu le nouveau standard, puisqu'il était déjà utilisé par quelques pêcheurs de la flotte québécoise. Il a ainsi été décidé que les essais en mer entrepris avec $C_{st}P_{mr}$ seraient complétés ; les données récoltées avec cet engin, qui représenterait théoriquement celui avec la traînée la plus élevée en raison de son surpoids, ont ensuite été analysées.

Tableau 1. Illustration des neuf agencements possibles entre les chaluts et les panneaux à tester.

Agencement	Chalut standard	Chalut à grandes mailles	Chalut léger
Panneau Morgère R	$C_{st}P_{mr}$	$C_{gm}P_{mr}$	$C_{lg}P_{mr}$
Panneau Perfect High Power	$C_{st}P_{ph}$	$C_{gm}P_{ph}$	$C_{lg}P_{ph}$
Panneau Oval Foil en V	$C_{st}P_{mv}$	$C_{gm}P_{mv}$	$C_{lg}P_{mv}$

Note : Les chaluts et les panneaux sont classés en ordre croissant quant à leur performance hydrodynamique théorique. La combinaison $C_{st}P_{mr}$ serait donc la moins performante tandis que $C_{lg}P_{mv}$ serait la plus hydrodynamique. Les agencements qui ont été expérimentés en mer sont surlignés en gris.

2.2.3 Protocole des simulations

Avant d'effectuer les essais en mer, une simulation du comportement des neuf trains de pêche (tableau 1) a été effectuée sur le logiciel *DynamiT*, de façon à pouvoir vérifier les hypothèses *a priori* et à choisir les engins les plus appropriés pour les tests en mer. Le tractage de chaque engin a été simulé à une vitesse de 2,15 nœuds, sur fond vaseux, type de fond à texture très fine, qui correspondait le mieux à ce qu'on rencontre habituellement sur le territoire québécois parmi les choix proposés par le logiciel. Le poids des panneaux P_{mr} a été fixé à 520 kg afin qu'il soit possible par la suite d'effectuer le parallèle avec les résultats des essais en mer. Les paramètres virtuels qui ont été obtenus pour comparaison avec les paramètres mesurés en mer sont la traînée et l'ouverture du chalut. Ce dernier paramètre a permis de calculer la surface pêchante, un paramètre pouvant donner une indication sur les taux de capture des différents trains de pêche. Les angles d'attaque des panneaux ont été choisis pour l'obtention d'une force d'écartement maximum.

Pour chaque engin, 25 données de traînée et d'ouverture de chalut ont été obtenues par simulation. Enfin, la consommation de carburant n'est pas un paramètre qu'il est possible de simuler à l'aide du logiciel *DynamiT*.

2.2.4 Protocole des essais expérimentaux

Les essais des quatre trains de pêche en conditions expérimentales ont été effectués afin de vérifier les hypothèses suivantes :

1. À dimensions égales, un chalut construit avec du fil plus léger et des mailles plus grandes engendre une traînée plus faible qu'un chalut standard.
2. Des panneaux légers occasionnent une traînée plus faible que des panneaux lourds.
3. En chalutage de fond, une diminution de la traînée de l'engin occasionne automatiquement une diminution de consommation de carburant.
4. À dimensions égales, un train de pêche à faible traînée devrait avoir une surface pêchante supérieure à celle d'un train de pêche standard.

Les essais en mer doivent permettre également de calibrer de façon plus juste les coefficients de traînée et d'écartement sur le logiciel de simulation *DynamiT* par rapport aux données recueillies sur le terrain. Ainsi, les coefficients obtenus seront plus proches de la réalité que ceux fournis par les fabricants qui réalisent leurs mesures dans des bassins d'essais.

2.2.4.1 Caractéristiques des traits de chalut

Pour chacun des quatre agencements testés, 16 traits d'une durée d'environ 30 minutes ont été effectués. Le cul du chalut demeurait ouvert en tout temps pour éviter les captures. Le nombre total de traits expérimentaux a donc été de :

$$16 \text{ traits/engin} \times 4 \text{ engins} = 64 \text{ traits expérimentaux}$$

2.2.4.2 Données recueillies

Traînée. En théorie, un train de pêche qui génère une importante traînée entraînera une consommation de carburant plus importante qu'un train de pêche ayant une traînée moindre. La traînée totale engendrée par un train de pêche lors du remorquage se transfère sur les funes, les deux câbles d'acier servant à remorquer le chalut et les panneaux. Un dynamomètre à affichage numérique de marque *Dynafor* a donc été installé sur chaque fune, et pour chacun des traits, la tension totale exercée a été enregistrée à toutes les 30 secondes pendant 25 à 30 minutes, ce qui a fourni un minimum de 50 données de traînée par trait.

Consommation de carburant. Un débitmètre de marque *Floscan* indiquant la consommation horaire de carburant à même le tableau de bord a été utilisé. Une donnée de consommation a été enregistrée toutes les minutes pendant les 30 minutes qu'a duré chaque trait.

Ouverture du chalut. Afin de vérifier si le chalut était correctement déployé et de calculer la surface pêchante, des données sur l'ouverture du chalut ont été enregistrées à l'aide du moniteur de chalut *Netmind* de la compagnie *Northstar*. L'objectif était d'obtenir une ouverture maximale du chalut en tout temps, comme on cherche à le faire lors de la pêche commerciale. Pour chaque trait, nous avons enregistré les données suivantes toutes les minutes pendant les 30 minutes qu'a duré chaque trait :

- écartement horizontal du chalut (distance entre les panneaux et distance entre les ailes);
- ouverture verticale du chalut.

Autres données. À chaque trait, les renseignements relatifs au chalutage ont été notés (date, numéro du trait, heure du début et de la fin du chalutage, coordonnées géographiques, vitesse de chalutage, profondeur, longueur des funes déployées, cap, conditions climatiques, courants, marée et

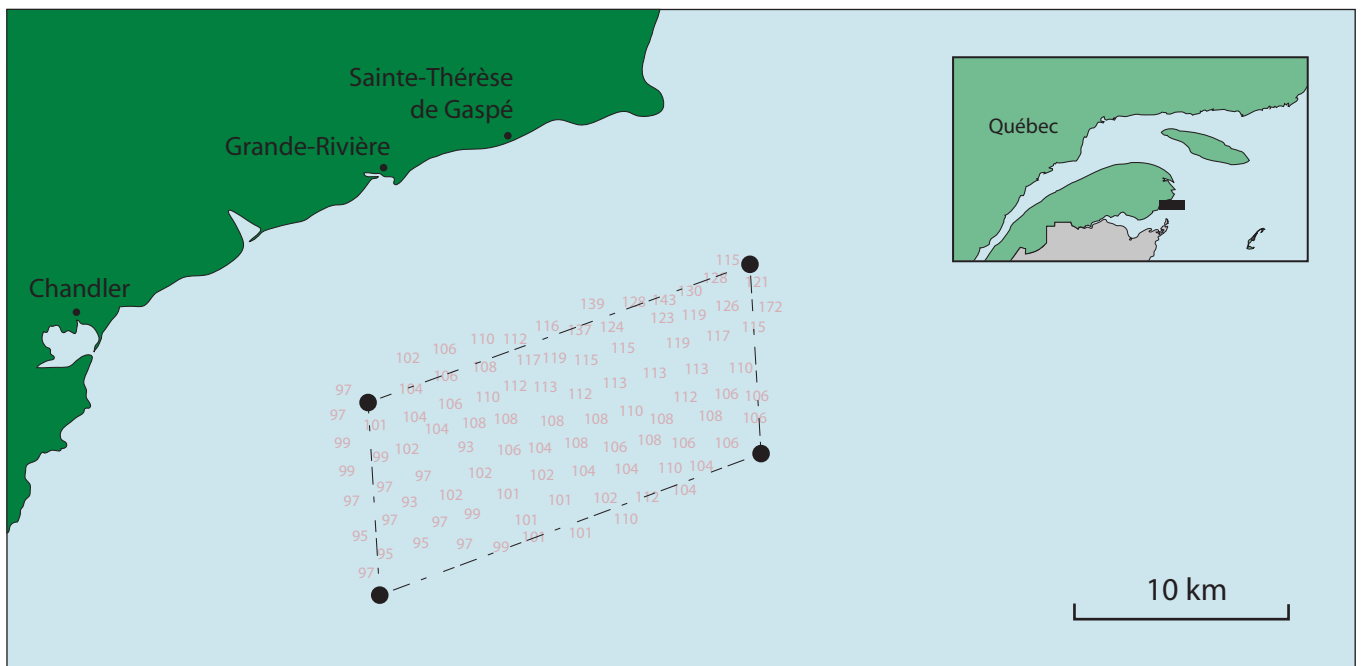


Figure 1. Périmètre dans lequel se sont déroulés les essais expérimentaux entre le 13 juin et le 20 juillet 2006. Les profondeurs sont indiquées en mètres.

anomalies). Le cap du bateau par rapport au courant dominant a été pris en compte lors des analyses.

2.2.4.3 Période et caractéristiques du lieu de chalutage

Les essais expérimentaux se sont déroulés entre le 13 juin et le 20 juillet 2006, au large de Grande-Rivière, dans un périmètre correspondant aux coordonnées géographiques suivantes :

48° 18.000' N ; 64° 31.000' O
48° 13.000' N ; 64° 31.000' O
48° 21.000' N ; 64° 16.000' O
48° 16.500' N ; 64° 16.000' O

La figure 1 donne un aperçu de la zone d'expérimentation.

Initialement, le projet devait se réaliser au large de Rivière-au-Renard, mais lors du rodage au début de juin, nous avons constaté que les forts courants (courant de marée et courant de Gaspé) et les fonds accidentés occasionnaient des variations de traînée et d'ouverture de chalut très importantes. C'est pourquoi il a été décidé que les essais expérimentaux se dérouleraient dans un milieu plus calme et sur des fonds marins plus plats. Le secteur de Grande-Rivière répondait à ces critères.

Le périmètre de Grande-Rivière fait partie de l'ensemble physiographique aquatique du chenal de Shédiac. Les principales caractéristiques des matériaux du fond sont une dominance de sable et de gravier associés, à la limite orientale, à des matériaux limono-sableux vers l'ouest (Environnement Canada, 2007). Comme le périmètre est situé au centre nord de cet ensemble, il est possible de rencontrer tous ces types de substrat. Le courant principal est créé par la dérive du courant de Gaspé en bordure de la côte et les courants de marée atteignent rarement plus d'un nœud. Le périmètre est situé sur une plate-forme, ce qui fait que la profondeur est assez stable et se maintient en moyenne à 120 mètres.

2.2.5 Protocole des essais avec captures

Des essais avec captures ont été mis sur pied afin de vérifier si les trains de pêche testés pouvaient répondre aux exigences commerciales. Les essais des quatre trains de pêche ont donc été effectués afin de vérifier les hypothèses suivantes :

1. À dimensions égales, un train de pêche à faible traînée peut capturer des quantités de crevettes comparables à celles d'un train de pêche conventionnel.
2. Plus la surface pêchante d'un engin est importante, plus il capturera de crevettes.

De plus, les essais des quatre trains de pêche dans des conditions de capture ont été effectués dans le but de :

- comparer les pertes de crevettes par les sections antérieures entre les chaluts C_{st} , C_{gm} et C_{ig} , par l'installation de poches collectrices ;
- quantifier les pertes de crevettes en fonction de la section du chalut, pour les trois types de chaluts testés.

Les essais avec captures devaient initialement être opérés en parallèle avec des pêcheurs commerciaux de la même flottille dans la même zone de pêche pour des fins de comparaison. Il s'est avéré impossible de réaliser ces essais de la manière

adéquate en raison de la fermeture de la pêche à la crevette, peu après le début de ces essais.

2.2.5.1 Caractéristiques des traits de chalut

Pour chacun des quatre agencements testés, quatre traits d'environ trois heures chacun ont été effectués, sauf pour l'agencement $C_{st}P_{mr}$, pour lequel seulement deux traits de pêche avec captures ont pu être faits. Le nombre total de traits avec captures a donc été de :

$$(4 \text{ traits / engin} \times 3 \text{ engins}) + 2 \text{ traits pour } C_{st}P_{mr} = 14 \text{ traits avec captures}$$

2.2.5.2 Données recueillies

Comme lors des traits expérimentaux, des données sur l'ouverture du chalut, la traînée et la consommation de carburant ont été enregistrées afin de faire une comparaison avec les données recueillies au large de Grande-Rivière, mais un nombre moins grand de données était ciblé (treize enregistrements par variable). De plus, l'information relative au chalutage a été notée à chaque trait (voir partie *Autres données* de la section 2.2.4.2). Par contre, le bris d'un des deux dynamomètres de funes nous a empêché de mesurer la traînée des engins $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ dans des conditions de pêche avec captures.

Captures. Après chaque trait, les captures de crevettes ont été estimées par le capitaine; puis au débarquement, le contenu de la cale a été pesé.

Pertes de crevettes dans les sections antérieures des chaluts. Onze poches de nylon, d'une surface de 1,31 m² chacune et comportant un maillage de 40 mm (nœud à maille), ont été réparties sous les nappes de filets susceptibles de subir des pertes de crevettes. Ces nappes de filet et l'emplacement des poches sont représentés à l'annexe 2. Au total, pour chacun des trois chaluts testés, une surface de 14,41 m² a été échantillonnée sur une surface totale de 112,96 m² (cette surface correspond à celle des nappes de filets susceptibles de subir des pertes de crevettes de l'annexe 2). On a donc échantillonné 13 % de la surface susceptible de perdre des crevettes pour chaque chalut. À chaque remontée de chalut, les poches étaient examinées une par une. Le poids et le nombre de crevettes recueillies étaient notés ainsi que le numéro d'identification de la poche.

2.2.5.3 Période et caractéristiques du lieu de chalutage

Les essais avec captures se sont déroulés du 25 juillet au 5 août 2006 au large de Rivière-au-Renard, ce qui correspond à la zone « 10-Sept-Îles » de pêche à la crevette dans le golfe du Saint-Laurent. Cette activité s'est déroulée dans un périmètre couramment fréquenté par les crevettiers à cette période de l'année. Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

49° 05.112' N ; 64° 28.000' O
49° 04.749' N ; 64° 28.320' O
49° 00.000' N ; 64° 17.000' O
48° 59.700' N ; 64° 17.500' O

La figure 2 donne un aperçu de la zone d'expérimentation.

Le périmètre de Rivière-au-Renard est situé à l'extrémité sud-est de l'ensemble physiographique aquatique du chenal Laurentien moyen. Les matériaux du fond ont une dominance à texture

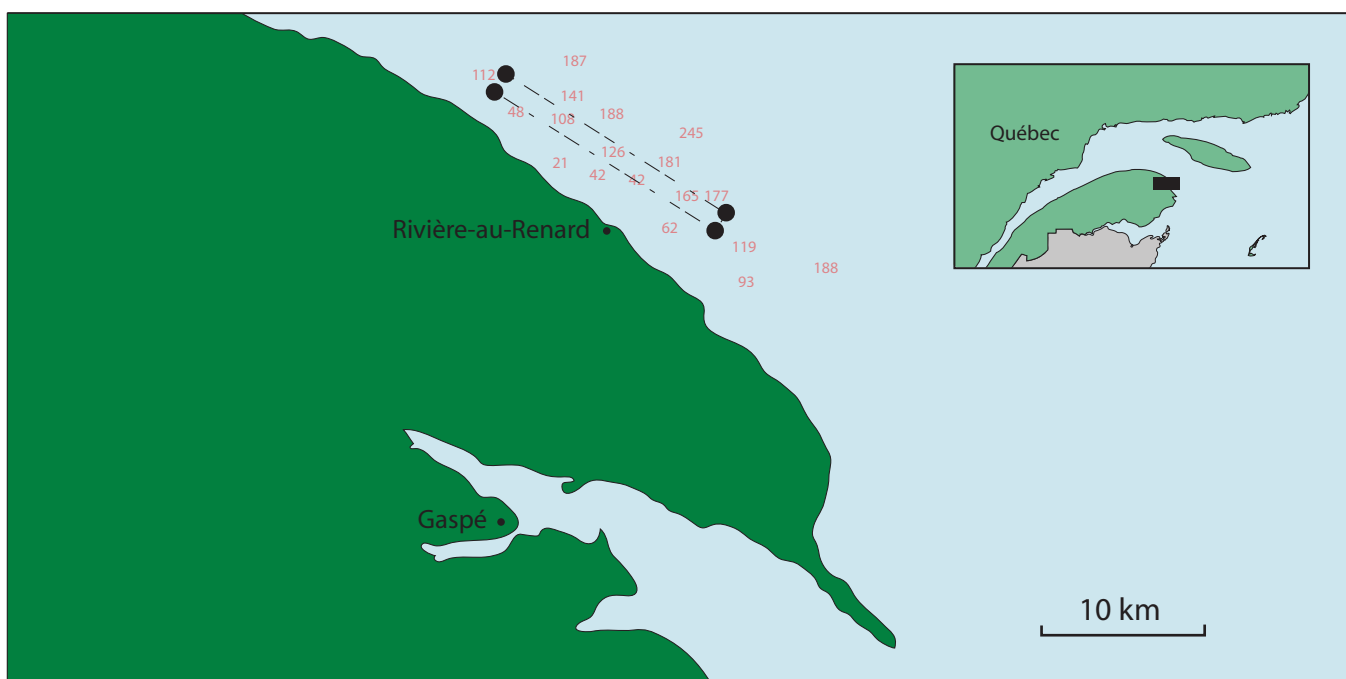


Figure 2. Périmètre dans lequel se sont déroulés les essais avec captures du 25 juillet au 5 août 2006. Les profondeurs sont indiquées en mètres.

très fine (Environnement Canada, 2007). Le courant principal est le courant de Gaspé, qui peut atteindre une vitesse de deux nœuds près de la côte. Le périmètre est situé sur un fond accidenté et les profondeurs varient entre 200 et 240 mètres.

2.3 Analyse numérique des données

Les données relatives aux simulations ainsi qu'aux deux types d'essais en mer (expérimentaux et avec captures) ont été saisies dans le logiciel *Microsoft Excel*. Des analyses descriptives ont été faites à partir de ce logiciel. De plus, pour les données des essais en pêche expérimentale, des analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel *SYSTAT*, version 10.2.

2.3.1 Simulations

Pour chacun des quatre engins de pêche, la moyenne et l'écart-type des deux paramètres suivants obtenus en simulation ont été calculés :

- traînée (kg) lors du tractage;
- surface pêchante (m²) de chaque chalut:

$$O. V. * \dot{E} . H. * 0,87$$

où *O. V.* est l'ouverture verticale du chalut et *É.H.* est l'écartement horizontal du chalut au niveau des ailes. Le chiffre 0,87 est une constante utilisée comme facteur de correction étant donné que le chalut ne possède pas la forme rectangulaire. Cette constante, variant selon le type de chalut, était ici adaptée à chaque cas.

Les moyennes ont ensuite été comparées à l'aide de tableaux et d'histogrammes de fréquence. Des comparaisons ont été effectuées par la suite avec les mêmes paramètres obtenus en pêche expérimentale.

2.3.2 Essais en pêche expérimentale

Pour chacun des 16 traits par engin (16 traits x 4 engins), les moyennes et les écarts-types des paramètres suivants ont été calculés :

- traînée (kg) lors du tractage;
- consommation (litres par heure) lors du tractage;
- surface pêchante de chaque chalut (m²) lors du tractage.

Une fois les moyennes et les écarts-types de ces trois paramètres obtenus pour chaque agencement, ces valeurs ont été comparées à l'aide de tableaux et d'histogrammes de fréquence ainsi que par les analyses statistiques décrites dans le paragraphe qui suit.

Analyses statistiques. Les différentes variables (traînée, consommation de carburant et surface pêchante) ont été comparées par une ANOVA à un facteur (engin) dans *SYSTAT*. La condition d'indépendance des échantillons était toujours respectée. L'homogénéité des variances a été vérifiée à l'aide du test de Cochran et la normalité par un test de Kolmogorov-Smirnov (Scherrer, 1984). Étant donné que les conditions de normalité ou d'homogénéité des variances n'étaient pas respectées, et ce, même après transformation des données, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (Scherrer, 1984) a été réalisé. Ce dernier effectue une analyse de variance sur les données transformées en rangs. Les moyennes analysées par ce test ont été comparées à l'aide d'un test de Dunn (test de comparaison multiple non paramétrique permettant de comparer des groupes de tailles différentes) (Zar, 1999).

2.3.3 Essais avec captures

Pour les captures de crevettes, il n'a pas été possible d'effectuer d'analyses statistiques sur les données obtenues en raison du faible nombre de traits réalisé pour chaque agencement

testé (voir section 2.2.5.1). Une prise par unité d'effort (PUE) a néanmoins été calculée pour chaque train de pêche, de la façon suivante :

$$PUE = (kg/durée \text{ de chalutage en minutes}) * 60 \text{ minutes}$$

où *kg* est la quantité totale de crevettes capturées (poids vif)

Pertes de crevettes dans les sections antérieures des chaluts. Pour chaque engin, nous avons calculé le pourcentage de crevettes qui se sont échappées par les poches par rapport au total des captures de l'engin. Enfin, les pertes ont été comptabilisées en fonction de leur provenance dans le chalut (position de la poche).

3. Résultats

3.1 Simulations a priori

3.1.1 Traînée simulée

Le tableau 2 présente les résultats des simulations effectuées sur les neuf agencements de chaluts et de panneaux. Conformément aux hypothèses de base, la traînée des trains de pêche décroît au fur et à mesure qu'on progresse dans leur ordre d'hydrodynamisme théorique. On peut également remarquer que le changement de chalut (en conservant le même panneau) a plus d'effet sur la traînée que le changement de panneau (en conservant le même chalut).

Tableau 2. Moyenne des traînées (kg) simulées pour les neuf agencements possibles.

Agencement	Chalut standard	Chalut à grandes mailles	Chalut léger
Panneau Morgère R (35°)	2 112	1 924	1 864
Panneau Perfect High Power (38°)	2 017	1 820	1 723
Panneau Oval Foil en V (40°)	1 993	1 793	1 702

Note : Les angles d'attaque des panneaux sont indiqués entre parenthèses.

La figure 3 présente les résultats de traînée pour les simulations avec les quatre engins qui ont été testés en mer. Les variations de traînée moyenne entre deux engins successifs ne sont pas constantes, comme l'indique le tableau 3. Par contre, celles-ci sont logiques, puisqu'à partir du moment où C_{st} ne fait plus partie de l'agencement, la diminution de la traînée est plus élevée. Ceci démontre bien l'intérêt d'utiliser des chaluts à grandes mailles construits à partir de polyéthylène (PE) ou d'*Euroneema*.

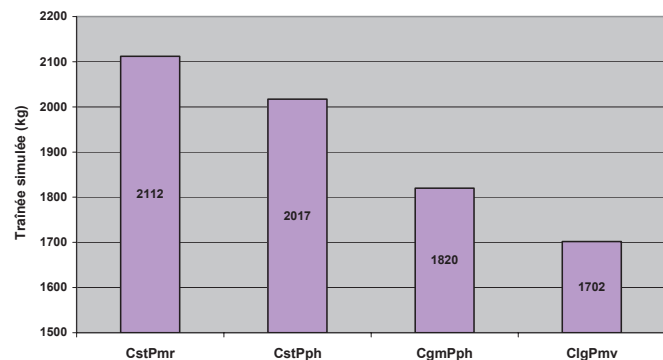


Figure 3. Traînée moyenne obtenue par simulation pour les quatre trains de pêche expérimentés ultérieurement dans le chenal de Grande-Rivière en juin et juillet 2006.

Étant donné que les simulations du logiciel *DynamiT* ne peuvent fournir de données relatives à la consommation du carburant engendrée par un type de train de pêche quelconque, ces résultats ne sont pas présentés.

Tableau 3. Variation de la traînée moyenne (kg) d'un train de pêche à l'autre obtenue en simulation.

Engin	Variation de traînée moyenne	% de variation
De $C_{st}P_{mr}$ à $C_{st}P_{ph}$	- 95	- 4,5
De $C_{st}P_{ph}$ à $C_{gm}P_{ph}$	- 197	- 9,8
De $C_{gm}P_{ph}$ à $C_{lg}P_{mv}$	- 118	- 6,5

3.1.2 Surface pêchante simulée

Les trains de pêche virtuels possèdent une surface pêchante croissante au fur et à mesure qu'on progresse dans l'ordre d'hydrodynamisme théorique des chaluts (tableau 4 et figure 4). Donc, les trains de pêche composés de C_{lg} , considéré comme étant le plus hydrodynamique des trois chaluts en raison surtout du type de fil qui a été utilisé pour fabriquer ses parties antérieures (*Euroneema* de 1 mm de diamètre) et en raison d'une combinaison d'autres facteurs comme le maillage relativement grand dans les sections antérieures, possèdent les surfaces pêchantes les plus importantes. Ce résultat est prévisible, car les simulations ont été effectuées dans les mêmes conditions et donc un engin créant moins de résistance s'ouvrira davantage qu'un chalut générant davantage de résistance. En ce qui concerne les panneaux, une surface

Tableau 4. Moyenne des surfaces pêchantes simulées (m²) pour les neuf agencements possibles.

Agencement	Chalut standard	Chalut à grandes mailles	Chalut léger
Panneau Morgère R (35°)	68,20	75,88	79,24
Panneau Perfect High Power (38°)	65,54	73,23	75,86
Panneau Oval Foil en V (40°)	64,31	71,74	74,46

Note : Les angles d'attaque des panneaux sont indiqués entre parenthèses.

pêchante diminuant de P_{mr} à P_{mv} apparaît logique, puisque les P_{mr} sont surdimensionnés, ce qui entraîne une plus grande ouverture de l'engin de pêche et puisque le coefficient d'écartement des P_{ph} est supérieur à celui des P_{mv} .

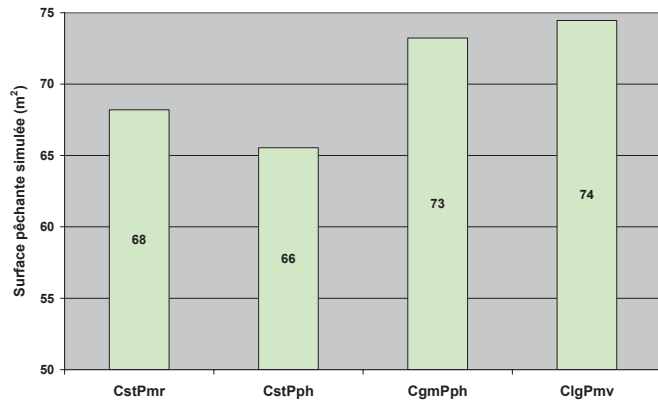


Figure 4. Surface pêcheante moyenne obtenue par simulation pour les quatre trains de pêche expérimentés ultérieurement dans le chenal de Grande-Rivière en juin et juillet 2006.

Les variations de surface pêcheante moyenne entre deux engins successifs ne sont toutefois pas constantes, comme l'indique le tableau 5. Ce paramètre s'accroît de façon importante entre $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ (+ 11,7 %) et la plus petite variation est observée entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ (+ 1,8 %).

Tableau 5. Variation de la surface pêcheante moyenne (m²) d'un train de pêche à l'autre obtenue en simulation.

Engin	Variation de surface pêcheante moyenne	% de variation
De $C_{st}P_{mr}$ à $C_{st}P_{ph}$	- 2,66	- 3,9
De $C_{st}P_{ph}$ à $C_{gm}P_{ph}$	+ 7,69	+ 11,7
De $C_{gm}P_{ph}$ à $C_{lg}P_{mv}$	+ 1,23	+ 1,8

3.2 Résultats des essais expérimentaux

3.2.1 Traînée des quatre engins expérimentés

Les résultats des analyses statistiques sur les données de traînée des quatre engins (tableau 6) ont révélé trois groupes différents quant à la traînée qu'ils génèrent : l'engin $C_{st}P_{mr}$, qui occasionne les traînées les plus importantes, l'engin $C_{st}P_{ph}$, puis le couple d'engins $C_{gm}P_{ph}$ - $C_{lg}P_{mv}$ ($p = 0,974$) qui génère des traînées plus faibles. Les ordres de grandeur ainsi que les groupes d'engins sont mis en évidence à la figure 5, qui illustre la traînée moyenne générée par chacun des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer. On peut constater que les trois premiers trains de pêche ($C_{st}P_{mr}$, $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$) engendrent une traînée décroissante au fur et à mesure qu'on progresse dans leur ordre d'hydrodynamisme théorique.

En comparant les variations de traînée moyenne entre deux engins successifs à la suite des simulations (tableau 3) avec les variations de traînée moyenne entre deux engins successifs à la suite des essais en mer (tableau 7), on constate que les résultats des essais en mer et des simulations se comportent relativement de la même manière entre $C_{st}P_{mr}$, $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$. Par contre, entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$, la baisse de traînée observée dans les simulations n'est pas répétée dans les

essais en mer. Celle-ci est même remplacée par une hausse légère de la traînée de 7 kg entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$.

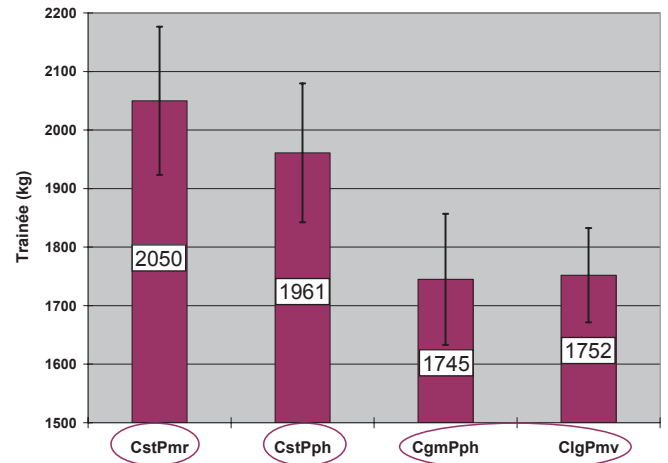


Figure 5. Traînée moyenne des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006. Les différents groupes statistiques sont représentés par des cercles sur l'axe des « x ».

Tableau 6. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de traînée obtenues à la suite des essais en mer.

Comparaison des engins	p
$C_{st}P_{mr} > C_{st}P_{ph}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{mr} > C_{gm}P_{ph}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{mr} > C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{ph} > C_{gm}P_{ph}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{ph} > C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$
$C_{gm}P_{ph} = C_{lg}P_{mv}$	$p = 0,974$

Note : Les résultats surlignés en gris sont ceux pour lesquels il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$).

Tableau 7. Variation de la traînée moyenne (kg) d'un train de pêche à l'autre obtenue à la suite des essais expérimentaux en mer.

Engin	Variation de traînée moyenne	% de variation
De $C_{st}P_{mr}$ à $C_{st}P_{ph}$	- 89	- 4,3
De $C_{st}P_{ph}$ à $C_{gm}P_{ph}$	- 216	- 11,0
De $C_{gm}P_{ph}$ à $C_{lg}P_{mv}$	+ 7	+ 0,4

3.2.2 Consommation de carburant des quatre engins expérimentés

Les résultats des analyses statistiques sur les données de consommation de carburant associées aux quatre engins (tableau 8) ont révélé trois groupes différents quant à la consommation de carburant qu'ils génèrent : l'engin $C_{st}P_{mr}$, qui a une consommation de carburant largement plus importante que celle des autres engins, le couple $C_{st}P_{ph}$ - $C_{gm}P_{ph}$, dans lequel les deux engins présentent une consommation pratiquement

Tableau 8. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de consommation de carburant obtenues à la suite des essais en mer.

Comparaison des engins	p
$C_{st}P_{mr} > C_{st}P_{ph}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{mr} > C_{gm}P_{ph}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{mr} > C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{ph} = C_{gm}P_{ph}$	$p = 1,000$
$C_{st}P_{ph} > C_{lg}P_{mv}$	$p = 0,001$
$C_{gm}P_{ph} > C_{lg}P_{mv}$	$p = 0,001$

Note : Les résultats surlignés en gris sont ceux pour lesquels il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$).

identique ($p = 1,000$), puis l'engin $C_{lg}P_{mv}$, qui a la consommation de carburant la plus faible ($p = 0,001$). La figure 6 met en évidence les similitudes entre le couple $C_{st}P_{mr}$ - $C_{gm}P_{ph}$ et l'engin $C_{lg}P_{mv}$, bien que la différence de consommation soit statistiquement moindre dans ce dernier cas selon le tableau 8. Cette figure illustre aussi la forte décroissance de consommation entre $C_{st}P_{mr}$ et les autres engins.

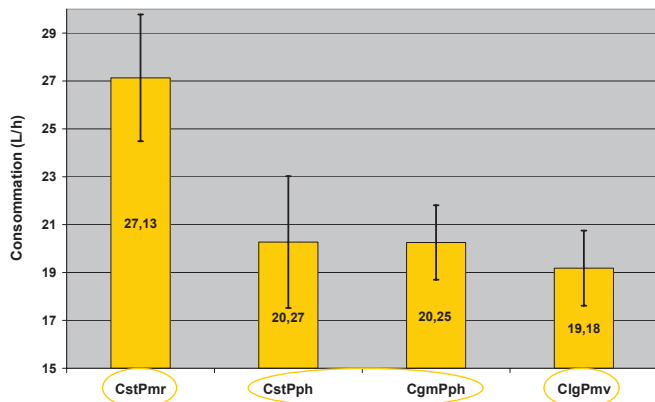


Figure 6. Consommation moyenne de carburant des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006. Les différents groupes statistiques sont représentés par des cercles sur l'axe des « x ».

3.2.3 Surface pêchante des quatre engins expérimentés

Les résultats des analyses statistiques sur les données de surface pêchante ont révélé deux groupes (tableau 9) : le trio $C_{st}P_{mr}$ - $C_{st}P_{ph}$ - $C_{gm}P_{ph}$, dans lequel $C_{st}P_{mr}$ et $C_{gm}P_{ph}$ présentent la plus grande similitude ($p = 0,637$), et l'engin $C_{lg}P_{mv}$, qui possède une surface pêchante significativement plus grande que celle des autres engins. Au sein du trio, même s'il existe une différence significative entre les surfaces pêchantes de $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ ($p = 0,010$), cette différence est relativement peu importante, et c'est pourquoi nous considérons qu'ils font partie du même groupe. La figure 7 illustre ces deux groupes ainsi que les ordres de grandeur des surfaces pêchantes obtenues à la suite des essais expérimentaux en mer.

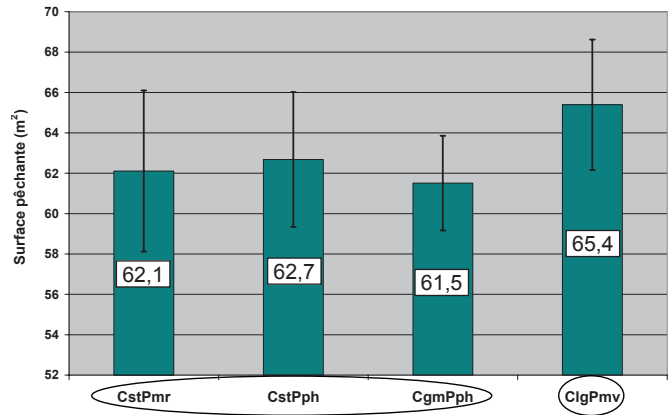


Figure 7. Surface pêchante moyenne des quatre trains de pêche à la suite d'essais en mer au large de Grande-Rivière entre le 13 juin et le 20 juillet 2006. Les différents groupes statistiques sont représentés par des cercles sur l'axe des « x ».

Tableau 9. Résultats du test de Kruskal-Wallis sur les valeurs de surface pêchante obtenues à la suite des essais en mer.

Comparaison des engins	p
$C_{st}P_{mr} = C_{st}P_{ph}$	$p = 0,245$
$C_{st}P_{mr} = C_{gm}P_{ph}$	$p = 0,637$
$C_{st}P_{mr} < C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$
$C_{st}P_{ph} > C_{gm}P_{ph}$	$p = 0,010$
$C_{st}P_{ph} < C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$
$C_{gm}P_{ph} < C_{lg}P_{mv}$	$p < 0,001$

Note : Les résultats surlignés en gris sont ceux pour lesquels il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$).

En comparant les variations de surface pêchante moyenne entre deux engins successifs à la suite des simulations (tableau 5) avec les variations de surface pêchante moyenne entre deux engins successifs à la suite des essais en mer (tableau 10), on constate que les résultats des essais en mer ne représentent pas ce qui était prévu à la suite des simulations. Premièrement, il y a un gain de surface pêchante de 0,9 % entre $C_{st}P_{mr}$ et $C_{st}P_{ph}$ au lieu d'une diminution de 3,9 % prévue. Ensuite, la surface pêchante de $C_{gm}P_{ph}$ diminue d'un peu plus d'un mètre carré par rapport à $C_{st}P_{ph}$ en mer (diminution de 1,9 %), alors que celle-ci augmentait de 7,3 m² en simulation (augmentation de 11,7 %). Enfin, la surface pêchante mesurée augmente de façon plus importante que prévu entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ (augmentation de 6,3 %).

Tableau 10. Variation de la surface pêchante moyenne (m²) d'un train de pêche à l'autre obtenue à la suite des essais expérimentaux en mer.

Engin	Variation de surface pêchante moyenne	% de variation
De $C_{st}P_{mr}$ à $C_{st}P_{ph}$	+ 0,57	+ 0,9
De $C_{st}P_{ph}$ à $C_{gm}P_{ph}$	- 1,17	- 1,9
De $C_{gm}P_{ph}$ à $C_{lg}P_{mv}$	+ 3,88	+ 6,3

3.2.4 Calibration des coefficients de traînée et d'écartement des portes

Comme recommandé à la suite d'essais *in situ*, les coefficients de traînée et d'écartement des panneaux ont pu être calibrés sur le logiciel *DynamiT* à partir des données obtenues sur le

terrain. Tout en conservant l'angle d'attaque permettant une force d'écartement maximale pour chacun des panneaux testés en mer, soit P_{mr} , P_{ph} et P_{mv} avec respectivement 35, 38 et 40 degrés, les coefficients ne changent pas pour P_{ph} (tableau 11). Toutefois, pour P_{mr} et P_{mv} , on obtient quelques changements. Dans le cas des P_{mr} , il s'agit du coefficient d'écartement qui devient plus élevé en situation réelle. Pour les P_{mv} , le coefficient de traînée devient inférieur à sa valeur initiale, ce qui rend son coefficient inférieur à celui des P_{ph} en conditions réelles, alors que l'inverse était prédit par les fabricants.

Des simulations ont été refaites pour les neuf agencements avec ces nouveaux coefficients et on observe les mêmes tendances qu'avec les simulations *a priori*. Les résultats ne sont pas présentés ici, puisque les valeurs sont très rapprochées pour la plupart. Les valeurs qui se différencient en terme de traînée sont celles des simulations avec $C_{st}P_{mr}$, $C_{gm}P_{mr}$ et $C_{lg}P_{mr}$, donc tous les agencements avec P_{mr} . La traînée était plus élevée pour ces trois agencements d'environ 70 kg. Ainsi, les P_{mr} se révèlent, comme on s'y attendait, inadaptés à l'échelle du bateau et des chaluts utilisés. Pour cette raison évidente, les essais avec ces panneaux se sont démarqués en ce qui concerne la consommation de carburant. Les surfaces pêchantes étaient un peu plus petites d'environ 2 m² pour toutes les combinaisons avec P_{ph} ($C_{st}P_{ph}$, $C_{gm}P_{ph}$, $C_{lg}P_{ph}$), après correction des coefficients en conditions réelles, ce qui rapproche assez les P_{ph} des P_{mv} en termes de performance de surface pêchante pour un même chalut.

Tableau 11. Coefficients de traînée et d'écartement des panneaux testés avant et après les essais en mer.

Panneau	Angle d'attaque (degrés)	Coefficients fabricant		Coefficients calibrés	
		Traînée	Écartement	Traînée	Écartement
P_{mr}	35	1,10	1,81	1,08	1,92
P_{ph}	38	1,05	2,38	1,05	2,38
P_{mv}	40	1,07	1,80	1,03	1,78

3.3 Résultats des essais avec captures

3.3.1 Prise par unité d'effort (PUE) des quatre engins lors des essais avec captures

La figure 8 illustre les PUE par engin. Les PUE varient considérablement d'un engin à l'autre. La plus importante est obtenue par $C_{st}P_{ph}$ (196 kg/h), suivie de $C_{lg}P_{mv}$ (158 kg/h). Les engins $C_{st}P_{mr}$ et $C_{gm}P_{ph}$ ont des PUE respectives de 65 kg/h et 82 kg/h.

Si l'on considère les 14 traits individuellement, trois traits présentaient des PUE supérieures à 200 kg/h. Avec $C_{lg}P_{mv}$, un rendement de 209 kg/h a pu être obtenu pour un des quatre traits, et avec $C_{st}P_{ph}$, des prises de 248 et 279 kg/h ont pu être réalisées pour deux des quatre traits.

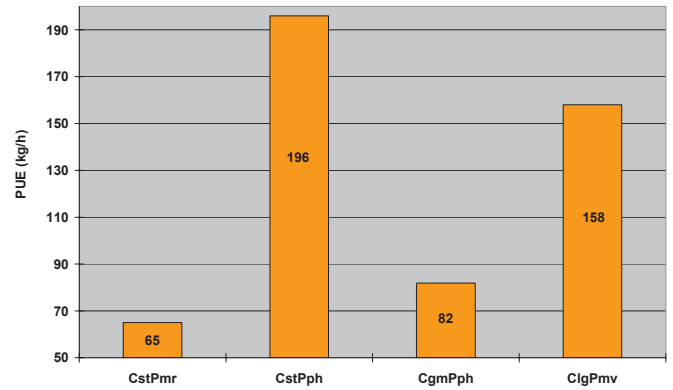


Figure 8. PUE moyenne des quatre trains de pêche à la suite des essais avec captures au large de Rivière-au-Renard du 25 juillet au 5 août 2006.

3.3.2 Pertes de crevettes dans trois des quatre engins

Résultats de la quantification des pertes par engin. La figure 9 présente les pertes de crevettes par rapport à la capture totale des trois engins ($C_{st}P_{ph}$, $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$) pour lesquels des données ont été obtenues. Les pertes les plus importantes ont été observées pour l'engin $C_{gm}P_{ph}$. L'engin $C_{lg}P_{mv}$ a subi des pertes légèrement inférieures à $C_{gm}P_{ph}$, et c'est l'engin $C_{st}P_{ph}$ qui a subi le moins de pertes. Si nous extrapolons nos résultats portant sur un échantillonnage de 13 % de la surface à 100 % de la surface susceptible aux pertes de crevettes, l'engin $C_{gm}P_{ph}$ aurait perdu 3,7 kg de crevettes sur les 737 kg capturés, l'engin $C_{lg}P_{mv}$ aurait perdu 7 kg sur un total des captures de 1 777 kg et l'engin $C_{st}P_{ph}$ aurait perdu 2,5 kg de crevettes sur les 2 352 kg capturés.

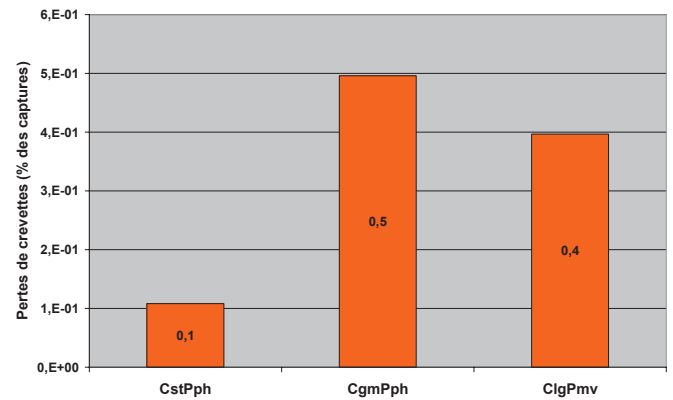


Figure 9. Pertes de crevettes par le maillage des sections antérieures des chaluts C_{st} , C_{gm} et C_{lg} , exprimées en pourcentage des captures effectuées au large de Rivière-au-Renard du 25 juillet au 5 août 2006.

Résultats de la localisation des pertes dans les chaluts. La grande majorité des pertes proviennent de la face inférieure des chaluts (ventre) (tableau 12). Seulement un engin, $C_{st}P_{ph}$, a présenté des pertes par la face supérieure du chalut (dos) et $C_{lg}P_{mv}$ est le seul engin qui a subi des pertes par le côté bâbord.

Tableau 12. Localisation et quantification des pertes de crevettes dans les sections antérieures des trois chaluts testés lors des essais avec captures.

Engin	Section de chalut				Total pertes par engin (g)	Pertes (% des captures)
	Dos (g)	Côté tribord (g)	Côté bâbord (g)	Ventre (g)		
$C_{st}P_{mr}$	nd	nd	nd	nd	nd	nd
$C_{st}P_{ph}$	149	0	0	174	323	0,11
$C_{gm}P_{ph}$	0	0	0	464	464	0,50
$C_{lg}P_{mv}$	0	0	182	713	895	0,40
Poids total par section	149	0	182	1 351	1 683	

4. Discussion

4.1 Simulations

4.1.1 Traînée simulée

Les résultats présentés au tableau 2 confirment, pour tous les agencements, les hypothèses 1 et 2 de la section 2.2.4., à savoir qu'à dimensions égales, un chalut construit avec du fil plus léger et des mailles plus grandes engendre une traînée plus faible qu'un chalut standard et que des panneaux de surface moindre occasionnent une traînée plus faible que des panneaux de plus grande surface. L'engin $C_{st}P_{mr}$, considéré comme étant le moins hydrodynamique en raison notamment de son maillage plus petit (60 mm dans les sections antérieures), du type de fil utilisé (polyéthylène standard de 1,8 mm de diamètre) et de ses panneaux surdimensionnés, engendre la traînée la plus importante. À l'opposé, l'engin $C_{lg}P_{mv}$, considéré comme étant le plus hydrodynamique à cause de ses sections antérieures qui sont fabriquées en fil léger et ultrarésistant *Euroneema*, de son maillage relativement grand et de ses panneaux de petite taille, engendre une traînée parmi les plus faibles.

Dans le tableau 2, on observe qu'un changement de chalut présente un effet plus marqué sur la traînée qu'un changement de panneaux. Ce résultat est dû au fait que dans la pêche démersale, le chalut est responsable de près de la moitié de la traînée du train de pêche, tandis que les panneaux contribuent au quart de la traînée (Sea Fish Industry Authority *et al.*, 1995).

Toujours au tableau 2, l'engin $C_{st}P_{ph}$ présente une traînée plus faible que l'engin $C_{st}P_{mr}$, étant donné que chacun de ses panneaux P_{ph} est moins lourd de 80 kg par rapport à ceux de l'engin P_{mr} , ce qui représente une différence importante pour un même chalut. En effet, les panneaux P_{mr} sont surdimensionnés par rapport à la taille du chalut. Il aurait fallu se procurer des panneaux de même modèle, mais ayant un poids individuel restreint à environ 450 kg au lieu de 520 kg et une surface individuelle de 2,4 m² au lieu de 2,8 m², pour que $C_{st}P_{mr}$ soit un engin standard adéquat pour le Bussola.

La différence de traînée est plus faible entre la traînée simulée de $C_{st}P_{mr}$ et $C_{st}P_{ph}$ (-95 kg) qu'entre celles de $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ (-197 kg) et de $C_{gm}P_{ph}$ à $C_{lg}P_{mv}$ (-118 kg) (tableau 3). La grande

différence de traînée entre $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ doit être due au grand écart entre la surface de fil de C_{st} (83,42 m²) et celle de C_{gm} (68,51 m²). La surface de C_{lg} est de 62,03 m², mais les parties antérieures sont fabriquées à partir de fil léger *Euroneema*, ce qui explique sa performance en simulation.

Le fil *Euroneema* présente beaucoup d'intérêt. Selon les fabricants, les différences de performance sont très marquées par rapport à d'autres types de fils. Pour une même résistance, la diminution de diamètre de l'*Euroneema* par rapport au polyéthylène orange sera de 79 %. La diminution de poids est également considérable lorsqu'on passe à l'*Euroneema*. Cependant, ce type de fil coûte 13,5 fois plus cher à la livre que le polyéthylène orange (Laurent *et al.*, 2008).

4.1.2 Surface pêchante simulée

Comme indiqué au tableau 5, les variations de la surface pêchante moyenne entre deux engins successifs ne sont pas les mêmes. Il a déjà été mentionné à la section précédente que la différence entre C_{st} et C_{gm} , en ce qui concerne la surface de fil (de 14,91 m² en faveur du premier), est l'élément qui pourrait expliquer la diminution de la traînée. Par conséquent, une diminution de la traînée, avec les mêmes panneaux, fera vraisemblablement augmenter l'ouverture verticale du chalut et donc augmenter de façon importante la surface pêchante. De là l'importante augmentation de la surface pêchante entre les engins $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ simulés (+7,69 m²).

Dans le même ordre d'idées, la faible variation observée entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ (+1,23 m²) s'expliquerait par les similitudes entre la surface de fil de C_{gm} et de C_{lg} . De plus, les panneaux P_{ph} ont un coefficient d'écartement beaucoup plus grand que les panneaux P_{mv} (2,38 pour P_{ph} et 1,80 pour P_{mv}), ce qui implique que la distance entre les deux panneaux P_{ph} est plus grande qu'entre les deux panneaux P_{mv} . Cet écartement horizontal plus important fait donc augmenter la surface pêchante de tous les engins agencés avec P_{ph} , alors que l'ouverture verticale demeure sensiblement équivalente pour P_{ph} et pour P_{mv} . De même, tous les engins agencés avec les P_{mr} ont une plus grande surface pêchante, ce qui est probablement dû à leur surpoids et à leur plus grande surface, qui sont des facteurs nuisibles à leur performance en terme de traînée.

4.2 Interprétation des essais expérimentaux

4.2.1 Traînée des quatre engins expérimentés

En ce qui a trait aux statistiques, il n'y a pas de différence significative entre la traînée moyenne de $C_{gm}P_{ph}$ et la traînée moyenne de $C_{lg}P_{mv}$ ($p = 0,974$) à la suite des essais en mer (tableau 6). Cette similitude de traînée entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ est également notable dans les résultats de simulation, mais la traînée moyenne diminue néanmoins de 6,5 % entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ (tableau 3). Il est difficile d'expliquer pourquoi les différences de traînée mesurée sont pratiquement inexistantes entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$ (+ 0,4 au tableau 7) comparativement aux résultats de la simulation. Lors des essais en mer, différents facteurs non contrôlables sont entrés en ligne de compte. Il s'agit notamment des courants, des caractéristiques du fond marin, des conditions climatiques et de la précision des tensiomètres de funes.

La précision des tensiomètres de funes (les outils mesurant la tension de chaque fune) est un des facteurs pouvant expliquer

cette similitude de traînée entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$. En mer, un chalut en traction ne cesse de s'étirer et de se contracter, tel un élastique, et la tension qu'il exerce sur les funes varie continuellement. Pour ce projet, la tension pouvait varier en moyenne de 10 % entre chaque lecture, mais cela pouvait aller jusqu'à 20 %. Ce phénomène a pu induire une erreur dans les lectures et ainsi empêcher de déceler des différences plus subtiles dans la traînée engendrée par C_{gm} et C_{lg} .

En ce qui a trait aux caractéristiques du fond marin, les renseignements disponibles sont très généraux et aucun échantillon des fonds chalutés n'a été prélevé. Il est possible qu'une variation locale dans la texture du fond marin ait eu un impact sur les engins lors des essais expérimentaux, bien que le secteur soit connu par les pêcheurs comme étant assez homogène.

Afin de vérifier si les courants exerçaient une influence directe sur la traînée au sein d'un même engin, les traits ont été regroupés selon le critère « direction du bateau par rapport au courant ». Pour chaque engin, un regroupement des traits qui comportaient les mêmes caractéristiques quant au cap du bateau par rapport au courant a été effectué. Les analyses n'ont révélé aucune influence de courant. Par contre, le courant noté par le capitaine lors des essais en mer était le courant de surface et il n'y avait pas d'instruments permettant de mesurer le ou les courants de fond, qui ont une action directe sur la vitesse et la direction de l'engin de pêche. Par contre, de tels dispositifs existent. En effet, la compagnie *Scanmar* a mis au point un capteur qui mesure la vitesse effective de l'engin, c'est-à-dire la vitesse de l'engin de pêche par rapport à la direction de la masse d'eau qui l'entoure.

Il est possible également que les panneaux P_{mv} soient tout simplement moins efficaces en mer que dans des bassins d'essais, où les coefficients de traînée et d'écartement sont mesurés par les fabricants. Toutefois, les données intégrées dans le logiciel *DynamiT*, à la suite des essais *in situ*, ont permis d'obtenir pour P_{mv} un coefficient de traînée légèrement inférieur à celui des panneaux P_{ph} , alors qu'auparavant, il s'agissait de l'inverse.

4.2.2 Consommation de carburant des quatre engins expérimentés

Selon la troisième hypothèse de la section 2.2.4., des résultats de consommation de carburant auraient dû être semblables aux résultats de traînée mesurée, c'est-à-dire une légère diminution de consommation entre les engins $C_{st}P_{mr}$ et $C_{st}P_{ph}$, d'environ 4 %, et une diminution importante entre $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$, d'environ 11 %. Les résultats ne concordent pas avec cette hypothèse, $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$ ayant une consommation identique ($p = 1,000$) et $C_{lg}P_{mv}$ ayant une consommation moindre de 5 %, mais relativement proche de celle du couple $C_{st}P_{mr}$ - $C_{gm}P_{ph}$ ($p = 0,001$) (figure 6). Le seul engin qui se démarque des autres est $C_{st}P_{mr}$, un engin dont les portes sont surdimensionnées et mal adaptées au Bussola.

Selon ces résultats, on pourrait être tenté de conclure que, dans le cadre de la pêche crevettière au chalut de fond, une diminution de la traînée du train de pêche n'engendre pas nécessairement une diminution de consommation de carburant et que la troisième hypothèse se révèle fautive. Pourtant, cette hypothèse semble être admise à travers la communauté scientifique internationale et plusieurs laboratoires tentent de réduire la traînée des engins de pêche depuis la hausse du

prix des carburants fossiles. Présentement, les études ayant comme objectif la réduction de la consommation de carburant lors du chalutage, qu'elles soient complétées ou en cours, n'ont pas encore mis en évidence de façon claire la relation entre la traînée des engins tractés et la consommation de carburant par le bateau. Les résultats de l'étude de Brothers (2004) montrent une baisse de la consommation de carburant de 2 à 1 %, dépendamment du type de bateau, lors de l'utilisation d'un chalut expérimental de faible traînée comparativement à un chalut standard, mais aucune donnée sur la traînée n'est présentée. Valdemarsen et Hansen (2006) visent une diminution d'au moins 25 % de la traînée avec leur chalut à crevettes de faible traînée. Cependant, les résultats des essais en mer n'ont pas encore été publiés. L'étude de Ward *et al.*, (2005) révèle quant à elle une diminution de la traînée de leurs chaluts expérimentaux de l'ordre de 6 % lors des essais en mer, mais il n'y a pas de résultats sur la consommation de carburant. Ce champ d'études est assez récent et il existe peu de publications sur le sujet.

Les résultats pourraient aussi s'expliquer par le fait que la méthode utilisée ne permet pas de déceler l'effet d'une diminution de traînée par modification du train de pêche de l'ordre de 5 à 11 % sur la consommation de carburant du bateau, à cause de l'importance de l'influence des facteurs environnementaux (courants, marée, conditions climatiques, substrat, etc.) sur l'embarcation et le gréement de pêche. Par exemple, un courant de surface, qui serait parallèle à la course du bateau et qui se déplacerait dans la même direction que le bateau pourrait avoir comme effet de diminuer l'efficacité de l'hélice. Pour maintenir une ouverture de chalut optimale, le capitaine se verrait donc obligé d'augmenter la vitesse du bateau, engendrant ainsi une plus grande consommation de carburant, qui ne serait aucunement reliée à l'augmentation de la traînée du train de pêche. Une multitude d'exemples de la sorte pourraient être cités et c'est pourquoi il aurait peut-être fallu effectuer un nombre beaucoup plus important de traits expérimentaux afin d'aplanir les variations engendrées par les facteurs environnementaux. Des différences plus accrues auraient pu ressortir par des essais avec des engins de dimensions plus importantes, c'est-à-dire à l'échelle des bateaux commerciaux, et menés avec une quantité de traits satisfaisante. Effectivement, une diminution de 5 % de la consommation de carburant pourrait devenir significative transposée à l'échelle d'un engin de taille commerciale, et qui plus est, sur toute une saison de pêche.

4.2.3 Surface pêchante des quatre engins expérimentés

Selon la quatrième hypothèse de la section 2.2.4., à dimensions égales, un train de pêche à faible traînée devrait avoir une surface pêchante supérieure à un train de pêche standard. Les résultats des simulations ont confirmé cette hypothèse pour ce qui concerne le changement de chalut, même si une similitude a été remarquée entre $C_{gm}P_{ph}$ et $C_{lg}P_{mv}$. Par contre, les résultats des essais expérimentaux ne confirment pas cette hypothèse, à part le fait que $C_{lg}P_{mv}$ comporte la plus importante surface pêchante et que celle-ci soit significativement plus élevée que celle des autres engins ($p < 0,001$).

Pour le paramètre « surface pêchante », les facteurs environnementaux jouent aussi un rôle considérable. Un nombre plus élevé d'essais en mer serait donc nécessaire pour réduire l'influence des facteurs environnementaux sur les résultats.

4.3 Interprétation des essais avec captures

4.3.1 PUE des quatre engins lors des essais avec captures

En ce qui concerne la première hypothèse de la section 2.2.5., stipulant qu'à dimensions égales, un train de pêche à faible traînée peut capturer des quantités de crevettes comparables à celles d'un train de pêche conventionnel, les résultats des PUE obtenues à la suite des 14 traits avec captures (figure 8) ne permettent pas de tirer des conclusions, car un nombre insuffisant de traits a été effectué. En effet, un nombre de quatre traits par engin n'est pas assez élevé pour tirer des conclusions quant aux performances de capture des engins, sachant que la crevette n'est pas répartie uniformément dans la colonne d'eau et qu'en raison de ses faibles capacités natatoires, elle se déplace au gré des courants. Les importantes variations de PUE entre les quatre engins testés sont vraisemblablement explicables par le faible nombre de traits effectués. Il faudrait donc accroître de façon importante le nombre de traits avec captures pour amoindrir l'effet de l'hétérogénéité spatio-temporelle de la distribution de la ressource. De plus, les traits avec captures ont été effectués les uns à la suite des autres lors d'une période s'échelonnant sur 12 jours. Idéalement, il faudrait que les traits soient effectués par différents bateaux en même temps et à proximité l'un de l'autre. Comme cette méthode nécessiterait autant de bateaux qu'il y a d'engins à tester, une solution à envisager pour diminuer les coûts associés aux essais avec captures serait premièrement de cibler la combinaison la plus performante par des essais expérimentaux dans des conditions davantage contrôlées, puis d'effectuer par la suite une phase pilote avec seulement un agencement ou deux.

D'après les résultats des essais expérimentaux, les engins comportant la plus petite surface pêchante sont $C_{st}P_{mr}$, $C_{st}P_{ph}$ et $C_{gm}P_{ph}$. L'engin $C_{lg}P_{mv}$ se démarque du premier groupe avec une surface pêchante plus grande d'environ 5 % (figure 7). On pourrait s'attendre à ce que $C_{lg}P_{mv}$ obtienne une PUE plus importante que celle des autres engins d'environ 5 %, étant donné que l'ouverture du chalut est plus grande, mais ces résultats ne se reflètent pas dans la PUE (figure 8). L'hypothèse 2 de la section 2.3.5., selon laquelle plus la surface pêchante d'un engin est importante, plus il capturera de crevettes, n'est donc pas vérifiée dans le cadre de ce projet. Les résultats issus des essais avec captures sont largement discutables et il est suggéré d'effectuer des essais supplémentaires avant de conclure sur la relation entre la PUE et la surface pêchante.

Pour finir, il appert que les captures effectuées avec un bateau comme le Bussola peuvent être satisfaisantes, puisque certains traits ont montré des rendements intéressants (de 209 à 279 kg/h) à l'échelle de ce bateau. En effet, en 2006, dans la zone « 10 Sept-Îles », la PUE annuelle avoisinait les 350 kg/h (MPO, 2008 ; Savard, L., 2008, comm. pers.). En outre, il faut considérer qu'en juillet-août, période à laquelle les essais de captures ont été menés, il peut arriver que les rendements commerciaux soient moins élevés qu'au printemps ou à l'automne.

4.3.2 Pertes de crevettes dans trois des quatre engins

Quantification des pertes par engin. Les résultats sur les pertes de crevettes doivent également être interprétés avec précaution, en raison du faible nombre de traits effectués, mais aussi en raison du fait que la surface échantillonnée par les poches représente simplement 13 % de la surface susceptible de perdre des crevettes pour chaque chalut. En extrapolant nos résultats à la totalité des surfaces échantillonnées, de faibles pertes sont tout de même survenues par rapport à la totalité des crevettes capturées. Ces résultats ne devraient pas rebuter les pêcheurs, même lorsqu'on prend en compte les résultats de l'engin $C_{gm}P_{ph}$, qui a subi les plus importantes pertes (0,5 % de ses captures totales). Par rapport aux prises des crevettiers commerciaux de Rivière-au-Renard, qui capturent en moyenne 23 500 kg de crevettes en trois jours de pêche (72 heures), des pertes de 0,5 % représentent 117,5 kg de crevettes par 72 heures de pêche. Avec ce pourcentage en pertes, même une économie de 2 % sur la consommation de carburant serait avantageuse pour une entreprise de pêche crevettière qui subit elle-même un certain nombre de pertes en pêche commerciale (tableau 12).

Localisation des pertes dans les chaluts. La localisation des pertes de crevettes par le maillage est un phénomène qui dépend de la taille des mailles, mais aussi des courants qui sont exercés sur le chalut. Un courant dirigé vers le côté bâbord du chalut engendrera vraisemblablement davantage de pertes dans les nappes situées du côté bâbord, étant donné que les crevettes sont des organismes qui ne peuvent nager contre le courant. C'est pourquoi la localisation précise de la poche au sein d'une nappe de filet n'a pas été prise en compte dans les analyses. Les pertes ont été compilées selon les quatre emplacements suivants : dos, côté tribord, côté bâbord et ventre.

Les résultats obtenus sur la localisation des pertes viennent appuyer l'hypothèse de certains chercheurs (Valdemarsen, J. W., *comm. pers.*, chercheur à l'Institute of Marine Research, Bergen, Norvège) selon laquelle un grand maillage (60 mm et plus) dans le panneau inférieur des sections antérieures (ventres) engendre une plus grande perte de crevettes qu'un maillage standard (entre 45 et 50 mm), à cause du comportement des crevettes qui glissent le long du panneau inférieur dès leur entrée dans le chalut. Par contre, comme il a été mentionné dans la section précédente, la proportion de crevettes s'échappant par le maillage, pour les trois engins testés, n'est pas alarmante.

5. Conclusion et recommandations

D'après l'ensemble des résultats, la meilleure combinaison parmi les trains de pêche testés serait $C_{lg}P_{mv}$, en raison des valeurs de traînée et de consommation de carburant relativement faibles que cet engin a généré en mer, et de la surface pêchante significativement plus élevée obtenue à la suite des essais expérimentaux. Les données de simulation *a priori* et *a posteriori* viennent d'ailleurs corroborer ce choix. De plus, même si ces résultats proviennent d'un nombre limité d'essais en condition de pêche avec captures, l'engin $C_{lg}P_{mv}$ a obtenu une PUE satisfaisante comparativement aux PUE des trois autres engins et les pertes de crevettes ont été moindres que celles de l'engin $C_{gm}P_{ph}$, même si les quantités de crevettes

perdues par tous les engins ne devraient pas être préoccupantes pour les pêcheurs.

Une analyse de coûts et de bénéfice viendrait bonifier les résultats du présent projet étant donné l'investissement requis par l'achat du fil *Euroneema* composant l'engin $C_{lg}P_{mv}$, le prix de celui-ci étant plus de 13,5 fois supérieur à celui du fil conventionnel. Il faut bien évidemment que la réduction de traînée, et par conséquent, la réduction des dépenses en carburant, soit suffisamment importante pour rentabiliser cet investissement sur sa durée de vie utile.

Malgré le fait que le Bussola puisse obtenir des captures satisfaisantes, il reste que les résultats du projet sur cet aspect n'ont pas apporté le succès escompté. Différents facteurs sont en effet venus perturber l'obtention de données de rendement de pêche propices à désigner l'engin le plus efficace. De même, les données relatives à la consommation de carburant n'ont pas permis de clairement mettre en exergue l'effet de la traînée de l'engin utilisé sur une éventuelle réduction de cette dépense.

Il est suggéré qu'à l'avenir un nombre élevé de traits soit effectué ($n > 40$ traits pour l'obtention d'au moins 30 traits) dans les conditions les plus similaires possible, ce qui implique que les traits devraient être effectués au même endroit et dans des conditions climatiques semblables. Un des avantages reliés à un nombre élevé de traits est que les traits effectués dans des conditions climatiques plus extrêmes ou changeantes peuvent être enlevés des analyses ultérieurement.

Idealement, une phase pilote de plus grande envergure impliquant des pêcheurs commerciaux devrait être réalisée. Des engins de taille commerciale associés à un nombre de traits plus élevé devraient effectivement faire ressortir les différences en termes de consommation de carburant et permettre de vérifier les rendements de pêche qui peuvent être obtenus. Un engin de taille commerciale, pouvant être tracté par un navire appartenant à la flotte crevettière de l'Est-du-Québec, pourrait être conçu par les Agrès de pêche ACPG et testé lors d'une saison de pêche entière. De plus, les essais pilotes devraient être effectués en parallèle avec d'autres pêcheurs commerciaux de la même flottille pour des fins de comparaison, ou du moins, il faudrait obtenir l'information pertinente afin de connaître la performance des autres bateaux de pêche durant ces tests.

En outre, l'acquisition de certains systèmes bonifierait ces essais supplémentaires. Par exemple, un outil plus fiable pour mesurer la tension dans les funes lors du tractage améliorerait la qualité des données. La compagnie *Scanmar* a mis au point des « capteurs de tension sous-marins », pouvant être placés derrière les panneaux. Il existe également des capteurs de tension pouvant être installés sur le pont ou intégrés aux enrouleurs. Par ailleurs, un outil permettant de mesurer la vitesse effective de l'engin, qui est la vitesse de l'engin de pêche par rapport à la direction des masses d'eau qui l'entourent, serait indispensable pour expliquer les variations extrinsèques de la traînée. La compagnie *Scanmar* a également développé un tel capteur.

Toutefois, avant de lancer une prochaine étude, il est fortement recommandé de vérifier auprès des chercheurs du domaine (Ifremer, Brothers, Valdemarsen et Hansen, Ward et autres) si leurs recherches ont avancé et s'il existe maintenant des données plus probantes sur la réduction de la traînée en relation avec les dépenses de carburant lors d'essais en mer.

6. Remerciements

Les auteurs remercient les membres de l'équipage du Bussola, pour leur persévérance lors des essais en mer et leur rigueur dans de la prise des données. Ce sont les techniciens Jean-Claude Blais et Magella Després et les capitaines Benoît Cotton, Yoland Plourde et Renaud Sylvestre. Merci à Francis Coulombe de la Direction de l'innovation et des technologies du MAPAQ pour ses conseils avisés lors de l'élaboration des protocoles expérimentaux.

7. Bibliographie

1. Brothers, G. (rapport non publié). Analysis of Data Collected During Engineering and Comparative Fishing Trials with Experimental and Original (Non-experimental) Shrimp Fishing Gear. 2004. Fisheries and Oceans Canada, St. John's, Newfoundland, Canada.
2. Direction des analyses et des politiques. 2006. Analyse de l'industrie. La crevette. DAP-MAPAQ, Québec, 92 pages.
3. Environnement Canada. 2007. La Voie verte, site Web d'Environnement Canada [en ligne]. URL : <http://www.qc.ec.gc.ca/faune/biodiv/fr/abiotique/regionalisation.html> (page consultée le 5 février 2007).
4. George, J.-P., C. Nédélec. 1991. Dictionnaire des engins de pêche. Ifremer, Éditions Ouest-France. 278 pages.
5. Laurent, J., Y. Plourde, M.-H. Rondeau, M.-L. Larrivée. 2008. PANDALUS : Revue des innovations technologiques dans l'optimisation énergétique des trains de pêche crevettière au chalut. MAPAQ, DIT. Rapport de R-D no 166. 11 pages.
6. MPO, 2007. Évaluation de l'état de la crevette de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2006. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2007/006.
7. Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaëtan Morin Éditeur Itée, Montréal, 850 pages.
8. Sea Fish Industry Authority, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Danish Institute for Fisheries Technology and Aquaculture. 1995. Les panneaux de chalut : caractéristiques et mise en œuvre. Eds IFREMER. 138 pages.
9. Savard, L. 2008. Direction des sciences. Ministère des Pêches et des Océans. Institut Maurice-Lamontagne.
10. SYSTAT Software Inc. 2002. SYSTAT, Version 10.2. SYSTAT Software Inc., Richmond, CA.
11. Valdemarsen, J. W., K. Hansen. (rapport non publié). Innovations in trawl components that reduce the trawl drag. 2006. Institute of Marine Research, Bergen, Norway and SINTEF, Hirtshals, Denmark.
12. Ward, N., M. Montgomerie, W. Lart. 2005. Fuel efficiency trials using Jackson trawls with reduced twine diameter on MFV Challenge II [en ligne]. URL : <http://www.seafish.org/resources/publications.asp?c=Technical%20Report> (page consultée le 12 février 2007). Sea Fish Industry Authority.
13. Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis, 4 ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 663 pages + annexes.

ANNEXES

Annexe 1

Formulaire distribué aux pêcheurs

NOM DU BATEAU			
Propriétaire	Constructeur	Type	
Longueur	Matériau coque		
Hélice			
Diamètre	Pitch	Nbre pales	
Réduction	Tuyère	oui / non	
Marque moteur	Modèle	Année	
Puissance utilisée (cv)	Régime (tr/min)		
Puissance max (cv)	Régime (tr/min)		
TRAIN DE PÊCHE			
Funes (diamètre)			
Funes (long/prof)	Profondeur 80 brasses	Prof 100 br	Prof 120 br Prof 140 br Prof 160 br
Longueur funes			
Panneaux (marque)	Panneaux (type)		
Poids	Dimension	Surface	
Entremises			
Fourches supérieures	Longueur	Diamètre	
Fourches inférieures	Longueur	Diamètre	
Faux bourrelet ailes	Longueur chaîne	Diamètre chaîne	
Dimension spacers	Nombre spacers	Poids spacers	
Faux bourrelet central	Longueur chaîne	Diamètre chaîne	
Dimension spacers	Nombre spacers	Poids spacers	
Diam. disques (roues)	Nbre disques (roues)	Poids disques	
		Poids total faux bourrelet :	
CHALUT			
Nombre flotteurs	Longueur rallonge	Longueur poche	
SVP ANNEXER LE PLAN DU CHALUT			

Annexe 2

Description des chaluts et des panneaux expérimentés

I. Les chaluts

Trois chaluts de même modèle, mais ayant des caractéristiques hydrodynamiques différentes, ont été tractés dans des conditions semblables. Ce sont tous des chaluts à quatre faces et à grande ouverture verticale. Ils apparaissent ci-dessous selon un ordre croissant de performance hydrodynamique théorique, ce qui signifie que le chalut C_{st} , de type conventionnel, possède la moins bonne performance hydrodynamique. À l'opposé, le chalut C_{ig} est le plus hydrodynamique des trois et ce chalut devrait engendrer une moins grande traînée que les chaluts C_{gm} et C_{st} .

1.1. Chalut C_{st} « standard »

Surface de fil : 83,42 m².

Ce chalut est construit en filet de polyéthylène (PE) standard et comportant les sections suivantes (figure 1) :

- des mailles de 50 et 60 mm (de nœud à centre) dans le petit dos, les côtés et le ventre avec du filet de 1,8 mm de diamètre;
- des mailles de 60 mm dans la partie antérieure, soit le grand dos, les ailes supérieures et les ailes inférieures, avec du filet de diamètre de 1,8 mm;
- des pointes d'ailes construites en filet de 3 mm, comportant des mailles de 120 mm.

La rallonge est de format standard, avec du maillage de 50 mm et du filet en PE à 1,65 mm de diamètre.

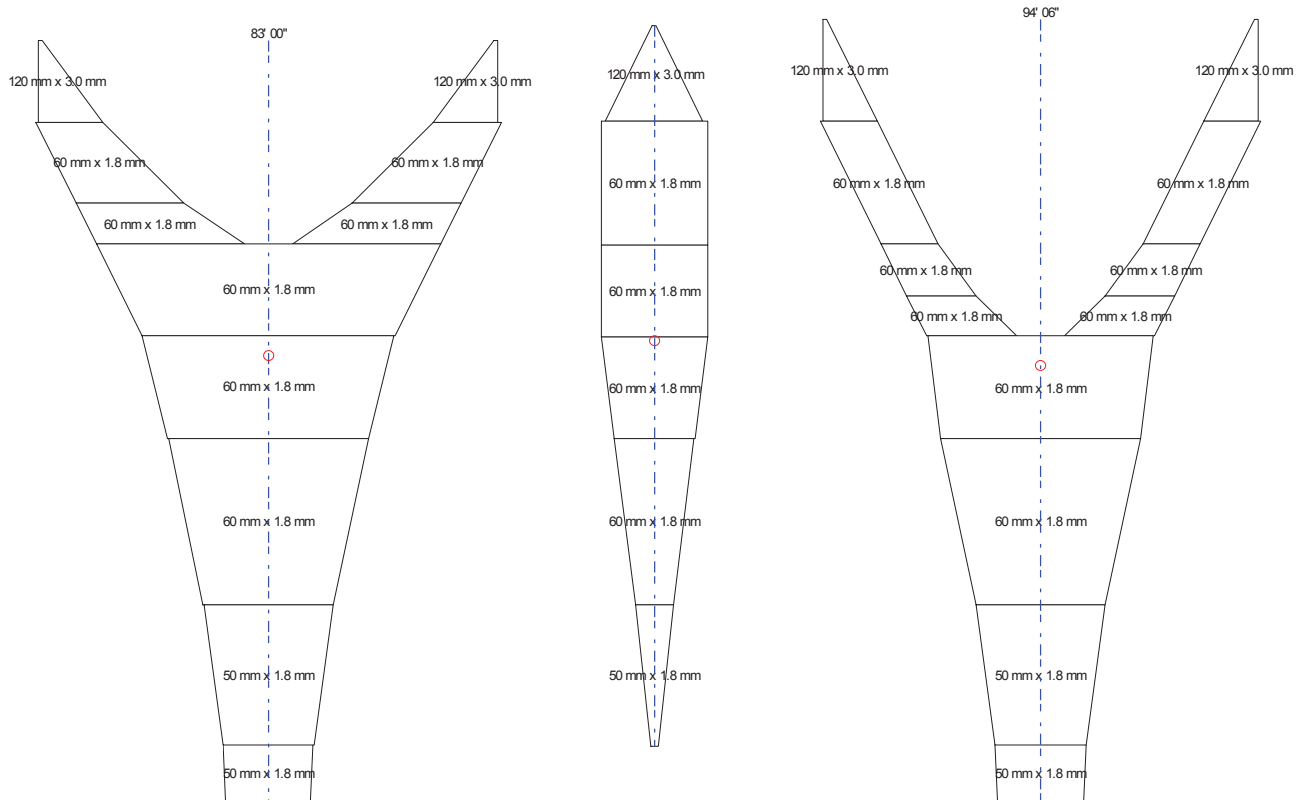


Figure 1. Schéma du chalut « standard » C_{st} .

1.2. Chalut C_{gm} « grandes mailles »

Surface de fil : 68,51 m².

Ce chalut comporte les sections suivantes (figure 2) :

- des mailles de 50 et de 60 mm dans le petit dos, les côtés et le ventre, avec du filet en PE de 1,2 mm, sauf pour le ventre 1 qui comporte du maillage de 120 mm avec du filet en PE de 3,0 mm;
- des mailles de 120 mm dans les parties antérieures tels le grand dos, les côtés et les ailes supérieures et inférieures, avec du filet en nylon de 1,8 mm, sauf pour l'aile inférieure 1 qui comporte du filet en PE de 3,0 mm;
- des mailles de 120 mm pour les pointes ailes supérieures et les côtés, avec du filet en PE de 1,8 mm;
- des mailles de 120 mm pour les pointes ailes inférieures et les côtés, avec du filet en PE de 3,0 mm;
- la rallonge est de format standard, avec du maillage de 50 mm et du filet en PE à 1,65 mm.

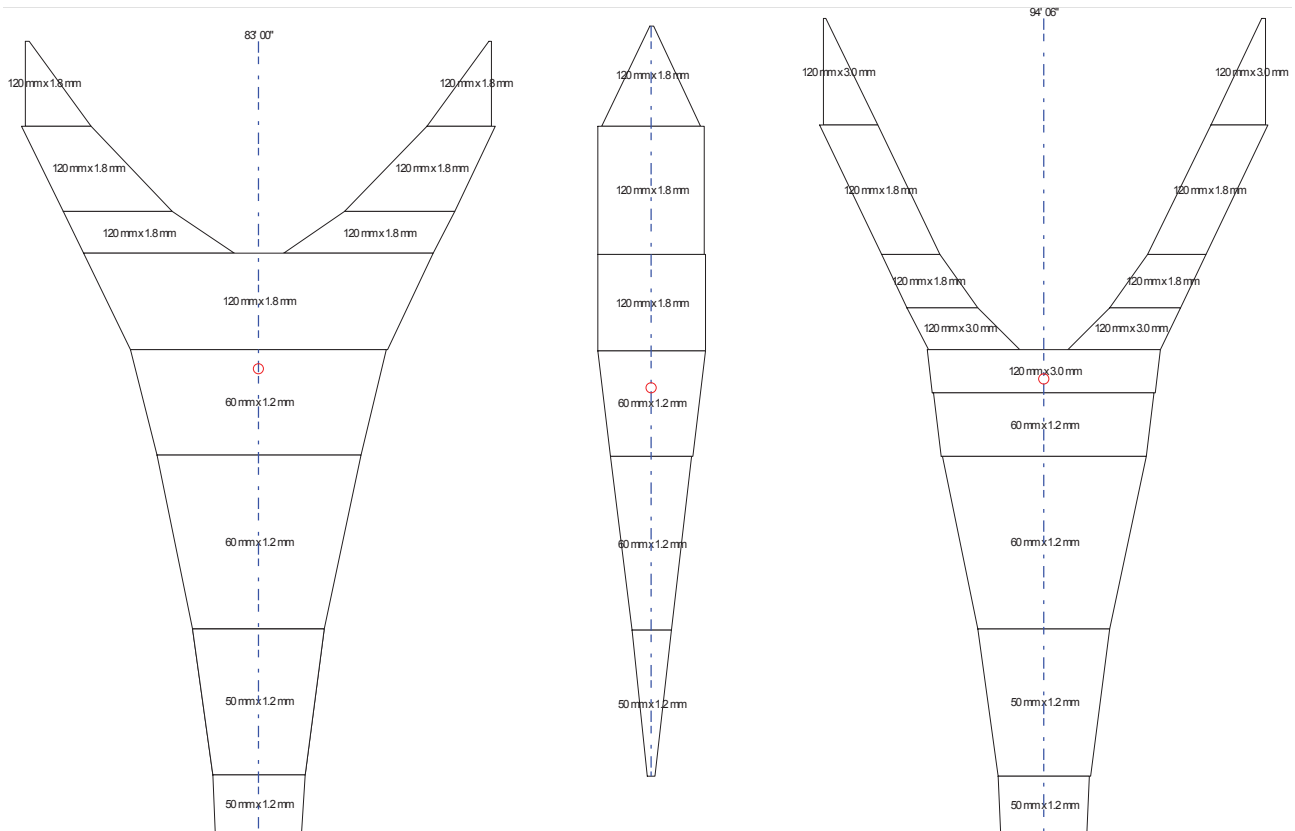


Figure 2. Schéma du chalut « grandes mailles » C_{gm} .

1.3. Chalut C_{lg} « léger »

Surface de fil : 62,03 m².

Ce chalut comporte les sections suivantes (figure 3) :

- des mailles de 50 et de 60 mm dans le ventre et le petit dos avec du filet Euroneema de 1 mm, sauf pour les ventres 1 et 2 qui comportent du filet en PE de 1,2 mm;
- des mailles de 90 mm avec du filet Euroneema de 1 mm pour le grand dos, les côtés, les ailes et les pointes d'ailes supérieures;
- des mailles de 90 mm pour les ailes et les pointes d'ailes inférieures, avec du filet en PE standard de 2,2 mm;
- la rallonge est de format standard, avec du maillage de 50 mm et du filet en PE à 1,65 mm.

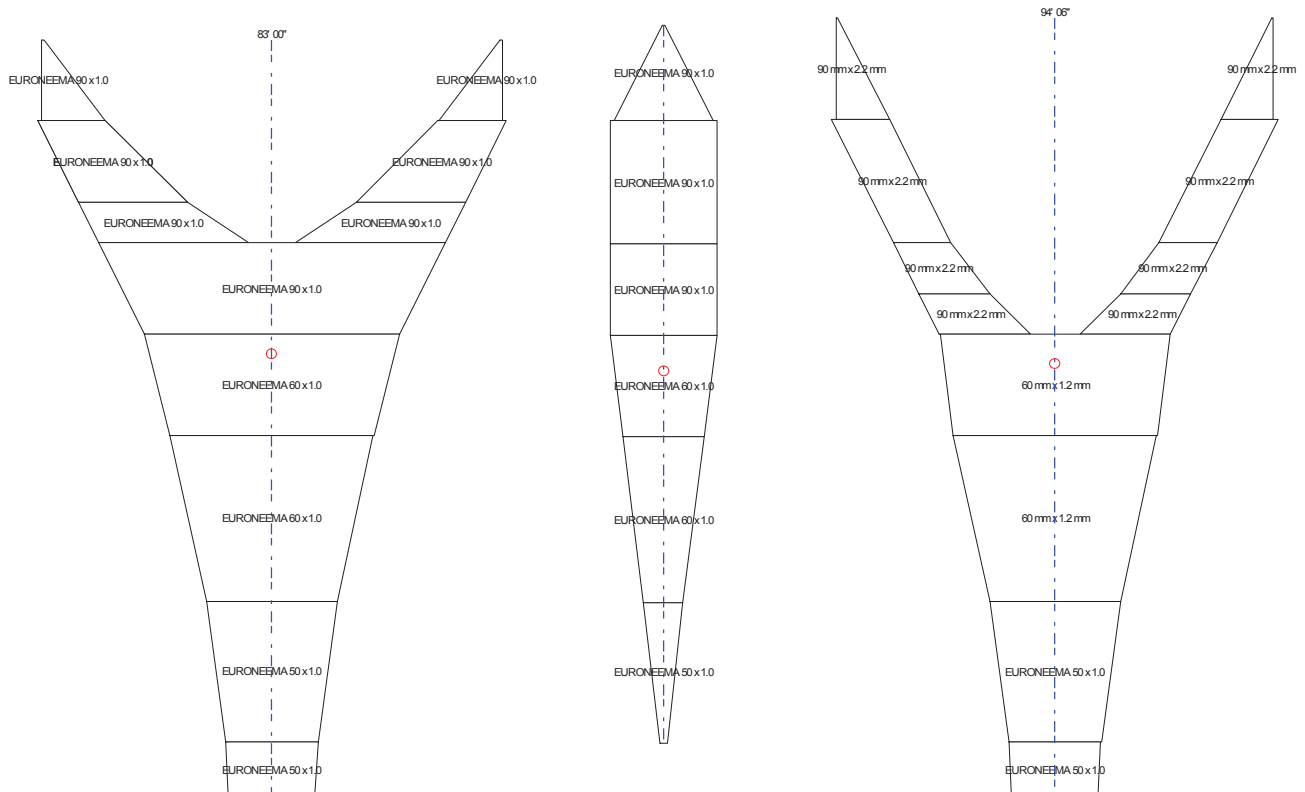


Figure 3. Schéma du chalut « léger » C_{lg}.

II. Les panneaux

Les trois modèles de panneaux sont eux aussi décrits en ordre croissant de performance hydrodynamique théorique.

2.1. Panneaux P_{mr} de marque « Morgère » et de modèle « R »

C'est le modèle le plus couramment utilisé par les crevettiers de l'Est-du-Québec. Ce modèle est plus ancien et peu hydrodynamique. Il est important de préciser que nous recherchions des panneaux P_{mr} de 450 kg et de 2,4 m² (de même modèle) pour agencer avec notre chalut C_{st} , mais à cause de la rareté des panneaux de cette taille, nous avons dû nous contenter de panneaux plus gros. À la suite d'essais en mer, ces panneaux se sont donc avérés comme étant surdimensionnés et c'est pourquoi nous avons dû trouver un autre agencement de référence, l'agencement $C_{st}P_{ph}$.

Poids : 520 kg

Surface : 2,8 m²

Coefficient de traînée : 1,10

Coefficient d'écartement : 1,81

2.2. Panneaux P_{ph} de marque « Perfect » et de modèle « High Power »

Poids : 440 kg

Surface : 1,8 m²

Coefficient de traînée : 1,05

Coefficient d'écartement : 2,38



Figure 4. Modèle Perfect High Power

2.3. Panneaux P_{mv} de marque « Morgère » et de modèle « Oval foil en V »

Poids : 400 kg

Surface : 1,8 m²

Coefficient de traînée : 1,07

Coefficient d'écartement : 1,80

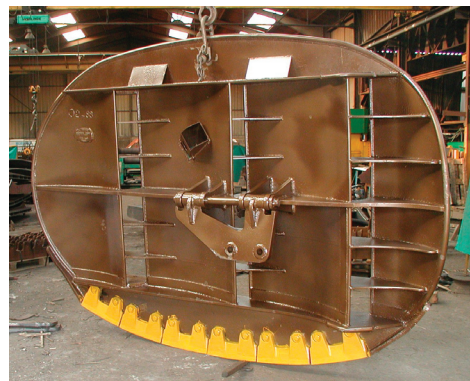


Figure 5. Modèle Morgère Oval foil

III. Échantillonnage des pertes de crevettes

Pour chacun des trois chaluts, nous avons coloré en gris pâle les nappes de filet considérées comme étant les plus susceptibles aux pertes de crevettes (figures 6 à 8). Au total, 11 « poches collectrices » ont été placées sous ces nappes de filet afin de comparer les pertes de crevettes dans les trois types de chaluts testés en conditions commerciales. L'emplacement des poches était le même pour chaque chalut et cet emplacement est illustré à la figure 9.

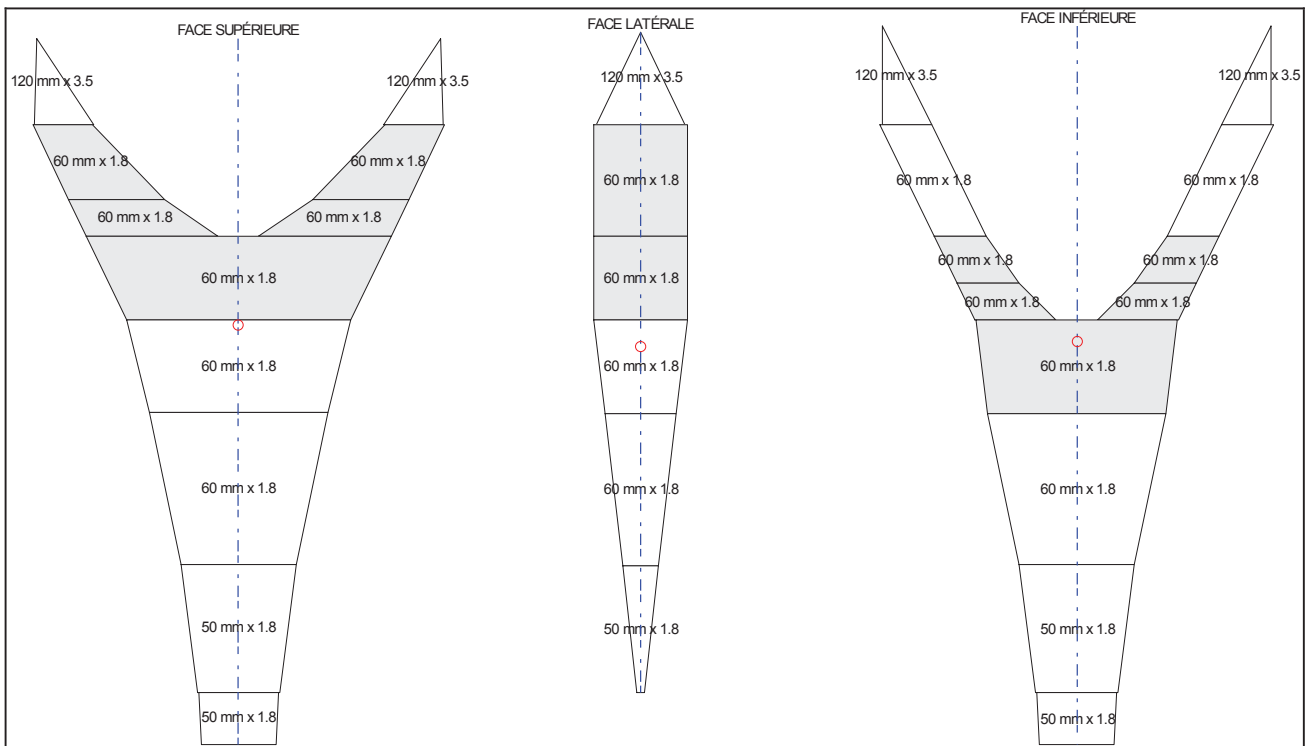


Figure 6. Nappes de filet du chalut C_{st} davantage vulnérables à la perte de crevettes.

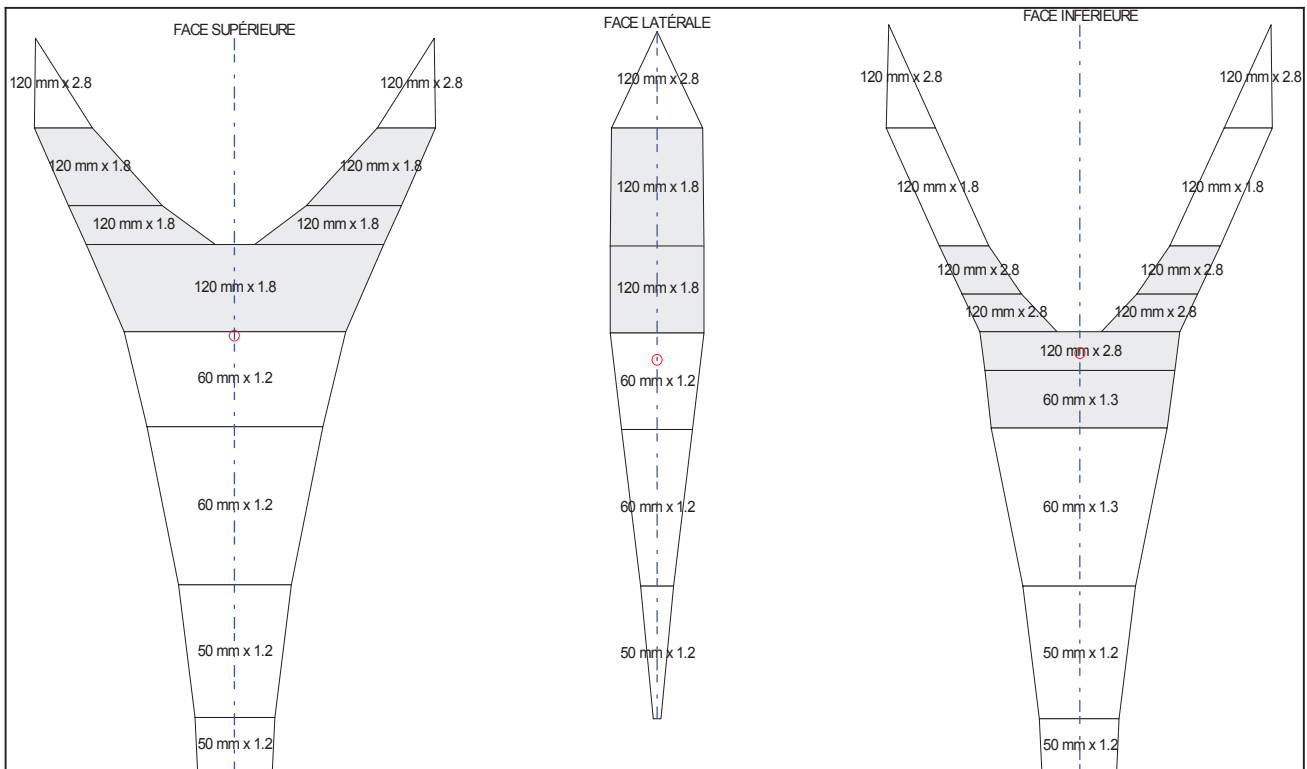


Figure 7. Nappes de filet du chalut C_{gm} davantage vulnérables à la perte de crevettes.

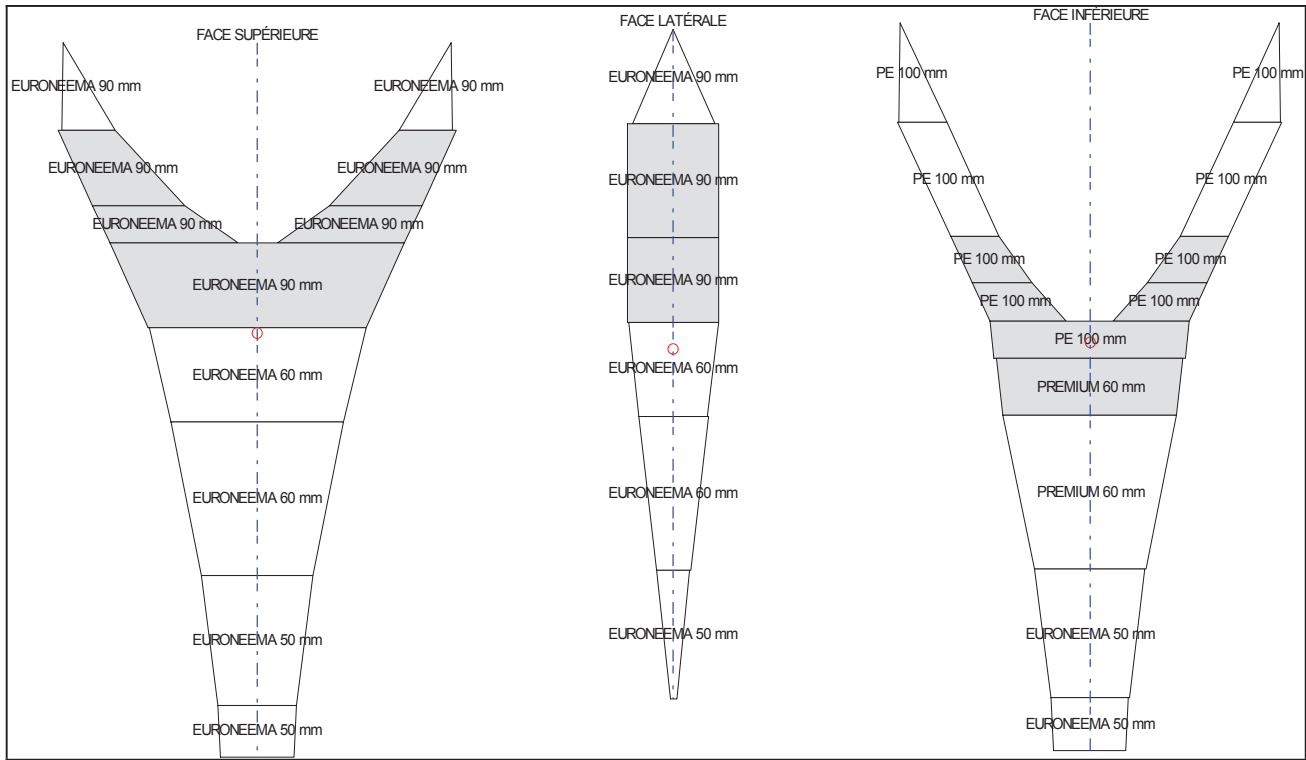


Figure 8. Nappes de filet du chalut C_{1g} davantage vulnérables à la perte de crevettes.

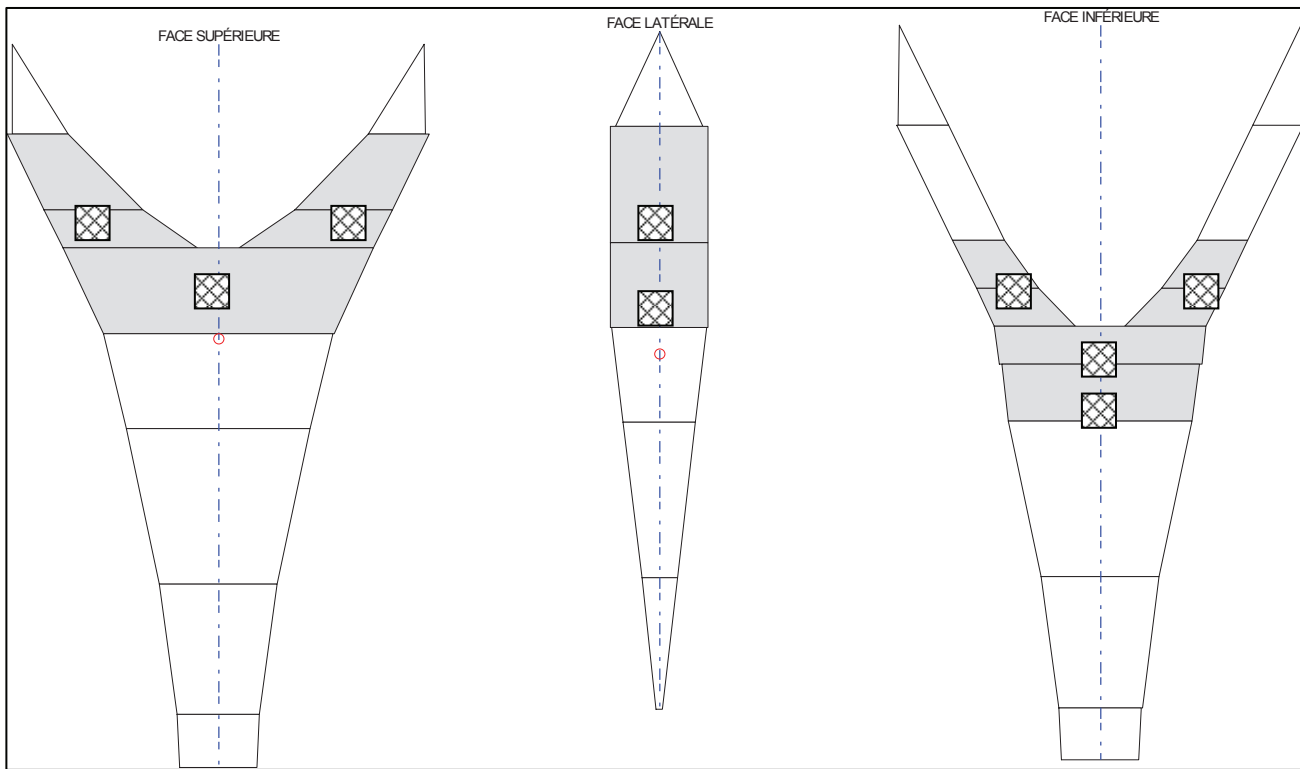


Figure 9. Emplacement de neuf des onze « poches collectrices » de crevettes dans chacun des chaluts. Les deux autres poches sont situées sur la 2^e face latérale.

