

2014

Évaluation de systèmes d'amortissement du roulis sur les bateaux de pêche semi-hauturière du Québec

Francis Coulombe
Merinov

Marie-Hélène Fournier
Merinov, Halieutec

Aurem Langevin

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Coulombe, F., Fournier, M.-H. et Langevin, A. (2014). *Évaluation de systèmes d'amortissement du roulis sur les bateaux de pêche semi-hauturière du Québec* (Rapport n° R-811). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-811



Évaluation de systèmes d'amortissement du roulis sur les bateaux de pêche semi-hauturière du Québec

*Francis Coulombe
Marie-Hélène Fournier
Aurem Langevin*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : www.csst.qc.ca/AbonnementPAT

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2014
ISBN : 978-2-89631-713-4 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2014

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-811

Évaluation de systèmes d'amortissement du roulis sur les bateaux de pêche semi-hauturière du Québec

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*Francis Coulombe¹, Marie-Hélène Fournier^{1,2},
Aurem Langevin³*

¹*Merinov*

²*Halieutec*

³*Ingénieur-conseil*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les bailleurs de fonds : l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour son appui financier au projet ainsi que madame Marie-France D'amours, conseillère en valorisation, pour sa collaboration; le Service technologique en pêche (STEP) pour son soutien financier ainsi que ses coordonnateurs pour leur appui tout au long du projet; Marinexpert, le Chantier Naval Forillon inc. et l'Association des capitaines propriétaires pour leur contribution financière.

Merci aux membres du comité de pilotage du STEP pour leur participation au comité de suivi. Merci aux capitaines-propriétaires des deux bateaux ayant servi lors de cette étude, messieurs Alban Hautcoeur et Christian Lelièvre, ainsi qu'aux membres d'équipage de ces deux bateaux pour leur engagement dans le projet. Nous saluons également madame Suzanne Bourget pour sa collaboration lors des essais en mer et son dévouement pour l'illustration des données. Finalement, nous adressons un merci tout spécial à monsieur Michel Tremblay pour sa contribution particulière au projet. Son expérience et son expertise en matière de technologies et de réglementation sur la sécurité des bateaux de pêche ainsi que son réseau de contacts avec les pêcheurs participants lors de l'inventaire et des expérimentations en mer ont grandement facilité la réalisation du projet.

SOMMAIRE

La comparaison entre les statistiques des accidents mortels dans l'industrie halieutique et celles des autres catégories professionnelles révèle que la pêche est l'un des métiers les plus dangereux. À bord d'un navire, le travail est accompli dans des conditions difficiles, sur une plateforme en mouvement, exposée aux intempéries et glissante. Pour des raisons de sécurité et de facilité d'exécution durant les opérations de pêche, les travailleurs cherchent à diminuer l'influence des mouvements du navire, en utilisant des systèmes d'amortissement du roulis, dont la fonction principale est de limiter les mouvements latéraux sans trop influencer les mouvements longitudinaux (tangage) causés par la mer. Ce projet visait, d'une part, à inventorier les systèmes d'amortissement du roulis des navires de pêche semi-hauturière en opération au Québec et, d'autre part, à effectuer des tests comparatifs de performance des deux systèmes les plus populaires au Québec : celui à ailerons à charnières, un système en pleine émergence, et celui à paravanes, le système le plus répandu dans nos flottilles.

L'inventaire a révélé que la moitié des 292 navires de plus de 15 tonneaux de jauge sont équipés d'un système à paravanes, alors que le système à ailerons à charnières vient bon deuxième (11 %) comme dispositif d'amortissement du roulis. L'implantation de ce dernier est toutefois croissante. En complément, une enquête qui a rejoint 53 % des 30 capitaines-propriétaires qui avaient fait équiper leur bateau d'ailerons à charnières, à la fin octobre 2010, révèle un taux de satisfaction élevé sur tous les plans : facilité de manutention, confort, sécurité et performance générale en mer.

À l'été 2010, des essais en mer ont été menés à bord de deux crabiers jumeaux, le *Danie Martine*, équipé de paravanes et le *Rudy LI*, équipé d'ailerons à charnières. Le but de ces essais était de vérifier si le *Rudy LI* se comportait avantageusement à l'égard de trois aspects qui préoccupent les pêcheurs et les organismes de réglementation : la stabilité de l'embarcation, la sécurité et le confort des équipages, de même que les coûts d'énergie (carburant). Trois journées d'essais en mer ont été effectuées dans la Baie-des-Chaleurs près des côtes de la Gaspésie. Chacune des journées comprenait 21 essais de 15 minutes chacun pendant lesquels trois variables majeures ont été testées : 1) la position des systèmes d'amortissement (à la verticale, semi-déployés et immergés); 2) la vitesse du bateau, basée sur des situations opérationnelles (dérive, demi-vitesse comme lors d'une opération de pêche et pleine vitesse comme lors du trajet entre le quai et le fond de pêche); 3) la position du navire selon la direction du vent (face, arrière, travers). Les données ont été enregistrées en continu au moyen d'outils spécialisés, tels : une centrale inertielle, un indicateur de torque déployé sur l'arbre de transmission, la vitesse par rapport au fond selon la position GPS, l'orientation et la vitesse du vent au moyen d'un anémomètre. Les conditions climatiques vécues durant ces trois jours ont été assez clémentes de sorte que l'agitation de la mer était plutôt modérée.

Considérant cet environnement, les valeurs moyennes de l'amplitude du roulis, enregistrées lors des mouvements latéraux du *Danie Martine* et du *Rudy LI*, se situaient à l'intérieur d'une plage sécuritaire, étalées entre 2 et 6 degrés. Plus spécifiquement, les résultats obtenus démontrent que les valeurs minimales moyennes de l'amplitude du roulis ont été enregistrées sur le *Danie Martine*; alors que les valeurs maximales ont été observées sur le *Rudy LI*, bien que les différences étaient faibles, notamment quand les systèmes d'amortissement du roulis étaient

immergés. Les valeurs de l'amplitude du tangage étaient moindres lorsque les bateaux étaient en dérive ou à demi-vitesse et que les systèmes d'amortissement du roulis n'étaient pas déployés. Les valeurs minimales se situaient autour de 1 degré; alors que les valeurs maximales étaient de l'ordre de 2,5 degrés. En déplacement, le *Rudy LI* présentait une amplitude de tangage supérieure à celle du *Danie Martine*. Sur le plan de la consommation d'énergie, le *Rudy LI* était plus économe que le *Danie Martine* à demi-vitesse; alors que l'énergie nécessaire à leur déplacement était équivalente à pleine vitesse, lorsque les systèmes d'amortissement du roulis étaient déployés.

Tout comme le système à paravanes, le système à ailerons à charnières peut être considéré comme un système avantageux au plan de la réduction du roulis, permettant ainsi une meilleure stabilité générale du bateau et une amélioration de la sécurité de l'équipage. De même, nos observations visuelles montrent que les ailerons à charnières sont plus simples et plus faciles à déployer par les membres d'équipage que les paravanes. D'ailleurs, il est plus facile pour le capitaine de déterminer l'envergure des ailerons à charnières, système à géométrie fixe, que celui des paravanes dont la géométrie est influencée par l'effet de résistance de l'eau sur le couple câbles-paravanes. Ceci permet plus facilement d'éviter des obstacles qui flottent en surface ou en sous-surface.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	1
2. RISQUES ASSOCIÉS À L'ACTIVITÉ DE PÊCHE AU QUÉBEC ET AU CANADA	3
2.1 La fréquence des accidents.....	3
2.2 Les causes d'accidents	4
3. ÉTAT DES CONNAISSANCES	5
3.1 Le système d'amortissement du roulis à paravanes	5
3.2 Le système d'amortissement du roulis à ailerons à charnières	6
3.3 Les problèmes de sécurité	7
4. OBJECTIFS DE RECHERCHE	9
4.1 Objectif général et sous-objectifs.....	9
5. MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE.....	11
5.1 L'inventaire des systèmes d'amortissement du roulis.....	11
5.2 Enquête auprès des pêcheurs.....	11
5.3 Les navires	12
5.4 Les essais en mer	13
5.5 Les conditions expérimentales	15
5.6 Les instruments de mesure.....	15
5.7 Les méthodes d'analyse des données.....	17
5.7.1 Traitement des signaux	17
5.7.2 Analyse statistique des données.....	19
6. RÉSULTATS.....	21
6.1 Inventaire de la flotte et ses équipements de réduction de roulis.....	21
6.2 Évaluation de la satisfaction des pêcheurs naviguant sur des bateaux équipés d'ailerons à charnières	23
6.3 Évaluation expérimentale des performances en mer du <i>Rudy LI</i> (ailerons à charnières) et du <i>Danie Martine</i> (paravanes)	24
6.3.1 Effet sur le roulis.....	24
6.3.2 Effet sur le tangage	31
6.3.3 Consommation d'énergie	36

7. DISCUSSION.....	37
7.1 Influence sur les mouvements du navire.....	37
7.1.1 Roulis.....	37
7.1.2 Tangage.....	38
7.2 Consommation d'énergie.....	38
7.3 Opérations des ailerons à charnières et risques associés.....	39
8. CONCLUSION.....	41
9. BIBLIOGRAPHIE.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Plan d'échantillonnage journalier des essais comparatifs en mer	14
Tableau 2. Énumération des variables (8) pour lesquelles des comparaisons statistiques ont été réalisées entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i>	20
Tableau 3. Évaluation de la satisfaction des pêcheurs naviguant sur des bateaux équipés d'ailerons à charnières	23
Tableau 4. Synthèse d'analyse comparative de la consommation d'énergie	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Système d'amortissement du roulis à paravanes	5
Figure 2. Système d'amortissement du roulis de type ailerons à charnières	7
Figure 3. Le <i>Rudy LI</i> et le <i>Danie Martine</i>	12
Figure 4. Les équipements utilisés pour l'enregistrement des données	16
Figure 5. Les mouvements du navire en fonction de l'état de la mer.....	17
Figure 6. Étapes du traitement des données de position recueillies lors des essais en mer.....	18
Figure 7. Répartition relative des diverses flottes de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes), 2010	21
Figure 8. Répartition des systèmes d'amortissement du roulis dans la flotte de pêche commerciale maritime du Québec, 2010	22
Figure 9. Comparaison de l'amplitude du roulis entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode RMS	26
Figure 10. Comparaison de l'amplitude du roulis entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode MAX	27
Figure 11. Comparaison de l'accélération angulaire en roulis entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode RMS	29
Figure 12. Comparaison de l'accélération angulaire en roulis entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode MAX	30
Figure 13. Comparaison de l'amplitude du tangage entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode RMS	32
Figure 14. Comparaison de l'amplitude du tangage entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode MAX	33
Figure 15. Comparaison de l'accélération angulaire en tangage entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode RMS	34
Figure 16. Comparaison de l'accélération angulaire en tangage entre le <i>Danie Martine</i> et le <i>Rudy LI</i> , selon la méthode MAX	35

Figure 17. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux caseyeurs de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes)	45
Figure 18. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux polyvalents de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes)	46
Figure 19. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux chalutiers de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes)	47
Figure 20. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux dragueurs de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes)	48

1. INTRODUCTION

Le Service de la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles de l'Organisation internationale du travail (OIT) estime que, dans le monde entier, 24 000 accidents mortels se produisent chaque année dans le secteur des pêches¹. Il ressort de la comparaison entre les statistiques des accidents mortels dans l'industrie halieutique et celles des autres catégories professionnelles que la pêche est l'un des métiers les plus dangereux (Petursdottir et coll. 2004). Au Canada, le nombre de décès est évalué à une personne par mois (Bussièrès, 2010).

À bord d'un navire, les tâches sont accomplies dans des conditions difficiles, sur une plateforme en mouvement, exposée aux intempéries et glissante, où les gens doivent souvent travailler dans des positions peu confortables. La conception, la construction, l'entretien et l'exploitation du navire ont tous une incidence directe sur la sécurité et la santé des travailleurs. Les risques varient selon le type de pêche, les fonds de pêche, les conditions météorologiques, la taille du navire, l'équipement et le travail de chaque pêcheur.

La mer est une surface mouvante et changeante et les activités de pêche obligent les navires à changer souvent de route et d'allure. Ces conditions vont affecter les mouvements du navire, lesquels sont dépendants de la stabilité propre à chaque navire. Cette stabilité peut être définie comme étant la propriété du navire à reprendre sa position originale après avoir subi (sens transversal ou longitudinal) une perturbation (vent, état de la mer, etc.). Quoique la stabilité du navire soit essentielle à sa sécurité, le bâtiment doit bien tenir la mer et être confortable pour l'équipage, de façon à prévenir les blessures (BST, 1998). De plus en plus, les pêcheurs cherchent à diminuer l'influence des mouvements de la plateforme de travail causés par l'état de la mer durant les opérations de pêche, et ce, pour des raisons de sécurité, de confort et de facilité d'exécution. Pour ce faire, des systèmes et des équipements ont été développés pour réduire le roulis, c'est-à-dire les mouvements latéraux de balancement et, dans une moindre mesure, les mouvements longitudinaux du navire causés par l'état de la mer. Parmi les systèmes ou les équipements les plus courants, mentionnons le réservoir d'amortissement, mieux connu sous le nom de « flume tank », les quilles de roulis, les paravanes, les ailerons à charnières et le bulbe d'étrave.

L'étude actuelle se concentrera sur le système le plus populaire au Québec, les paravanes, et celui en émergence, les ailerons à charnières². Ces deux systèmes ont chacun fait l'objet de la publication d'un bulletin de la Sécurité des navires de Transport Canada³.

¹ Selon un communiqué de presse de l'Organisation internationale du travail, paru le 13 décembre 1999. Repéré à http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_008856/lang--fr/index.htm. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].

² La description des termes techniques est présentée à l'annexe 2.

³ [Bulletin no. 15/2000](#) : Utilisation de systèmes d'amortissement de roulis à paravane (stabilisateurs à paravane), paru le 20 novembre 2000 et [Bulletin no. 04/2010](#) : Sécurité des bateaux de pêche : Ailerons à charnières comme dispositifs antiroulis, paru le 17 mai 2010.

2. RISQUES ASSOCIÉS À L'ACTIVITÉ DE PÊCHE AU QUÉBEC ET AU CANADA

En 2008, un peu plus de **2 800 pêcheurs** et aides-pêcheurs actifs assuraient les activités de capture en eau marine au Québec avec plus de **1 000 bateaux**. L'activité de capture se pratique le long des côtes ou en zones semi-hauturières. La pêche côtière occupe le plus grand nombre de pêcheurs. Elle permet de capturer une grande variété de poissons, de mollusques et de crustacés ainsi que la totalité des prises de homard.

2.1 La fréquence des accidents

Les risques d'accident dans le domaine de la pêche sont élevés. Au Canada, les petits bateaux de pêche ont le plus haut taux d'accidents maritimes au pays. Avec plus de 200 incidents signalés au Bureau de la sécurité des transports (BST) chaque année, les problèmes associés à ces incidents doivent être officiellement identifiés pour « améliorer la sécurité maritime et renverser cette tendance tragique »⁴.

De 2005 à 2009, au Canada, de 65 à 86 incidents ont été signalés annuellement à la Garde côtière canadienne (GCC), mettant en danger la vie de 16 à 37 personnes. En 2009, la GCC est intervenue dans 84 incidents officiellement signalés dans le domaine des pêches au pays. De ce nombre, neuf correspondaient à des situations de détresse avec 26 vies mises en danger et deux mortalités. Ces dernières sont justement survenues dans les eaux côtières québécoises, sur un bateau muni de paravanes. Pour les 4 années précédentes, heureusement, les 297 incidents répertoriés ne se sont pas traduits par des mortalités de pêcheurs canadiens (Audet, 2010).

Du côté de Transports Canada, on rapporte que de 1998 à 2007, plus de 2370 accidents ont impliqué des bateaux de pêche, dont 50 chavirements. Durant la même période, plus de 86 personnes ont perdu la vie, soit une moyenne annuelle de près de 10 Canadiens (Pelletier, 2010). Ces deux dernières données englobent les informations fournies par le BST et la GCC.

La comparaison du registre de sécurité de l'industrie des pêches avec les registres d'autres secteurs industriels montre que la pêche continue d'être l'activité la plus dangereuse, et ce, par une marge significative. En 1995-1996, selon le Marine Accident Investigation Branch (MAIB) au Royaume-Uni, il y a eu 77 blessures mortelles pour 100 000 pêcheurs par opposition à 23,2 dans les industries minières et de transformation (équarrissage) du bois, les deux autres secteurs les plus meurtriers. En outre, sur les 1418 accidents et incidents survenus en mer en 1999 et rapportés globalement au Royaume-Uni, 641 des cas venaient du secteur pêche (MAIB, 1999, cités par Pillay et Wang, 2003).

Au Québec, en 2010, le taux de cotisation au régime québécois d'indemnisation des accidents du travail et des maladies professionnelles pour la profession de pêcheurs était près de 4 fois plus élevé que celui de la moyenne des autres secteurs industriels, selon les statistiques de la

⁴ Selon un communiqué du Bureau de la sécurité des transports du Canada, no. M03/2009.

Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST, 2010). Or, ce taux est corrélé à l'évaluation du niveau de risques.

2.2 Les causes d'accidents

Dans la plupart des cas d'accidents pour les bateaux de pêche, l'information rapportée est incomplète, voire absente. Dans ce contexte, il est difficile d'évaluer les problèmes et l'efficacité des mesures d'amélioration (Loughran et coll. 2002, cité par Pillay et Wang, 2003). Les données dont on dispose montrent que ce sont les erreurs humaines, les équipements inadéquats et les conditions environnementales qui contribuent le plus à compromettre la sécurité des bateaux et des équipages.

Parmi les 6 causes principales identifiées, le chavirement est le plus meurtrier. Il est lié au manque de stabilité de l'embarcation en situation de pêche ou en déplacement, spécifiquement par mauvais temps. Dans ce dernier cas, les plus petits bateaux de pêche (moins de 12 m) sont les plus vulnérables.

3. ÉTAT DES CONNAISSANCES

3.1 Le système d'amortissement du roulis à paravanes

Dans les régions maritimes québécoises, environ les deux tiers des bateaux ou navires de pêche munis d'un système d'amortissement du roulis ont adopté les paravanes (figure 1). Ce système est composé d'espars qui débordent de chaque côté du navire et de paravanes immergées (pièces métalliques en forme d'aile delta, pesant parfois quelques centaines de kg) offrant une résistance verticale à l'eau et augmentant l'efficacité de l'effet antiroulis d'environ 45 % (Sterling et Klaka, 2007).



Figure 1. Système d'amortissement du roulis à paravanes.

Ce système est apparu, au début des années 80, sur les navires en fibre de verre qui éprouvaient certains problèmes de stabilité lorsqu'ils étaient légers. Il a été développé ou adapté par des architectes navals, construit et installé sur les bateaux, puis modifié par les capitaines, à leur initiative. Depuis, les espars ont été allongés, les paravanes sont devenues plus grosses et plus lourdes et les câbles de support ont été prolongés, permettant ainsi l'enfoncement plus important des paravanes dans l'eau, réduisant ainsi la fréquence de leur émergence.

L'utilisation de ce système a fait l'objet d'un bulletin de la Sécurité des navires (15/2000) émis par Transports Canada, qui prône une approche de précaution en absence de données objectives sur les risques inhérents à cette technologie en égard à une pêcherie donnée.

De prime abord, le système à paravanes présente beaucoup d'inconvénients et son utilisation implique plusieurs risques :

- Il ajoute du poids en hauteur, surtout lorsqu'il n'est pas déployé, ce qui contribue à élever le centre de gravité du bateau et à amplifier l'effet du roulis.

- Le fonctionnement en toute sécurité des paravanes dépend beaucoup de la vitesse du bateau et de la complémentarité de leur action à bâbord et à tribord, de sorte que le moment de redressement engendré par la traction descendante exercée d'un côté est synchronisé avec le roulis ascendant du bateau de l'autre côté. La rupture du bras ou la perte du paravane détruirait vraisemblablement le synchronisme et la complémentarité (BST, 1998), le système ne serait donc plus efficace, voire dangereux.
- Ce système possède beaucoup de pièces mobiles. Comme aucune norme ne régit directement sa construction et son installation, la fatigue des matériaux utilisés n'est pas prise en compte.
- Ce système entraîne d'autres contraintes opérationnelles (points d'attache nombreux, dépendance du système hydraulique, débordement hors coque, envergure variable et incontrôlable et difficulté à estimer la profondeur d'immersion des paravanes).

Des discussions tenues avec les pêcheurs indiquent que la plupart d'entre eux ont des craintes face à l'utilisation d'un tel système. Toutefois, la recherche du confort est importante et les espars, avec ou sans immersion des paravanes, sont déployés immédiatement après la sortie des ports de pêche, même si les conditions de navigation sont calmes. Cela a pour conséquence une usure de l'accastillage et des heurts fréquents des espars, conduisant à de la « fatigue mécanique » prématurée.

Le système d'amortissement du roulis à paravanes a entraîné des blessures sérieuses aux membres d'équipage, à divers moments de leur opération. Des bris structurels causés par les paravanes peuvent entraîner des conditions dangereuses (bris des vitres de la timonerie, coque et pont endommagés) pouvant conduire au naufrage.

3.2 Le système d'amortissement du roulis à ailerons à charnières

Depuis quelques années, un nouveau système d'amortissement du roulis a été adapté de la Nouvelle-Zélande : le système des ailerons à charnières, appelés populairement « ailerons de requin » (figure 2). Il a été introduit au Québec par l'entreprise Marinexpert Plus inc. de Gaspé, alors que les premiers navires ont été équipés par le Chantier Naval Forillon inc. de la même localité. D'autres entreprises de fabrication s'y sont mises depuis ce temps. Ainsi, le nombre de navires équipés d'un tel système montre une tendance à la hausse, pratiquement qualifiable « d'exponentielle ».

D'une relative simplicité d'utilisation, le système ne requiert que deux treuils hydrauliques et deux câbles d'acier pour la manœuvre des ailerons ainsi que deux tiges de retenue. Les ailerons sont fixés sur des charnières, de chaque côté de la coque, au niveau du bouchain, à une position permettant un enfoncement maximal sous la ligne de flottaison du navire. Ils peuvent être relevés le long de la muraille du navire s'ils ne sont pas utilisés. Ainsi, l'encombrement est minimum et le navire revient à sa condition de navigation originale.



Figure 2. Système d'amortissement du roulis de type ailerons à charnières.

La tige de retenue est fixée au bout de l'aileron et elle sert à le retenir en place lorsqu'il est déployé. De cette façon, l'aileron agit en retenue et en support. L'ensemble assure une rigidité au système grâce à sa forme triangulaire, les trois côtés étant la muraille du bateau, l'aileron et la tige de retenue.

L'intervention humaine est limitée à la mise en place des loquets de retenue. Ils sont localisés de façon à ne pas nuire à l'opération des engins de pêche. Les ailerons sont toujours fixés de façon rigide. Avec ces derniers, il n'y a donc pas de mouvement possible comme pour les paravanes qui sont retenus au bout de câbles ou de chaînes, leur permettant de sortir de l'eau et de venir heurter le navire ou ses occupants. Même lorsqu'on déploie les ailerons ou qu'on les ramène en position de rangement, les bras de retenue et les ailerons ont un parcours défini.

Toutes les informations acquises portent à croire que ces ailerons sont aussi, sinon plus, efficaces pour amortir le roulis. Étant donné que, contrairement aux paravanes, les deux ailerons à charnières agissent simultanément pour freiner le roulis, Helmore (2000) a calculé que, pour une surface immergée équivalente, la réduction du roulis pouvait être théoriquement quatre fois plus importante pour les bateaux de pêche australiens. Autres qualités, les ailerons apparaissent plus sécuritaires, plus simples d'utilisation et, toujours selon Helmore (2000), freineraient moins le navire que les paravanes. Les témoignages des premiers pêcheurs à avoir équipé leur bateau d'ailerons à charnières vont dans ce sens. Toutefois, ces avantages restent à démontrer lors de manœuvres en mer.

3.3 Les problèmes de sécurité

Au Québec, selon notre propre système de veille, il y avait eu, de 2003 à 2010, période au cours de laquelle les dispositifs d'ailerons à charnières ont été introduits, au moins une douzaine d'incidents-accidents impliquant des bateaux équipés de paravanes et un seul cas pour ceux équipés d'ailerons à charnières. Voici quelques exemples recueillis auprès des pêcheurs et synthétiquement reformulés :

- Un navire a chaviré en route avec les paravanes relevés, faisant deux morts.

- Par mauvais temps, le bras tribord est entré sous l'eau et l'attache de l'étau avant s'est arrachée de l'étrave. En pénétrant dans l'eau, le bras a arraché le plat bord du navire et un paravane a été perdu. Le navire a pris l'eau mettant l'équipage en danger.
- Un support de système, modifié et affaibli, a cédé par temps clément. L'un des paravanes est passé à travers une fenêtre de la timonerie, ratant de peu le capitaine à son poste de manœuvre arrière.
- En manœuvrant par temps calme sur une ligne de casiers, un paravane est sorti de l'eau et est venu heurter le toit de la timonerie avant de retomber à la mer. Aucun dégât majeur n'a été causé, mais de nombreux questionnements sont apparus chez le propriétaire.
- En débarquant des équipements, une grue a heurté un des bras du système de paravanes, brisant une soudure. Cet incident remet en cause la conception de ce système, en démontrant qu'il n'y avait pas de renforts aux endroits stratégiques.
- Un paravane a défoncé la coque d'un navire, un pied au-dessus de la ligne d'eau, dans le compartiment moteur.
- Un chalutier a vu son mât arraché à la suite d'une tension trop forte causée par le système à paravanes.
- En opération de pêche, en route entre deux levées de casiers à crabe, un paravane a émergé subitement pour venir buter contre le pavois du bateau, à moins de 10 cm du carreau, alors qu'un homme de pont était sur la trajectoire du dispositif.
- Un navire faisait route libre vers les Îles-de-la-Madeleine, chargé de crabe; au sud de l'Île-d'Anticosti, le câble de soutien principal entre la tête du mât et celle de l'espar tribord a cédé, entraînant le bris de ce dernier. Tout le gréement a été remorqué périlleusement jusqu'au quai.

En ce qui a trait au système d'ailerons à charnières, un seul incident mineur a été signalé hors navigation : le navire, fraîchement équipé, était accosté au quai, la météo était mauvaise, aucune protection adéquate n'empêchait l'aileron de frotter sur le quai. Comme résultat, les soudures sur les supports d'aileron ont cédé et il semble que le câble de relevage a été endommagé.

4. OBJECTIFS DE RECHERCHE

4.1 Objectif général et sous-objectifs

L'objectif général de la présente recherche est l'évaluation du système antiroulis à ailerons à charnières au regard de la sécurité des bateaux, du confort des équipages et de la performance sur le plan de l'efficacité énergétique. Les sous-objectifs sont les suivants :

1. Inventorier les systèmes d'amortissement du roulis des navires de pêche semi-hauturière en opération au Québec.
2. Réaliser une enquête pour mesurer le degré de satisfaction des pêcheurs qui utilisent les ailerons à charnières comme système d'amortissement du roulis en matière d'opération et de sécurité.
3. Procéder à des tests comparatifs de performance en mer de deux crabiers jumeaux équipés des deux systèmes d'amortissement du roulis – un à paravanes et l'autre à ailerons à charnières. Ces deux systèmes étant actuellement les plus utilisés sur les bateaux de pêche semi-hauturière, ce sous-objectif peut être qualifié de majeur.

5. MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

5.1 L'inventaire des systèmes d'amortissement du roulis

Dans un premier temps, il s'agissait de dresser un inventaire des systèmes d'amortissement du roulis existants sur la flotte de pêche semi-hauturière en opération au Québec avec une attention particulière aux systèmes à paravanes et à ailerons à charnières.

Pour ce faire, différentes sources d'informations ont été utilisées : Transports Canada, Pêches et Océans Canada et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (nom du bateau, immatriculation, types de pêche réalisée, etc.). En complément, l'équipe a réalisé, en 2010, une tournée des principaux parcs de bateaux des régions maritimes du Québec (Newport, Sandy Beach, Rivière-au-Renard, Tourelle, Matane, Rimouski, Baie-Comeau, Sept-Îles, Havre-Saint-Pierre, Rivière-au-Tonnerre ainsi que ceux des Iles-de-la-Madeleine).

5.2 Enquête auprès des pêcheurs

Par la suite, des utilisateurs du système d'amortissement du roulis de type ailerons à charnières ont été rencontrés pour discuter des principales problématiques en ce qui a trait aux opérations et surtout à la sécurité.

Un guide technique détaillé d'entrevue a été développé spécifiquement à l'intention des opérateurs de bateaux ayant effectué au moins une saison de pêche avec un système de réduction de roulis avec ailerons à charnières. Toutes les entrevues ont été réalisées avec les opérateurs entre décembre 2010 et février 2011. Elles avaient pour but de décrire les caractéristiques techniques des systèmes d'ailerons à charnières installés sur chaque bateau. De plus, le guide d'entrevue comportait une section (8 questions) portant sur la sécurité et le confort à bord. Sur ces derniers thèmes, les pêcheurs devaient exprimer leur satisfaction en regard des questions suivantes :

1. Quelle est votre degré de satisfaction générale envers le système d'ailerons à charnières comparativement au système à paravanes?
2. Comparativement aux paravanes, quelle est votre appréciation sur les opérations nécessaires pour déployer les ailerons à charnières?
3. Les manœuvres du bateau lors des opérations de pêche sont-elles simplifiées comparativement à celles nécessaires avec le système à paravanes?
4. Les manœuvres au port sont-elles plus simples comparativement à celles exécutées avec le système à paravanes?
5. La manœuvre du navire en route libre est-elle simplifiée comparativement à celle exécutée avec le système à paravanes?

6. Quelle est votre degré de satisfaction générale en matière de consommation de carburant imputable au système à ailerons à charnières comparativement à celle imputable au système à paravanes?
7. En comparaison avec le système à paravanes, l'utilisation du système à ailerons à charnières améliore-t-elle les conditions de travail à bord?
8. Suivant notre discussion, maintenez-vous votre évaluation du degré de satisfaction générale du système d'ailerons à charnières en comparaison avec le système à paravanes?

Un système de pointage a été élaboré dans le but d'obtenir des données quantifiables concernant la facilité d'opération et la sécurité. Il comptait 5 degrés : 1. nulle; 2. faible; 3. moyenne; 4. bonne et 5. excellente. Seize pêcheurs sur une possibilité de 30 ont été rencontrés par le spécialiste technique de l'équipe scientifique durant le temps qui avait été prévu pour cette partie de la recherche.

5.3 Les navires

Deux navires semblables, possédant le même équipement de pont et pratiquant la même pêche, ont été sélectionnés aux fins des tests en mer. Ces navires sont des crabiers de conception Mailloux Desgagnés opérant à partir du port de Ste-Thérèse de Gaspé. Ils ont été construits par le Chantier Naval Forillon inc., à Gaspé, en 1994. Ils ont été modifiés en 2004 par l'allongement de la coque. Tous deux sont munis d'un moteur Cummins de 500 hp avec une transmission MG 516. Leur tonnage est identique : 73,87 de jauge brute et 55,40 de jauge nette. Le *Rudy L1* (RL) possède le système à ailerons à charnières depuis 2007; alors que le *Danie Martine* (DM) est muni d'un système à paravanes (figure 3).



Figure 3. Le *Rudy L1* et le *Danie Martine*.

5.4 Les essais en mer

Les essais en mer ont été réalisés sur deux saisons de pêche : 2009 et 2010. La saison de pêche au printemps de 2009 a fait l'objet d'une expérience préliminaire de 5 jours en mer. Celle-ci a permis d'appréhender des variables jusque-là inconnues sur des bateaux de pêche en situation commerciale. Elle nous a permis de calibrer les instruments, de roder le protocole expérimental et de familiariser les pêcheurs aux différents instruments de mesure. L'analyse porte donc sur les données acquises en 2010, soit les 27 mai, 1^{er} juin et 3 juin.

Quotidiennement, le programme expérimental comportait 21 essais de 15 minutes chacun (tableau 1). Les bateaux jumeaux suivaient des routes similaires et parallèles. Ils voguaient côte à côte, à une distance estimée de 150 à 200 mètres, permettant d'éviter le sillage du second bateau, tout en remplissant des conditions environnementales homogènes.

En début de journée, lors du départ du port, les conditions météo étaient notées (vitesse, direction et force du vent, ainsi que hauteur de vague). Tout au long de la journée, tous changements étaient inscrits sur la fiche d'observation. Lors des essais comparatifs, les données étaient automatiquement enregistrées par les instruments de mesure.

Un observateur était à bord de chaque bateau pour la prise de données manuscrites. Au début d'un essai ainsi qu'au milieu ($t = 7,50$ minutes), différentes observations étaient notées : la direction et la force du vent, l'état de la mer (échelle de Beaufort), la route et la vitesse du navire. Ces données manuelles permettaient, par concordance, d'identifier si les appareils enregistraient automatiquement des données apparemment valides.

Tout au long des journées d'essais en mer, des séquences vidéos et des photos ont été prises dans le but de documenter chacune des étapes de déploiement des systèmes. Aussi, tout évènement hors du commun était filmé.

Tableau 1. Plan d'échantillonnage journalier des essais comparatifs en mer.

Essais	Systèmes verticaux (SV)	Systèmes semi- déployés (SSD)	Systèmes immergés (SI)
1	Arrêt		
2		Arrêt	
3			Arrêt
4	Vent de face Demi-vitesse		
5	Vent de travers Demi-vitesse		
6	Vent arrière Demi-vitesse		
7	Vent de face Pleine vitesse		
8	Vent de travers Pleine vitesse		
9	Vent arrière Pleine vitesse		
10		Vent de face Demi-vitesse	
11		Vent de travers Demi-vitesse	
12		Vent arrière Demi-vitesse	
13		Vent de face Pleine vitesse	
14		Vent de travers Pleine vitesse	
15		Vent arrière Pleine vitesse	
16			Vent de face Demi-vitesse
17			Vent de travers Demi-vitesse
18			Vent arrière Demi-vitesse
19			Vent de face Pleine vitesse
20			Vent de travers Pleine vitesse
21			Vent arrière Pleine vitesse

5.5 Les conditions expérimentales

La méthode utilisée consistait à comparer des variables de comportement du bateau en fonction des facteurs environnementaux (orientation et force du vent) et des facteurs imposés par l'expérimentateur (position des systèmes d'amortissement du roulis, vitesse du navire et orientation du navire par rapport au vent), sur deux crabiers possédant des coques semblables et des systèmes d'amortissement différents. Les conditions expérimentales étaient les suivantes :

Condition météo (vitesse du vent)

- Temps calme, moins de 10 nœuds (X)
- Temps modéré, 10-20 nœuds (Y)
- Temps agité, 20 nœuds et plus (Z)

Position des systèmes antiroulis

- Relevés, en position verticale (1)
- Espars déployés seulement sans immersion des paravanes ou 1 seul aileron déployé et immergé (2)
- Déployés - paravanes à l'eau et 2 ailerons déployés (3)

Vitesse du navire

- Arrêt (A)
- Vitesse moyenne (6 nœuds) (B)
- Vitesse élevée (9-10 nœuds) (C)

Orientation du bateau par rapport au vent dominant

- Vent de face (VF)
- Vent de travers (VT)
- Vent arrière (VA)

5.6 Les instruments de mesure

Plusieurs instruments ont été déployés sur les deux navires pour enregistrer les conditions météo en temps réel, les mouvements latéraux et longitudinaux du navire, la propulsion, la route et la vitesse du navire. Dans le cadre de ce projet, OpDAQ Systèmes a développé un système de monitoring spécialisé. Ce système, utilisant la plateforme d'acquisition d'OpDAQ Systèmes, intègre simultanément les mesures provenant des quatre instruments suivants :

- Centrale inertielle Xsens (figure 4A) qui enregistre les mouvements du navire selon un système d'axe tridimensionnel (figure 5).

Paramètres mesurés : la position angulaire, la direction et la vitesse du bateau par rapport au fond (sol) au moyen du système de localisation GPS.

- Anémomètre R.M.Young (figure 4B)
Paramètres mesurés : vitesse et direction relatives du vent.
- Indicateur de torque Binsfeld
Paramètre mesuré : torque (couple) transmis à l'hélice.
- Indicateur de vitesse
Paramètre mesuré : vitesse de rotation de l'arbre porte-hélice.



A. Centrale inertielle, fixée au plafond de la timonerie de chacun des deux crabiers.



B. Anémomètre.

Figure 4. Instruments utilisés pour l'enregistrement des données lors des essais en mer.

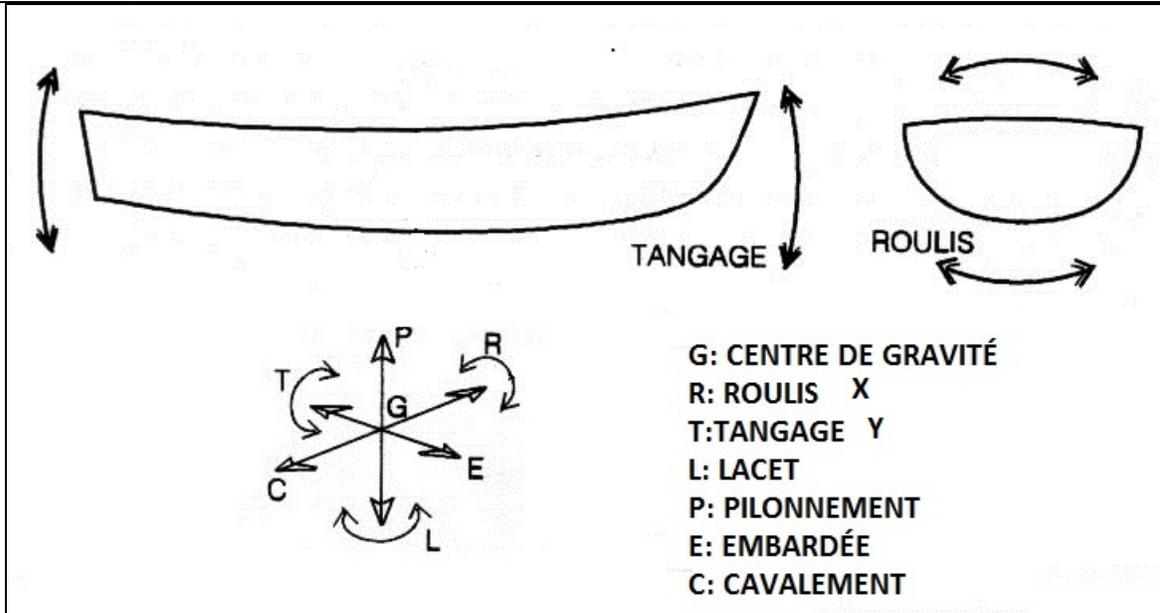


Figure 5. Les mouvements du navire en fonction de l'état de la mer.

Les données provenant de ces instruments étaient enregistrées dans des fichiers journaliers avec un taux d'échantillonnage de 4 Hz. Les données ainsi acquises ont été analysées pour évaluer l'efficacité et l'impact sur les opérations des systèmes de réduction de roulis pour les navires de pêches. OpDAQ Systèmes a aussi développé des logiciels d'analyse de ces données afin de produire des tableaux simplifiés, à partir desquels les analyses descriptives et quantitatives ont été exécutées.

Tous les instruments de mesure décrits précédemment étaient reliés les uns aux autres pour permettre l'acquisition synchrone des données. Les variables retenues aux fins de l'analyse étaient : le roulis (X) et le tangage (Y) sur le plan de l'angle et de l'accélération, l'énergie liée à la propulsion du bateau (E), ainsi que la vitesse du bateau par rapport au fond (SOG). La direction du vent par rapport à celle de la course des navires a été notée par les observateurs et a été utilisée *a posteriori* parce que les données acquises au moyen des anémomètres n'étaient pas fiables. Par la suite, la direction du vent notée a été corroborée par les observations météorologiques obtenues d'Environnement Canada pour la station de Cap d'Espoir située à proximité de la zone expérimentale.

5.7 Les méthodes d'analyse des données

5.7.1 Traitement des signaux

Les données de **mouvements** --- déplacements et accélérations angulaires en roulis [X] et tangage [Y] --- recueillies lors de chacun des essais en mer, ont été posttraitées à l'aide de deux méthodes, soit :

- La moyenne des 20 valeurs maximales (Méthode MAX)

Cette méthode a permis d'évaluer les situations extrêmes de mouvement qui causaient le plus d'inconfort pour les marins pendant un essai.

- La valeur efficace (Méthode RMS pour Root Mean Square)

Cette méthode a permis de considérer l'ensemble des données de chacun des essais et ainsi d'évaluer l'effet de la mer sur le mouvement du navire (4 enregistrements par seconde sur une période de 15 minutes pour un total de 3600 données). Cette méthode fut utilisée afin de valider la variation entre l'état extrême et l'état général. Elle s'applique bien en physique des ondes pour décrire les mouvements de type sinusoïdal comme la houle ou les vagues.

La figure 6 présente les étapes du traitement des données de position par le logiciel d'analyse STAB, logiciel maison développé par l'entreprise OpDAQ Systèmes. Les signaux de position angulaire ont d'abord été traités avec un filtre de type Savitzky-Golay [S-G] afin d'éliminer le bruit contenu dans le signal.⁵ Cette méthode permet de lisser les données afin de faire ressortir l'allure dominante du signal à l'aide d'une régression polynomiale. L'avantage principal de cette approche est qu'elle tend à préserver les traits de la distribution analysée comme les maxima et minima relatifs et la largeur des pics habituellement aplatis par d'autres méthodes de techniques de filtration simple comme les moyennes mobiles.

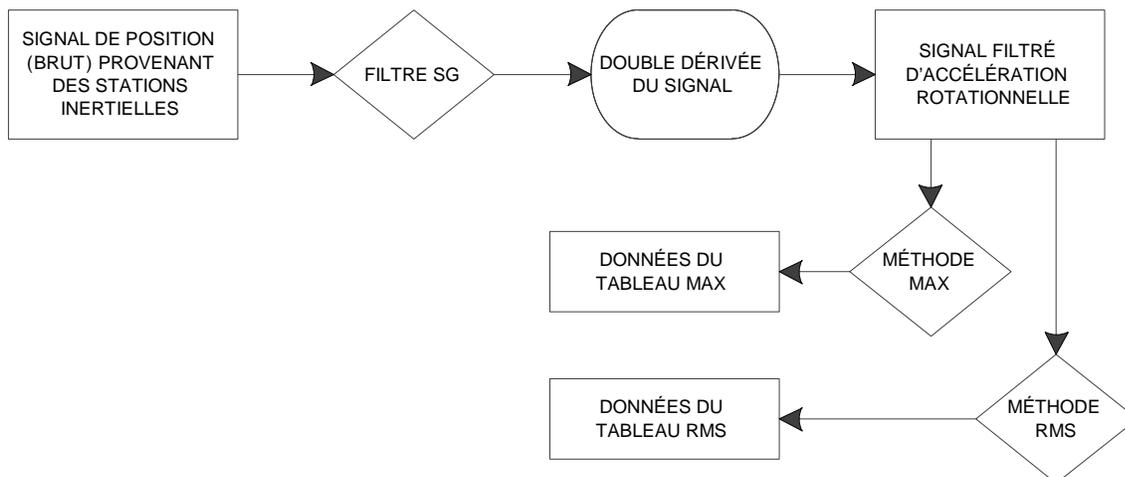


Figure 6. Étapes de traitement des données de position recueillies lors des essais en mer.

Dans le cas de l'analyse MAX, l'ajustement a été fait avec une fenêtre de 19 points, laquelle est adéquate pour lisser le signal formé d'une succession de pics basés sur la sélection des valeurs maximales des positions angulaires enregistrées par la centrale inertielle. En ce qui a trait à la méthode RMS, le lissage s'est fait avec une fenêtre de 5 points, plus permissive, puisque les données de position angulaire avaient été transformées (Root Mean Square), d'où un signal sinusoïdal préalablement établi.

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Savitzky%E2%80%93Golay_smoothing_filter, [Dernière consultation : 3 février 2013].

Afin d'obtenir les valeurs d'accélération angulaire ($\text{degré} \cdot \text{sec}^{-2}$), les signaux de position angulaire ont subi une double dérivée (figure 6). Ce sont ces valeurs, de même que celles sur la position angulaire, qui ont servi à la production des tableaux de données pour l'analyse statistique.

Les données de **consommation d'énergie** ont été traitées en calculant l'énergie totale requise pour effectuer le transit d'essai. Le transit d'essai étant défini comme le déplacement du bateau concerné pendant 15 minutes dans une direction établie. Considérant que l'énergie consommée se calcule par le produit de la puissance instantanée et du temps, on calcule l'énergie consommée par intervalle en multipliant la puissance moyenne par le temps. La puissance à l'arbre a été obtenue en combinant les valeurs mesurées par l'indicateur de torque et l'indicateur de vitesse selon la formule suivante :

$$P = \tau * \omega$$

où :

P : Puissance à l'arbre (Watts)

τ : Couple à l'arbre (shaft torque) (Newton * mètre)

ω : Vitesse angulaire de l'arbre (radians/seconde)

Note : Facteur de conversion de tours/minute à radians/seconde : $2\pi/60$

L'énergie utilisée est directement proportionnelle à la consommation de carburant par transit selon l'équation suivante :

$$\text{Énergie} = \int_{t=0}^{15 \text{ min}} P * dt$$

5.7.2 Analyse statistique des données

Les données de position angulaire et d'accélération, tant RMS que MAX, ont vu leur moyenne et leur écart-type établis pour les 3 jours et les 21 conditions de navigation et de déploiement des systèmes de réduction de roulis du *Danie Martine* comme de celui du *Rudy LI*.

Les séries ont été reportées deux à deux (*Danie Martine* vs *Rudy LI*) sur des graphiques cartésiens, où les conditions de navigation et de déploiement étaient illustrées, afin de montrer quel navire était le plus avantageux pour une combinaison donnée de paramètres, en utilisant le *Danie Martine* comme base de référence (figures 9 à 16).

Par la suite, une comparaison statistique de l'amplitude et de l'accélération des mouvements des deux navires en déplacement, avec leur système d'amortissement du roulis respectif immergé (essais 16 à 21), a été réalisée puisqu'il s'agit de la condition qui semble importer le plus aux yeux des pêcheurs, des fabricants et des organismes de réglementation (tableau 2).

Tableau 2. Énumération des variables (8) pour lesquelles des comparaisons statistiques ont été réalisées entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*.

Variable	Roulis (axe X)		Tangage (axe Y)	
Amplitude	RMS	MAX	RMS	MAX
Accélération rotationnelle	RMS	MAX	RMS	MAX

Un test de Kolmogorov-Smirnov ($p \geq 0,20$; d.d.l.=16) a été utilisé afin de vérifier la normalité des distributions continues des valeurs moyennes ainsi obtenues pour chaque variable. Si la réponse était positive, un test de F était employé pour vérifier leur homogénéité. Si c'était le cas, un test-*t* de Student était appliqué aux données appariées pour chacune des 6 conditions de navigation, pour déterminer si l'ensemble des moyennes différait significativement. Autrement, le test non paramétrique équivalent, le test de Wilcoxon était utilisé. Tous ces tests ont été effectués à l'aide du logiciel WinSTAT pour tableur EXCEL. Le seuil de signification accepté pour tous ces tests était de 0,05.

Une approche différente a été adoptée pour comparer la consommation d'énergie entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*. D'abord, la vitesse de déplacement des deux navires a été comparée deux à deux pour l'ensemble des essais. Si la différence de vitesse était inférieure à 0,2 nœud, elle était considérée équivalente. Les valeurs de consommation d'énergie obtenues selon la méthode décrite antérieurement (section 5.7.1) sont présentées au tableau 4.

Une différence relative de moins de 10 % était considérée équivalente alors qu'il y avait un avantage net pour l'un ou l'autre des navires, si la réduction de consommation d'énergie était égale ou plus importante que 10 %. Un système de couleurs à trois intensités a été adopté pour illustrer les conditions où un navire était avantagé :

- Gris très pâle = équivalent;
- Gris moyen = avantage Danie Martine, avec paravanes;
- Noir = avantage Rudy L1, avec ailerons à charnières.

6. RÉSULTATS

6.1 Inventaire de la flotte et ses équipements de réduction de roulis

En 2010, le nombre total de bateaux de pêche de plus de 15 tonnes de jauge brute était estimé à 292 unités (figure 7). Les caseyeurs, utilisés surtout pour la pêche au crabe des neiges, représentaient plus de 44 % des bateaux de cette catégorie. Ils étaient suivis des bateaux de pêche polyvalents (26 %), lesquels sont utilisés pour plus d'une pêche, notamment celle aux poissons de fond comme le flétan du Groenland. Venaient ensuite les chalutiers avec 24 %, ceux-ci étant surtout des crevettiers. Les dragueurs à pétoncle fermaient la marche et comptaient pour 6 % de l'ensemble des bateaux de pêche de plus de 15 tonnes de jauge.

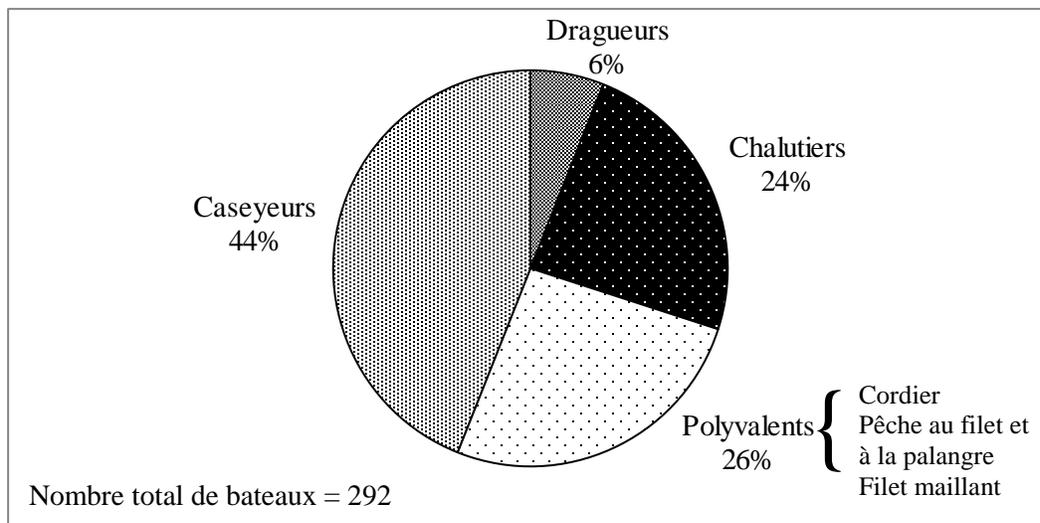


Figure 7. Répartition relative des diverses flottes de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes), 2010.

De ces 292 bateaux, près des trois quarts étaient équipés d'au moins un système d'amortissement du roulis, tandis que le reste en était dépourvu (figure 8). La moitié de la flotte était équipée de paravanes. Les bateaux équipés d'ailerons à charnières venaient en second lieu avec 11 % des unités de la flotte, malgré leur apparition relativement récente. Technologie plus ancienne, les ailerons de bouchain étaient présents sur 9 % des bateaux de plus de 15 tonnes de jauge brute. Les bateaux de pêche avec ailerons de quille ou avec caisses de compensation étaient beaucoup plus rares avec, respectivement, 2 et 1 % des unités.

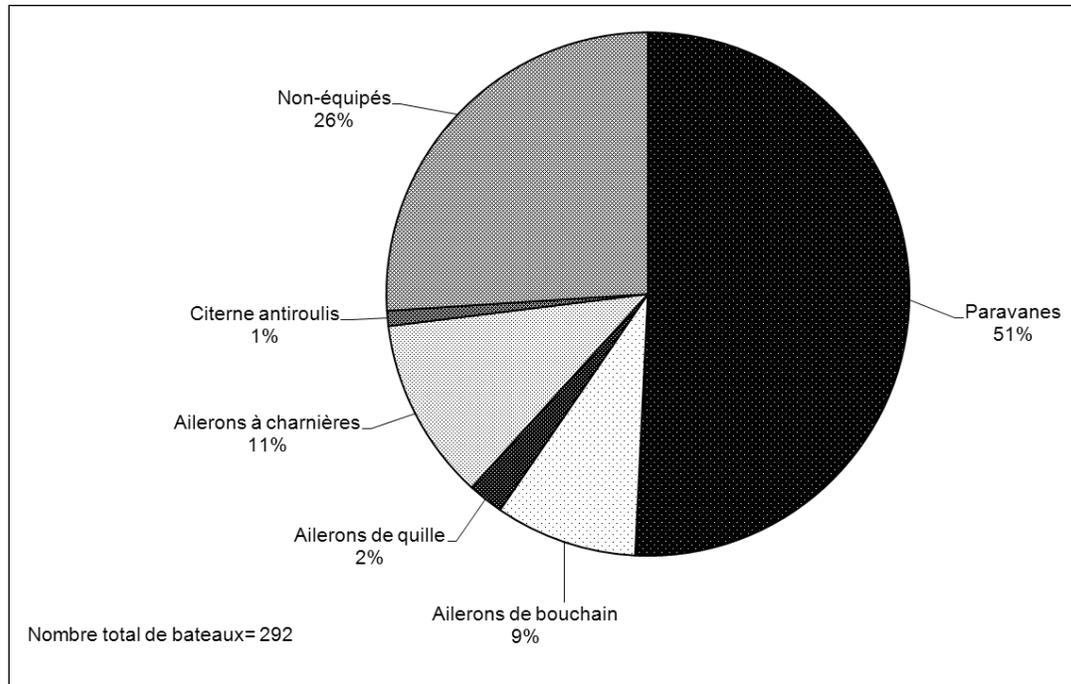


Figure 8. Répartition des systèmes d'amortissement du roulis dans la flotte de pêche commerciale maritime du Québec, 2010.

Ce portrait général peut être nuancé si l'on examine la répartition des systèmes d'amortissement du roulis par flotte de pêche. Les annexes 1 à 4 présentent la répartition des systèmes d'amortissement pour les caseyeurs, les polyvalents, les chalutiers et les dragueurs.

Sur le plan de l'inventaire, nous n'avons pas jugé opportun d'analyser les résultats en détail, car il n'y a pas d'hypothèse scientifique qui peut expliquer la répartition des systèmes d'amortissement du roulis parmi la flotte. Notre propos est de présenter l'importance relative des flottes par pêcherie et, subséquemment, la répartition des principaux systèmes d'amortissement du roulis dans l'ensemble, ainsi que par flotte. La diversité des types de bateaux est implicitement liée aux caractéristiques des pêcheries concernées (lieux, saison, distance de la côte, gestion de la ressource, rendement économique, etc.).

Au mieux, la dominance du système à paravanes est simplement expliquée par le fait, présenté antérieurement, que celui-ci a été introduit au Québec dans les années 1980, alors que les ailerons à charnières sont apparus depuis le milieu de la décennie 2000-2010, à l'initiative du Chantier Naval Forillon inc. Auparavant, les pêcheurs ignoraient l'existence du second système.

Dans les années 1980, sachant que la quille de roulis ne réduirait celui-ci que de 20 %, les pêcheurs québécois étaient à la recherche d'un système plus performant afin d'améliorer le confort en mer, d'où l'émergence et l'accroissement du nombre d'unités pourvues de paravanes. Ces dernières étaient reconnues comme étant plus efficaces, avec un taux de réduction du roulis pouvant atteindre jusqu'à 45 % (Sterling et Klaka, 2007).

6.2 Évaluation de la satisfaction des pêcheurs naviguant sur des bateaux équipés d'ailerons à charnières

Le degré de satisfaction des pêcheurs naviguant sur des bateaux équipés d'ailerons à charnières est présenté dans le tableau 3. Pour tous les sujets abordés, sauf celui de la consommation d'énergie, les pêcheurs considéraient le système bon ou excellent. En effet, en termes de consommation d'énergie, trois pêcheurs ont déclaré avoir une satisfaction moyenne à nulle, à l'égard de leur bateau équipé d'ailerons à charnières. Le quart des pêcheurs évaluait leur satisfaction comme étant bonne, alors que la moitié d'entre eux l'ont qualifiée d'excellente.

En ce qui a trait à la satisfaction générale, on note que celle-ci était plutôt grande en début d'entrevue (question 1), alors que onze pêcheurs sur seize la qualifiaient d'excellente. Or, à la fin de l'entrevue (question 8), après la réflexion suscitée par les questions intermédiaires, trois de ces onze pêcheurs avaient revu à la baisse leur estimation en qualifiant leur degré de satisfaction générale de plutôt bon.

Tableau 3. Évaluation de la satisfaction des pêcheurs naviguant sur des bateaux équipés d'ailerons à charnières (questions présentées selon l'ordre de l'entrevue).

	Degré de satisfaction				
	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
Satisfaction générale (début)			1	4	11
Facilité de mise en position				1	14
Manœuvre pendant la pêche				3	13
Manœuvre au port			2	4	10
Manœuvre pendant le trajet				3	13
Consommation de carburant	1	1	1	4	8
Amélioration des conditions de travail				4	12
Satisfaction générale (fin)		1		7	8

Afin d'appuyer ces chiffres, nous présentons certains des commentaires les plus significatifs des capitaines opérateurs interviewés :

- « Le navire réagit mieux à la gouverne, la gîte est très limitée lors des virements de bord et ils sont plus rapides (manœuvre en route) ». *Capitaine du bateau no.1*
- « Je trouve les paravanes plus efficaces dans certaines conditions, mais je ne reviendrais pas à ce système ». *Capitaine du bateau no.2*
- « Par contre, beaucoup plus facile et sécuritaire à mettre en œuvre comparativement aux paravanes ». *Capitaine du bateau no.3*

- « Les ailerons diminuent moins la vitesse du navire que les paravanes ». *Capitaine du bateau no.3*
- « Il est possible de travailler avec seulement un aileron déployé ». *Capitaine du bateau no.3*
- « J'envisage le remplacement des rails de guidage par support pivot, considéré plus facile d'opération ». *Capitaine du bateau no.10*
- « L'ajout de ce système de limitation de roulis est apprécié, les mouvements latéraux du navire sont ralentis, la stabilité du navire est très forte, les moments de retours sont très rapides, les ailerons les ont ralentis, le bateau est plus confortable ». *Capitaine du bateau no.11*
- « Le navire est plus difficile à gouverner par mer arrière, lors de la mise à l'eau de la palangre. Dû à la stabilité du navire engendrée par les ailerons, sa vitesse est plus grande, nous devons habituellement casser son erre par l'embrayage du moteur à reculons pour ralentir son allure ». *Capitaine du bateau no.12*
- « La vitesse du navire a diminué de 2,5 nœuds de plus qu'avec les paravanes même en position relevée, la vitesse est réduite ». *Capitaine du bateau no.13*
- « J'évalue ma perte de vitesse à moins de 1 nœud avec les ailerons, beaucoup moins qu'avec les paravanes ». *Capitaine du bateau no.14*
- « Il était pour moi impératif de me soustraire du système de paravanes, que j'ai bien apprécié, toujours trouvé dangereux; et c'est après un de ces incidents que j'ai décidé de changer de système ». *Capitaine du bateau no.15*
- « Système plus simple, pas de poids en hauteur ». *Capitaine du bateau no.15*
- « En condition légère, le navire arrose légèrement ». *Capitaine du bateau no.16*

6.3 Évaluation expérimentale des performances en mer du *Rudy L1* (ailerons à charnières) et du *Danie Martine* (paravanes)

6.3.1 Effet sur le roulis

Amplitude du roulis

L'amplitude du roulis, dérivé de la méthode RMS, varie de 1 à 6 degrés pour les 21 conditions testées en mer (figure 9). Pour le *Rudy L1*, les angles sont constamment supérieurs à ceux enregistrés pour le *Danie Martine*, l'écart variant de 2 à 4 degrés. Lorsque le *Rudy L1* et le *Danie Martine* sont en mouvement avec immersion de leurs systèmes d'amortissement du roulis, la comparaison statistique (test t sur les données appariées, essais 16 à 21) montre que cette différence est fortement significative ($N= 17$; $p=0,0000$).

À bord du *Rudy L1*, l'amplitude du roulis s'accroît lorsqu'un seul aileron est immergé (essais

10 à 15), notamment à pleine vitesse. Si les ailerons à charnières sont en position verticale, relevés le long de la muraille (essais 4 à 9), les angles enregistrés prennent des valeurs intermédiaires. Le patron des angles de roulis enregistrés par le *Danie Martine* se calque assez bien sur celui du *Rudy LI*. L'exception est la série d'essais (10 à 16) où les espars sont déployés symétriquement, de part et d'autre du bateau, sans que les paravanes soient immergés. Dans ces cas, les valeurs d'angles restent comparables à celles observées lorsque les paravanes sont immergés (essais 16 à 21). Enfin, en dérive, l'effet de l'immersion des systèmes d'amortissement du roulis est nettement visible, notamment pour le *Rudy LI*, dont l'amplitude moyenne de roulis passe de 5,5 à 3,8 degrés, une diminution relative d'environ 40 %, alors que le déploiement d'un seul aileron réduit l'amplitude du mouvement à 4,7 degrés, c'est-à-dire de quelque 17 %.

L'amplitude du roulis, dérivé de la méthode MAX, est *de facto* supérieure à celle obtenue avec la méthode RMS (figure 10). La distribution des points du graphique présente une allure analogue à celle de la méthode RMS, à quelques exceptions près. Toutefois, ces angles sont de 2 à 3 fois plus importants que les précédents, variant le plus souvent de 4 à 12 degrés. Lorsque le *Rudy LI* déploie ses ailerons à charnières à pleine vitesse (essais 19 à 21), les valeurs de l'amplitude du roulis sont à leur minimum (6 à 8 degrés selon la direction du vent) et ont tendance à se rapprocher de celles enregistrées sur le *Danie Martine* avec paravanes immergés. Il arrive même que les valeurs observées sur le *Rudy LI* soient moindres (essai 17). Toutefois, la différence, généralement en faveur du *Danie Martine*, est très significative (test *t* apparié : $N=17$; $p=0,0000$). En dérive, l'effet de la mise en place des deux systèmes est analogue à celui observé par la méthode RMS alors que les valeurs extrêmes de roulis s'atténuent significativement.

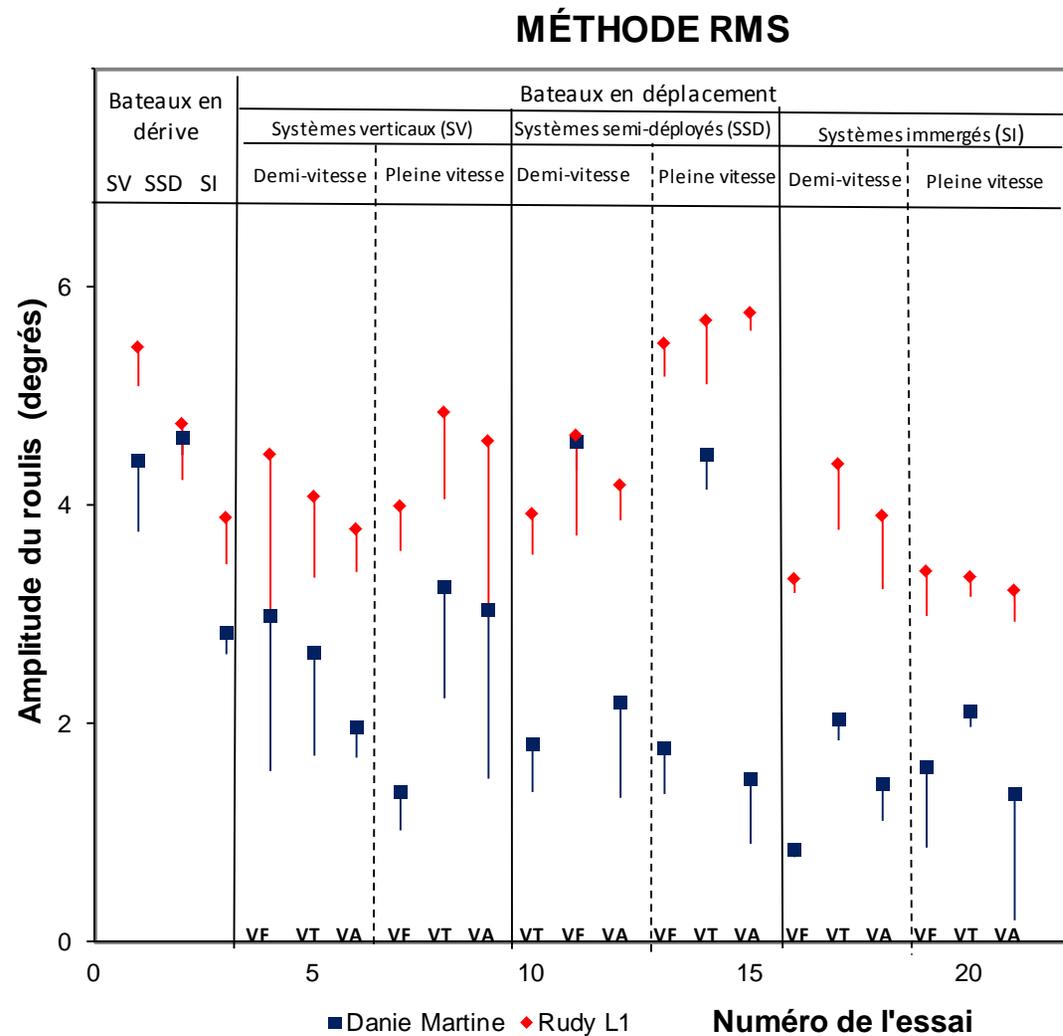


Figure 9. Comparaison de l'amplitude du roulis entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode RMS.

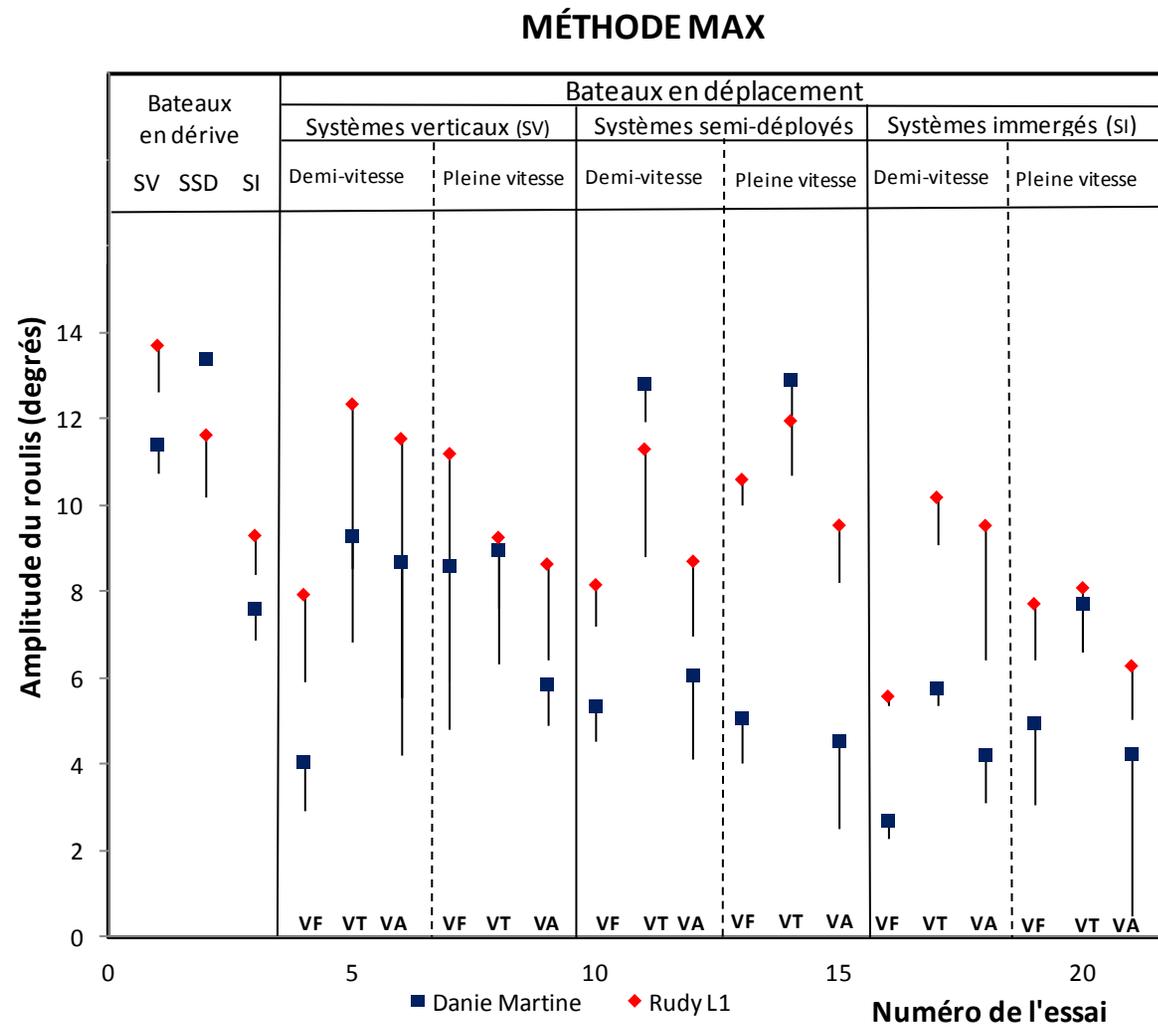


Figure 10. Comparaison de l'amplitude du roulis entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode MAX.

Accélération angulaire en roulis

Sur le plan de l'accélération angulaire en roulis (accélération autour de l'axe X), selon la méthode RMS, le portrait général est plus varié (figure 11). En effet, lorsque les systèmes d'amortissement du roulis sont positionnés à la verticale ou semi-déployés (essais 4 à 15), on observe une alternance aléatoire des valeurs observées pour les deux bateaux.

Par ailleurs, comme pour l'amplitude du roulis, les valeurs moyennes sont moindres lorsque les bateaux se déplacent avec leurs systèmes d'amortissement du roulis déployés (essais 16 à 21). Dans ces conditions, les accélérations observées sur le *Rudy LI* ont tendance à se rapprocher de celles du *Danie Martine*. Elles demeurent plus fortes, bien que la différence s'atténue (test t apparié : $N=17$; $p=0,003$), notamment à pleine vitesse.

En vertu de la méthode MAX, l'accélération angulaire en roulis ne suit pas un patron défini, les valeurs du *Rudy LI* étant parfois supérieures à celles du *Danie Martine* et vice versa, et ce, dans toutes les conditions de déploiement testées (figure 12). Lorsque les bateaux se déplacent avec leur système d'amortissement du roulis immergé, les accélérations dérivées sont plus ou moins semblables à celles obtenues pour les autres conditions de déploiement.

Au plan statistique, la différence entre les deux bateaux est significative (test t apparié : $N=17$; $p=0,001$), les données proviennent de deux populations aléatoirement différentes. À l'instar de la méthode RMS, le test indique que les accélérations mesurées sur le *Rudy LI* sont supérieures à celles du *Danie Martine*, pour la plupart des essais, avec une atténuation de l'écart moyen à pleine vitesse.

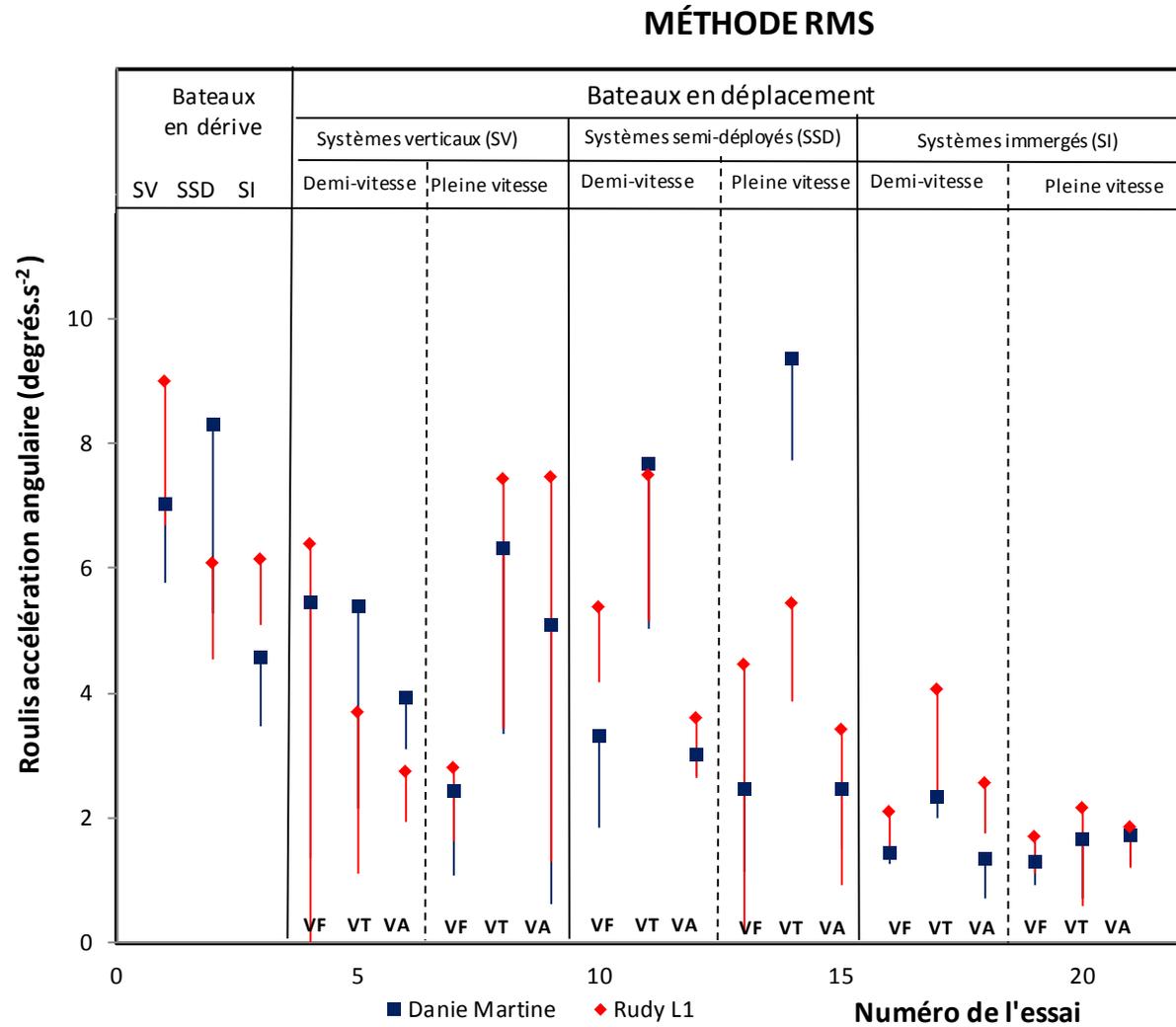


Figure 11. Comparaison de l'accélération angulaire en roulis entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode RMS.

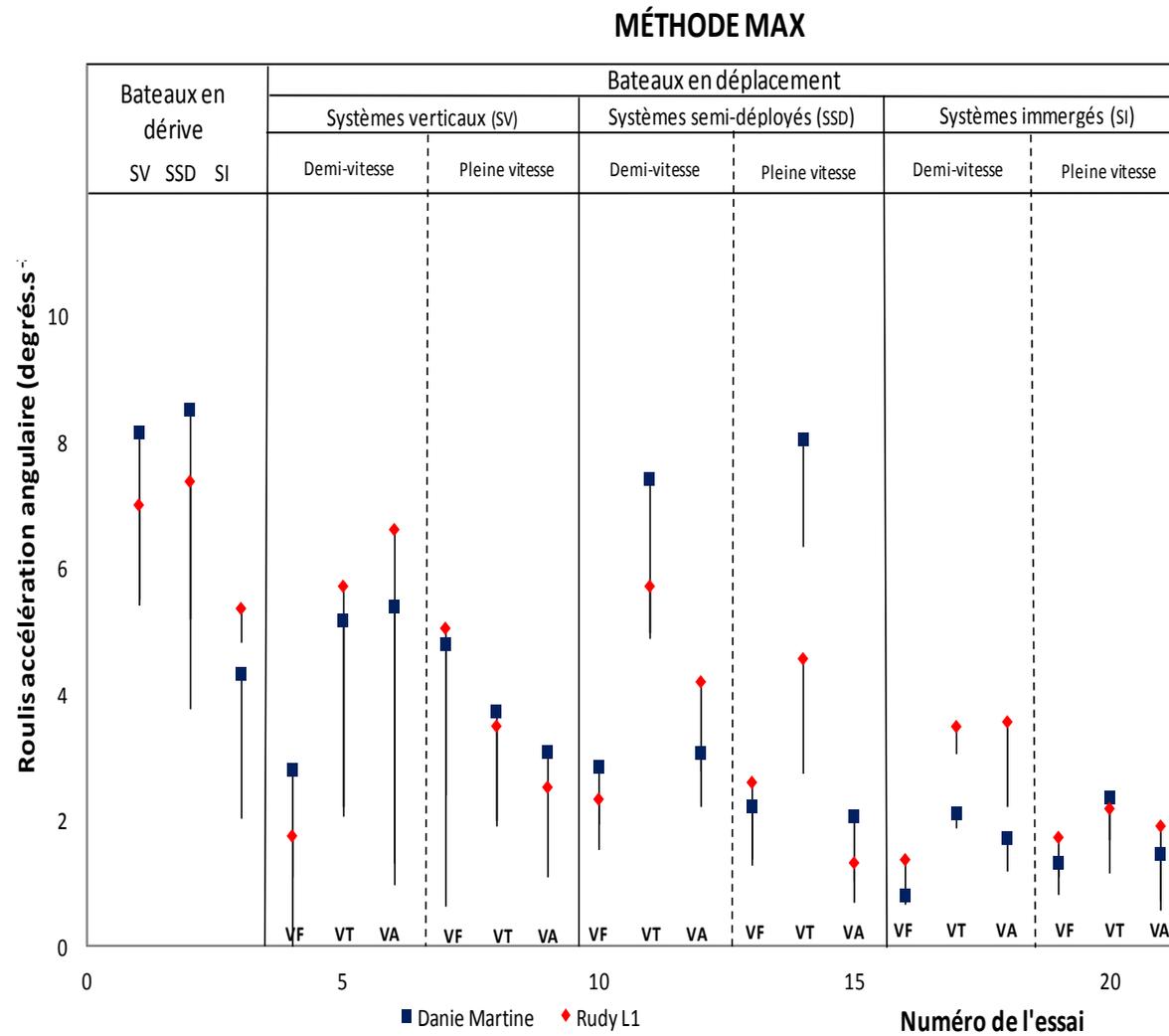


Figure 12. Comparaison de l'accélération angulaire en roulis entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode MAX.

6.3.2 Effet sur le tangage

Amplitude du tangage

Selon la méthode RMS, les données dérivées pour l'amplitude du tangage s'échelonnent sur une échelle plus faible que celles calculées pour le roulis des deux bateaux (figure 13). Les valeurs minimales se situent autour de 1 degré, alors que les valeurs maximales sont de l'ordre de 2,5 degrés. Le tangage est moindre lorsque les bateaux sont en dérive ou naviguent à demi-vitesse et que les systèmes d'amortissement du roulis ne sont pas pleinement déployés. Lorsque les bateaux sont en déplacement avec leurs systèmes immergés, l'amplitude du tangage mesurée sur le *Rudy LI* est supérieure à celle du *Danie Martine*. La différence moyenne apparaît faible, mais elle est tout de même significativement supérieure (test t apparié : $N=17$; $p=0,0028$).

Sur la base de la méthode MAX, les valeurs calculées sont supérieures et plutôt uniformes d'une condition de navigation à l'autre (figure 14). Les angles maximum varient de 3 à 5 degrés, sauf exception (essai 10). En général, le tangage du *Rudy LI* est supérieur à celui du *Danie Martine*. Lorsque les systèmes sont immergés, les valeurs observées sont significativement supérieures (test t apparié : $N=17$; $p=0,0078$), mais les deux séries de valeurs tendent à se rapprocher.

Accélération angulaire en tangage

L'accélération angulaire en tangage (accélération autour de l'axe Y), selon la méthode RMS, montre un portrait tout aussi varié que pour le roulis, sans patron bien défini (figure 15). Selon les conditions de navigation, le *Rudy LI* montre des mouvements plus ou moins brusques que ceux du *Danie Martine*. L'immersion des systèmes d'amortissement du roulis, lorsque les navires sont en mouvement, réduit peu les valeurs moyennes d'accélération. Au plan statistique, l'analyse révèle qu'il n'y a pas de différence pour l'accélération angulaire en tangage (test t apparié : $N=17$; $p=0,443$), que les navires voguent à demi ou à pleine vitesse.

L'utilisation de la méthode MAX (figure 16) montre que les accélérations suivent un patron également variable selon les conditions de navigation des deux navires. Lorsque ceux-ci sont en mouvement, les accélérations observées sur le *Rudy LI*, à demi-vitesse, sont supérieures à celles observées sur le *Danie Martine*. À pleine vitesse, c'est l'inverse, quoique cette observation ne soit pas confirmée par les tests statistiques (test de Wilcoxon : $N=17$; $p=0,169$).

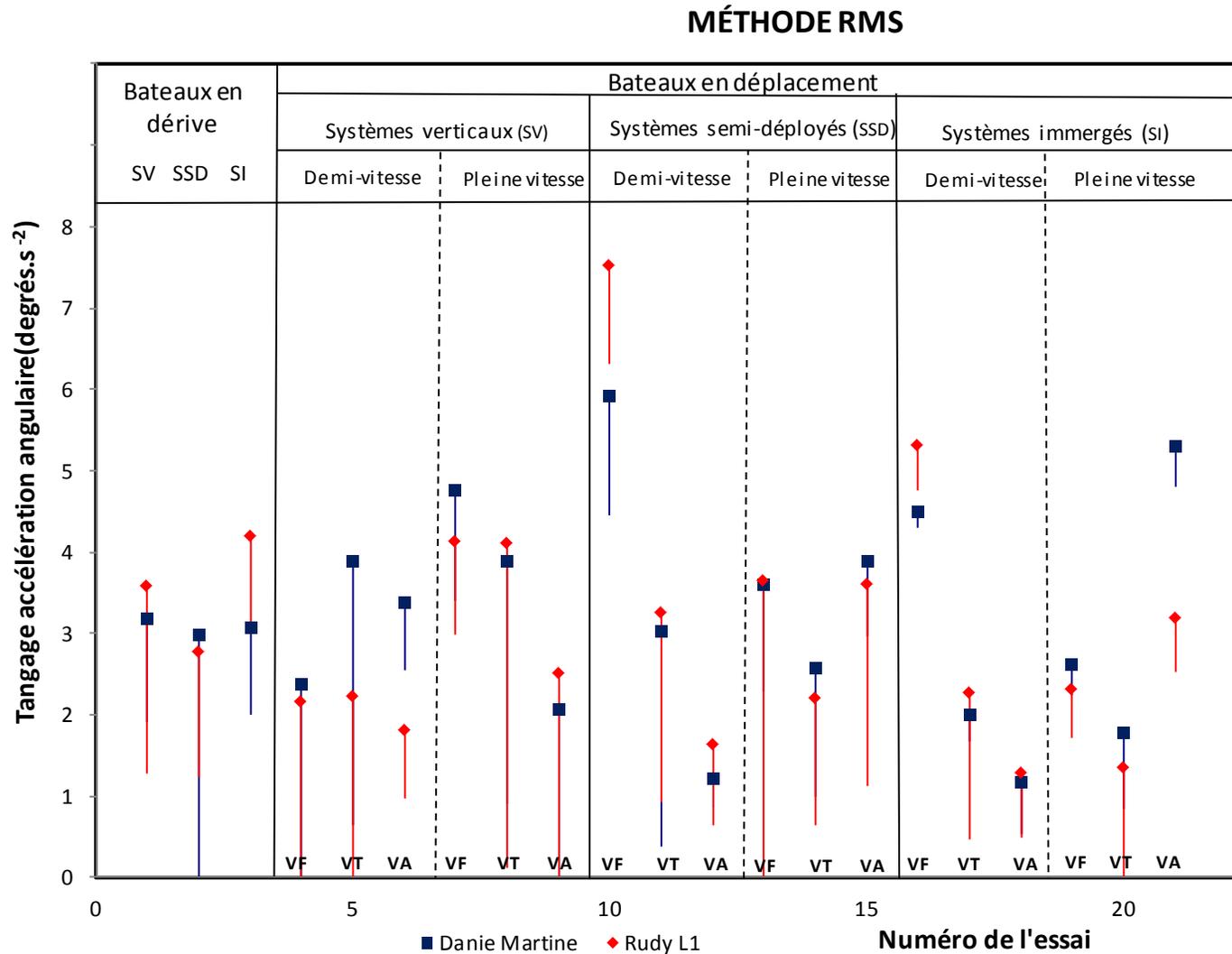


Figure 15. Comparaison de l'accélération angulaire en tangage entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode RMS.

MÉTHODE MAX

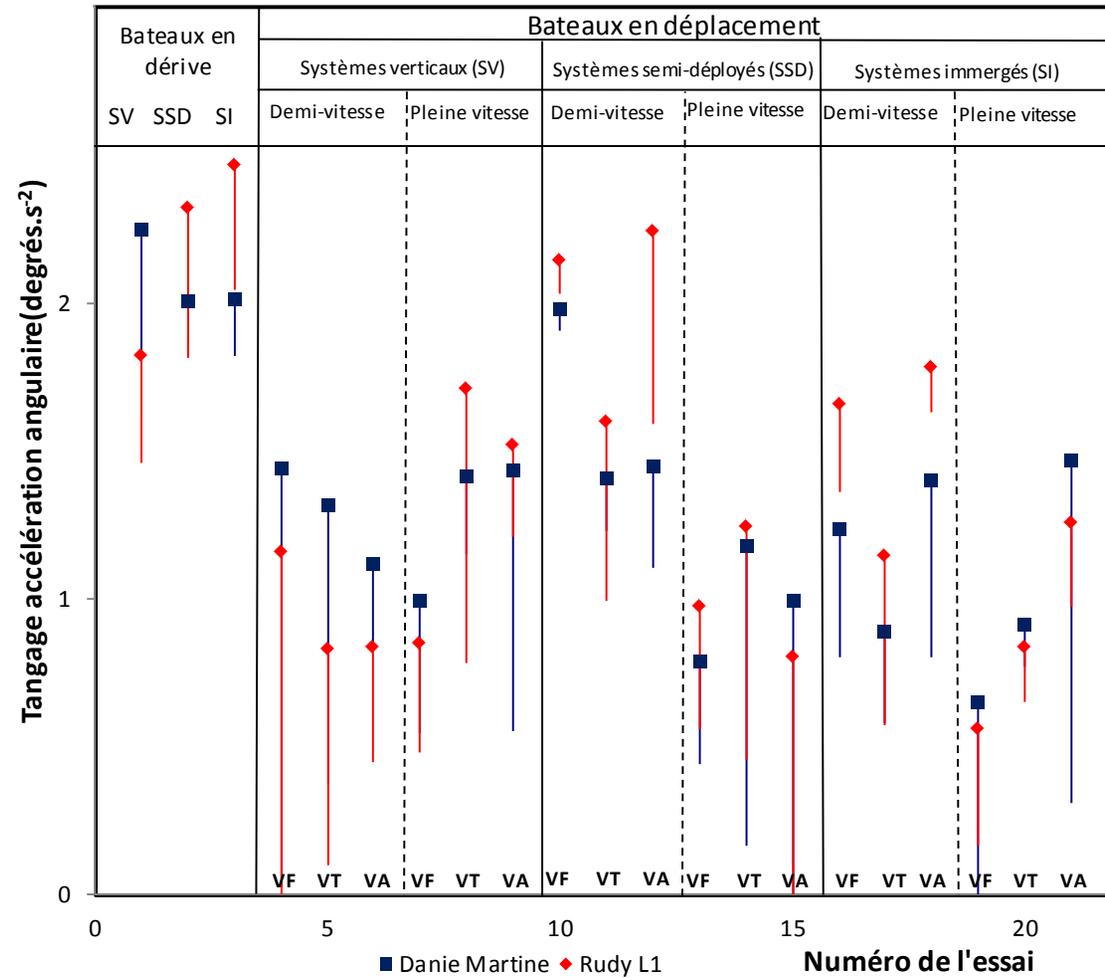


Figure 16. Comparaison de l'accélération angulaire en tangage entre le *Danie Martine* et le *Rudy L1*, selon la méthode MAX.

6.3.3 Consommation d'énergie

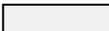
En termes de consommation de l'énergie nécessaire à la propulsion (tableau 4), on note un avantage en faveur du *Danie Martine*, lorsque les deux systèmes d'amortissement du roulis sont relevés ou partiellement déployés, que ce soit à demi ou à pleine vitesse. Par ailleurs, lorsque les deux crabiers jumeaux naviguent à demi-vitesse, avec leurs équipements d'amortissement du roulis déployés, le *Rudy L1* est avantage. Quand les bateaux passent à pleine vitesse, leur consommation d'énergie est équivalente.

Tableau 4. Synthèse d'analyse comparative de la consommation d'énergie.

Conditions de navigation			Consommation d'énergie		
Position du système d'amortissement	Vitesse du bateau	Direction du vent	Jour 1 (27 mai)	Jour 2 (1er juin)	Jour 3 (3 juin)
SV	Dérive				
SSD					
SI					
SV	Demi-vitesse	VA			
		VF			
		VT			
SSD		VA			
		VF			
		VT			
SI		VA			
		VF			
		VT			
SV	Pleine vitesse	VA			
		VF			
		VT			
SSD		VA			
		VF			
		VT			
SI		VA			
		VF			
		VT	n.d.		

SV : système vertical SSD : système semi-déployé SI : système immergé
VA : vent arrière VF : vent de face VT : vent de travers (tribord ou bâbord)

 Avantage ailerons à charnières – *Rudy L1* (> 10 % de réduction)

 Équivalent pour les 2 systèmes ($\pm 10\%$)

 Avantage paravanes – *Danie Martine* (> 10 % de réduction)

7. DISCUSSION

Le système d'amortissement du roulis à paravanes, de loin le plus répandu au Québec dans la flotte de pêche commerciale de plus de 15 tonneaux de jauge brute, tend à être remplacé par celui des ailerons à charnières. Le nombre de bateaux équipés de ce dernier est en croissance constante. Il est passé de 20 à 30 unités entre 2009 et la fin octobre 2010.

Une enquête réalisée auprès de la moitié des propriétaires de bateaux qui se sont convertis au système à ailerons, ainsi que les échanges informels de l'équipe de recherche avec d'autres pêcheurs et avec le personnel d'entreprises de fabrication de ces systèmes ont démontré la popularité de cette technologie.

Bien que le niveau de sécurité du système d'amortissement du roulis à ailerons à charnières n'ait pas encore été évalué, les pêcheurs semblent convaincus des avantages de ce système aux plans de la sécurité et de la facilité d'opération, et ce, à un coût raisonnable. Initialement, certains pêcheurs qui opéraient des bateaux de pêche munis d'un système de réduction du roulis à paravanes émettaient des réserves sur la performance du système de réduction du roulis à ailerons sur le plan de la consommation énergétique. Selon les résultats des entrevues, cette inquiétude ne serait guère fondée puisque 12 opérateurs sur 15 manifestent un degré de satisfaction « bon » ou « excellent » à l'égard de cet enjeu.

7.1 Influence sur les mouvements du navire

7.1.1 Roulis

La phase expérimentale d'observation en mer du *Rudy LI* a permis de constater des angles moyens de roulis qui étaient généralement plus élevés que ceux du *Danie Martine*. Toutefois, pour toutes les conditions météo rencontrées pendant les sorties en mer, l'amplitude de roulis du *Rudy LI* est demeurée à l'intérieur des valeurs sécuritaires présentées dans la littérature (Fairlie-Clarke, 1980 cité par Molland, 2008), lesquelles sont de 4 ou 5 degrés pour les petits bateaux.

Ce désavantage a été accentué par la condition d'un seul aileron à l'eau (pour le *Rudy LI*), comparée avec celle des espars semi-déployés (pour le *Danie Martine*). Ces derniers augmentent partiellement l'envergure globale du *Danie Martine*, lui conférant ainsi, par leur symétrie, un avantage au plan de la réduction de l'amplitude du roulis. Selon nos observations à bord des crabiers durant la saison de pêche 2010 et les propos des pêcheurs ayant participé à notre enquête, nous savons désormais que la condition d'un seul aileron à l'eau n'est presque plus rencontrée. Par ailleurs, l'amplitude du roulis du *Rudy LI*, avec ailerons à charnières immergés, pour le bateau évoluant à pleine vitesse, tend vers celle mesurée à bord du *Danie Martine*.

Les accélérations angulaires parfois plus importantes observées sur le *Rudy LI* signifient que la période de roulis est plus courte et que le mouvement de redressement est plus rapide, notamment lorsque les conditions de mer se détériorent. Elles présentent donc un avantage sur le

plan de la sécurité du bateau. Plusieurs personnes trouvent d'ailleurs qu'un roulis prolongé, comme sur le *Danie Martine*, est plus déplaisant à vivre (Molland, 2008). Toutefois, des accélérations plus brusques sont plus difficiles à anticiper, donc plus déstabilisantes pour les membres de l'équipage.

Nous avons vu, encore une fois, que la différence des vitesses d'oscillation observée entre les deux bateaux tend à s'estomper lorsque le *Rudy LI* a immergé ses deux ailerons et qu'il navigue à pleine vitesse. En fonction de notre plan expérimental, il nous est impossible de prédire si celles-ci, de même que l'amplitude du roulis en jeu, atteignent un seuil susceptible de provoquer un changement de posture qui créerait un déséquilibre de l'équipage (Kimura et coll. 1989; Akinturk et coll. 2006).

7.1.2 Tangage

En matière de tangage (mouvement de l'avant et de l'arrière du navire qui plongent alternativement), les enregistrements des angles moyens obtenus grâce à la centrale inertielle montrent que la performance du *Rudy LI* se compare à celle du *Danie Martine*.

Les vents de face provoquaient généralement les plus forts angles de tangage pour le *Rudy LI*, comme pour le *Danie Martine*, puisque les bateaux voguent avec leur proue contre la houle et les vagues. Il est à remarquer que l'immersion d'un seul des ailerons du *Rudy LI* a pour conséquence de provoquer les plus importants angles de tangage lorsqu'il navigue à pleine vitesse. L'asymétrie du bateau est probablement responsable d'une diminution de son hydrodynamisme, mais nous avons déjà mentionné que cette condition est de plus en plus rare en pratique.

Au regard des graphiques et de l'analyse statistique, il se dégage que le tangage du *Rudy LI* est équivalent à celui du *Danie Martine*. Ces résultats confirment le rôle prépondérant des équipements étudiés qui est de réduire le roulis avec un effet moindre sur les mouvements d'oscillation selon l'axe proue-étrave du navire. D'ailleurs, la relative constance des valeurs des accélérations angulaires en tangage (accélération autour de l'axe Y) appuie cette conclusion, selon laquelle les ailerons et les paravanes ont un effet moindre sur le tangage.

7.2 Consommation d'énergie

Les sections précédentes ont montré que le *Rudy LI* se comportait quelque peu différemment du *Danie Martine* dans les conditions d'expérimentation auxquelles ils ont été soumis, mais cette différence n'apparaît pas substantielle au point d'affecter sa stabilité et sa sécurité sur le plan de la navigation.

Dans ce contexte, mis à part le coût d'investissement initial, l'une des principales préoccupations des pêcheurs demeure la consommation d'énergie de bateaux équipés d'ailerons à charnières. En effet, par leur géométrie et leur volume immergé plus important que les paravanes, les ailerons à charnières sont susceptibles d'offrir une plus grande résistance dans l'eau.

Or, les données enregistrées à bord des bateaux, lorsque leur système respectif d'amortissement du roulis était immergé, montrent que le *Rudy LI* est avantagé à demi-vitesse. Par ailleurs, la dépense énergétique du *Rudy LI* est équivalente à celle du *Danie Martine* à pleine vitesse, soit celle qui correspond aux déplacements aller-retour entre le quai et le lieu de pêche. Globalement, ces observations sont corroborées par les pêcheurs opérateurs de bateaux munis d'ailerons à charnières rencontrés lors de l'enquête, qui ont affirmé, dans 80 % des cas, que le rendement de leur bateau était bon, voire excellent, depuis l'ajout de cet équipement.

Une hypothèse explicative serait que les ailerons immergés améliorent la performance hydrodynamique du bateau. Cet avantage au plan de la consommation d'énergie pourrait s'accroître si la vitesse était réduite. En effet, la résistance à l'avancement due aux ailerons à charnières est compensée, jusqu'à un certain point, par la réduction de la résistance due aux mouvements de roulis, le bateau gardant une meilleure gouverne (Dallinga, 1994 cité dans Molland, 2008). En entrevue, certains pêcheurs ont témoigné en ce sens.

7.3 Opérations des ailerons à charnières et risques associés

Les systèmes d'amortissement du roulis à ailerons sont classés généralement en deux grandes catégories, soit les systèmes passifs ou fixes et les systèmes actifs ou mobiles. Pour des raisons de coûts, de maintenance et de commodité, plusieurs petits bateaux ont des ailerons non rétractables, donc fixes (Lloyd, 1998). Habituellement, l'envergure de ces ailerons ne dépasse pas la muraille du bateau, afin de faciliter les opérations d'amarrage et de manœuvre à quai. Conséquemment, leur portance et leur efficacité hydrodynamique sont réduites.

Le système à ailerons à charnières est un système intermédiaire. Il constitue un bon compromis, puisqu'il permet d'avoir une envergure suffisante pour influencer le roulis lorsqu'il est déployé, tout en réduisant les risques d'accrochage lorsqu'il est ramené le long de la coque. Il est intéressant de noter qu'au fur et à mesure que des bateaux s'équipent de ce système, leurs propriétaires ont développé des trucs pour abriter de mieux en mieux l'aileron et les autres pièces qui sont exposés.

Un autre avantage notable du système à ailerons à charnières est que le capitaine a une idée précise de l'envergure et de la position des éléments du système d'amortissement du roulis par rapport à la coque de son bateau. Ce n'est pas le cas des paravanes, dont la géométrie est variable en fonction de la vitesse de navigation. L'opérateur pourrait avoir plus de difficultés à éviter des obstacles qui flottent en surface ou en sous-surface. Les risques d'emmêlement des paravanes ou des câbles de retenues avec d'autres objets flottants sont donc accrus.

De plus, les ailerons à charnières opérant symétriquement dans un plan vertical, lorsque le navire gîte du côté bâbord, par exemple, la surface inférieure de l'aileron proximal résiste à l'enfoncement sous l'eau, alors que la face supérieure de l'aileron distal freine le mouvement ascendant. Par conséquent, l'action est double. Dans le cas des paravanes, le même mouvement fait que le paravane à bâbord se relâche ou plonge verticalement dans l'eau, l'effet de retenue n'étant assuré que par le paravane à tribord. Dans une mer agitée, ce dernier peut carrément sortir

de l'eau et se mettre à osciller, comme certains pêcheurs l'ont déjà vécu. Au fil du temps, les paravanes ainsi que les gréements de retenue sont devenus de plus en plus massifs. Ils peuvent donc se transformer en pendule dangereux pour l'équipage qui vaque à ses occupations.

En matière de déploiement, le système des ailerons à charnières offre une solution avantageuse, considérant que les gestes à accomplir pour leur mise en place ou leur remontée sont réduits. Le recours à des cylindres hydrauliques et à des systèmes de blocage simplifiés diminue la propension des opérateurs à se placer en position vulnérable, propice aux chutes par exemple.

8. CONCLUSION

Le principal objectif de cette étude visait à répondre à une question de première importance pour les pêcheurs québécois : vaut-il la peine d'équiper les bateaux du nouveau système d'amortissement du roulis de type ailerons à charnières? Selon les résultats de notre étude, nous n'avons noté aucun indicateur négatif en ce qui a trait à la nouvelle technologie des ailerons à charnières. Son expansion dans la flotte de pêche du Québec est donc à prévoir.

Les données expérimentales acquises à bord du *Rudy LI* montrent que les ailerons à charnières réduisent le roulis lorsqu'ils sont déployés. Toutefois, les conditions opérationnelles vécues durant l'expérimentation étaient moins extrêmes que celles parfois vécues par les pêcheurs. De même, lors des essais, les bateaux naviguaient lèges. Ces deux facteurs ne nous ont pas permis de prouver que le système d'amortissement du roulis à ailerons à charnières est supérieur, ou inférieur, à celui à paravanes. Le *Rudy LI* a montré des accélérations plus brusques qui pouvaient être ressenties plus fortement par les équipages, augmentant ainsi les risques de chute. En revanche, un redressement rapide du navire signifie qu'il peut être moins porté à chavirer. Par ailleurs, les résultats de l'enquête auprès des capitaines qui ont converti leur bateau à cette technologie montrent que la grande majorité de ces pêcheurs sont satisfaits de leur décision par rapport à l'ensemble des éléments d'interrogation.

Sur le plan de la sécurité, pour une même période, les incidents-accidents rapportés par les pêcheurs à propos de bateaux équipés de paravanes sont nettement supérieurs, en nombre et en gravité, à ceux équipés d'ailerons à charnières. Toutefois, l'implantation de ces derniers est plus récente et seuls le temps et l'expérience permettront de bien juger cet aspect. D'ailleurs, nos propres observations des deux systèmes à bord des crabiers nolisés pour l'expérimentation ont permis de constater que les ailerons à charnières étaient nettement plus faciles à manipuler que les paravanes.

Enfin, un questionnement important aux yeux des pêcheurs est celui de la consommation de fioul. En condition de pêche (demi-vitesse), le crabier ayant déployé un seul aileron pour simuler la situation qui permet de manipuler aisément les casiers est désavantagé par rapport au crabier dont les espars sont déployés symétriquement sans immersion des paravanes. Par ailleurs, en condition de navigation entre le port d'attache et le lieu de pêche (pleine vitesse), la consommation d'énergie est similaire entre les deux crabiers surtout lorsque leur système d'amortissement du roulis est complètement immergé. Cet avantage pourrait s'accentuer avec une réduction de la vitesse de croisière si on s'appuie sur les résultats observés à demi-vitesse. Étant donné que le système à ailerons à charnières est un système relativement nouveau, il est possible que des changements y soient apportés, améliorant ainsi la navigabilité d'un bateau équipé de ce système, entraînant, par le fait même, une réduction supplémentaire de son impact sur la consommation d'énergie.

Bien entendu, notre expérimentation n'a été réalisée qu'avec un type de bateau particulier, soit les crabiers. Ceux-ci représentent cependant près de la moitié des unités de pêche de plus de 15 tonneaux de jauge brute au Québec. Par conséquent, la portée de la présente étude est significative. Cependant, une réflexion s'impose avant d'étendre une étude semblable à d'autres

flottes comme celles des crevettiers, des cordiers et des dragueurs, en fonction de la spécificité de leurs opérations.

L'enquête auprès des pêcheurs pratiquant divers modes de pêche a démontré un taux de satisfaction élevé de la part des opérateurs représentatifs de diverses flottes, laissant entrevoir que la performance de leurs bateaux équipés d'ailerons à charnières est supérieure à celle de leur embarcation antérieure. Comme toute technologie nouvelle, l'implantation des systèmes d'ailerons à charnières comme équipement de réduction de roulis a progressé sur la base de l'expérience des utilisateurs sans véritables contre-indications. Il serait possible d'optimiser l'hydrodynamisme de ces systèmes par une approche scientifique rigoureuse faisant appel à des calculs d'ingénierie. Mais avant d'aller de l'avant, il faudra bien estimer les coûts-bénéfices d'une telle opération (Helmore, 2000).

9. BIBLIOGRAPHIE

- Akinturk, A., D. Bass, S. MacKinnon, J. Vera, et D. Cumming (2006). Habitability considerations onboard fishing vessels of the Newfoundland fleet. NRC publications archive. Repéré à <http://publications.iot.nrc.ca/documents/IR/IR-2005-09.pdf>. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Audet, A. (2010). Bilan des incidents/accidents répertoriés par la Garde Côtière Canadienne. 5^e réunion annuelle du Comité permanent sur la sécurité des bateaux de pêche. Rimouski, 24-25 février.
- BST (1998). Rapport d'enquête sur un accident maritime. Bureau de la sécurité des transports du Canada. Rapport no. M98N0064. Repéré à <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/marine/1998/m98n0064/m98n0064.pdf>. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Bussièrès, G. (2010). Enquête sur les problèmes de sécurité des bateaux de pêche : Session d'information. 5^e réunion annuelle du Comité permanent de la région du Québec sur la sécurité des bateaux de pêche, Rimouski, 24-25 février. Repéré à <http://www.epaq.qc.ca/images/stories/CPSBP/Réunions%20annuelles/2010/Français/Présentations/BST/BST%20-%205642850.pdf>. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- CSST (2010). Table des taux : Unités de classification. http://www.csst.qc.ca/NR/rdonlyres/51216339-FD0E-470A-A6E6-FF7784A69945/5872/DC_200_414_17web1.pdf. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Helmore, P.J. (2000). Recent developments in roll stabilisation of fishing vessels. Dans : Conference on stability of ships and ocean vehicles: STAB 2000. Launceston, Tasmanie, pp. 776-778.
- Kimura, N., K. Amagai et Y. Inaba (1988). On the relationship between the maintenance of human posture and the ship oscillatory motions. Proceedings of the World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design. Marine Institute, St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada, pp. 564-568.
- Loughran, C.G., A. Pillay, J. Wang, A.D. Wall et T. Ruxton (2002). Formal fishing safety assessment. Journal of Risk Research 5(1): 3-21.
- Lloyd, A.R.J.M. (1998). Seakeeping: Ship behaviour in rough weather. Published by the author, Gosport, UK.
- Molland, A.F. (2008). The maritime engineering reference book. A guide to ship design, construction and operation. pp. 562-577.

- OIT (2004). Organisation internationale du travail. Repéré à http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_008856/lang--fr/index.htm. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Pelletier, S. (2010). Stabilité des bateaux de pêche : Application du Bulletin de la sécurité de navires 04/2006. 5^e réunion annuelle du Comité permanent sur la sécurité des bateaux de pêche, Rimouski, 24-25 février. Repéré à <http://www.epaq.qc.ca/images/stories/CPSBP/Réunions%20annuelles/2010/Français/Présentations/Transports%20Canada/Stabilité%20-%205575822.pdf>. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Petursdottir, G., O. Hannibalsson et J.M.M. Turner (2004). La sécurité en mer, élément essentiel de la gestion des pêches. Circulaire sur les pêches no. 966 de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 55 pages. Repéré à <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/x9656f/x9656f00.pdf>. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].
- Pillay, A. et J. Wang (2003). Technology and safety of marine systems. Ocean engineering series editors. Volume 7, Elsevier Ltd., U.K. pp. 9-28.
- Sterling, D. et K. Klaka (2007). Energy efficient fishing: A 2006 review. Part B – Hull characteristics and efficiency. Fisheries Research and Development Corporation, Australian Government, projet no. 2005/239, 25 pages. Repéré à http://frdc.com.au/research/Documents/Final_reports/Part_B_Hull_Characteristics_and_Efficiency.pdf. [Dernière consultation : 5 décembre 2013].

ANNEXE 1

Informations complémentaires sur l'inventaire des systèmes d'amortissement du roulis.

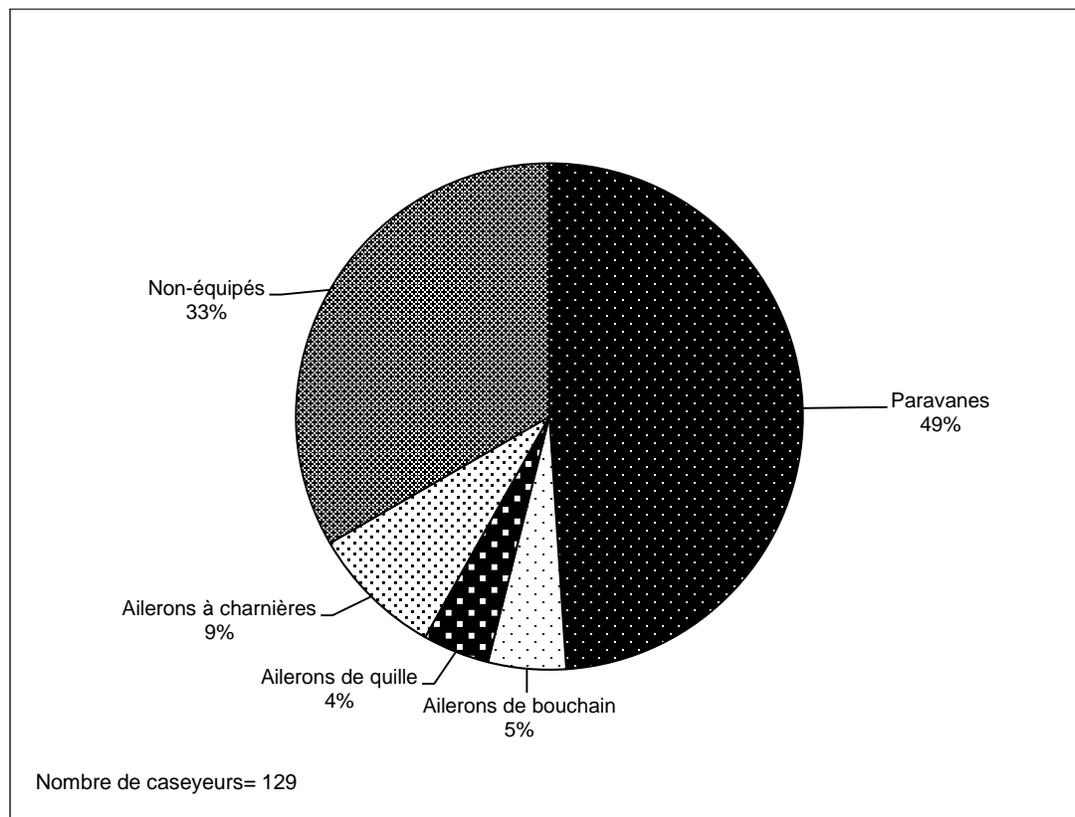


Figure 17. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux caseyeurs de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes).

La répartition des systèmes d'amortissement du roulis parmi les 129 caseyeurs analysés suit le patron général de l'ensemble de la flotte. En effet, 49 % des bateaux sont équipés de paravanes, 33 % sont non équipés. Suivent dans l'ordre, les bateaux avec ailerons à charnières, 9 %, ceux à ailerons de bouchain, 5 % et enfin ceux à ailerons de quilles qui représentent 4 % de ce type de bateau de pêche.

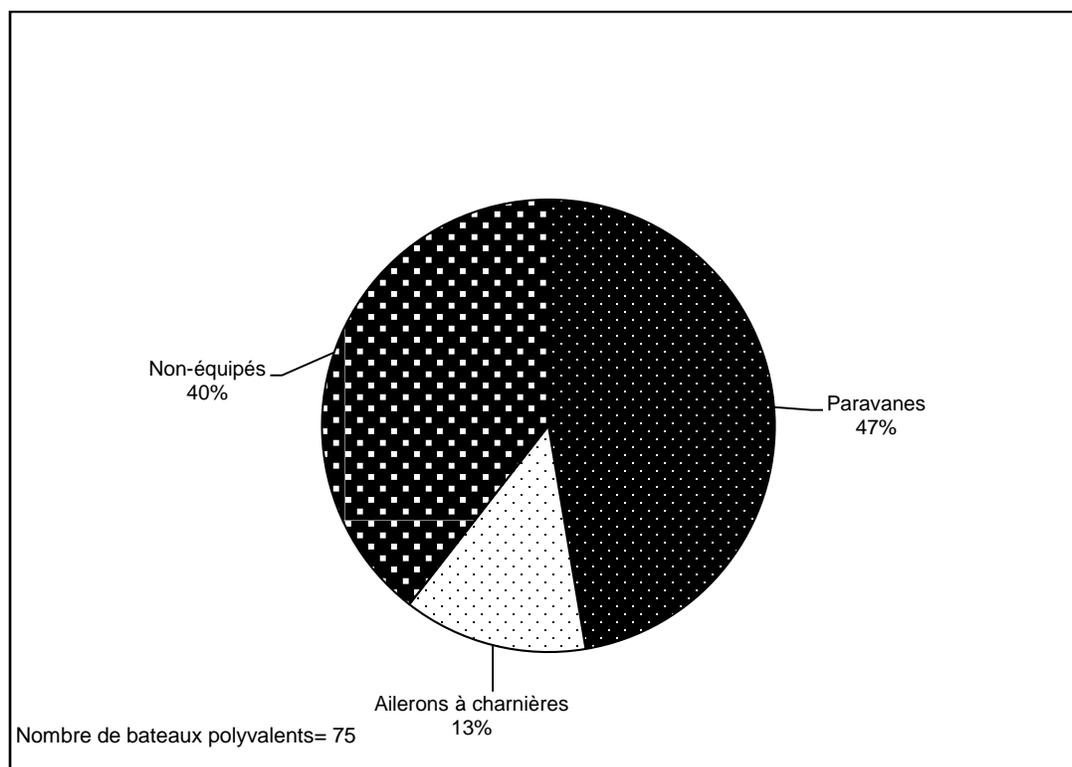


Figure 18. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux polyvalents de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes).

La distribution des divers systèmes parmi les bateaux polyvalents suit un patron semblable puisque 48 % sont des systèmes à paravanes, 13 % sont des systèmes à ailerons à charnières, alors que 39 % des bateaux sont équipés d'aucun système anti-roulis.

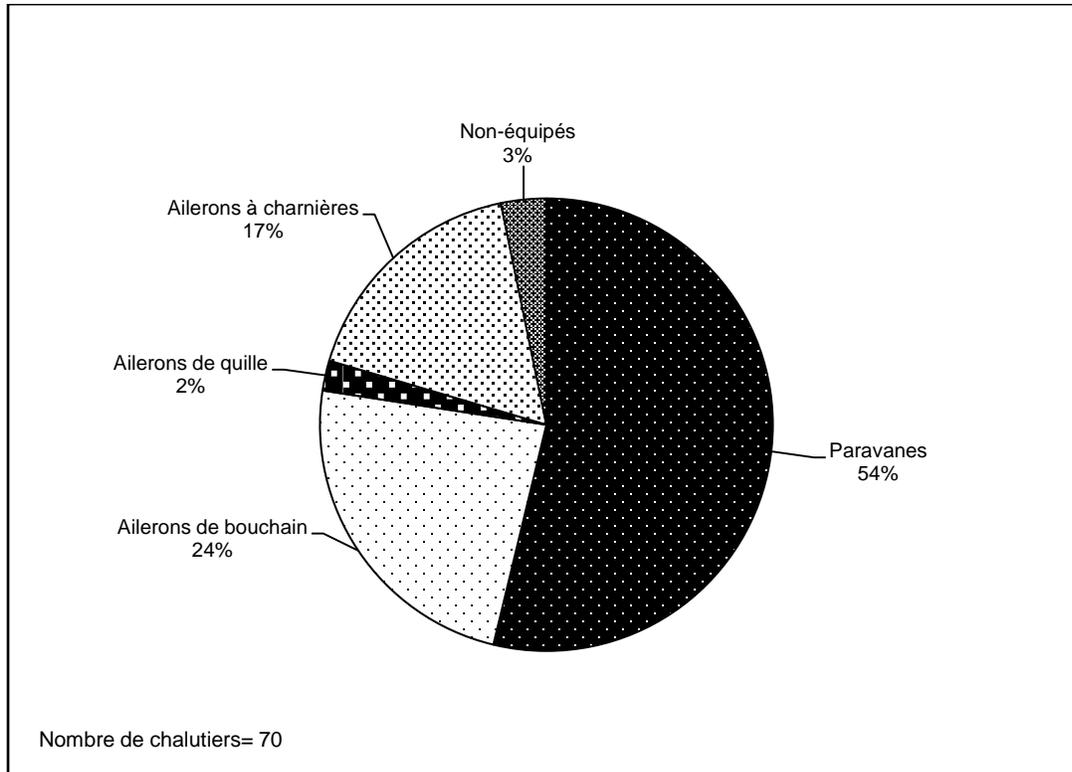


Figure 19. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux chalutiers de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes).

La ventilation des données pour les chalutiers montre un portrait quelque peu différent. En effet, les bateaux avec paravanes dominant encore à 54 % ce segment de la flotte, qui compte quelque 70 unités de pêche. Les bateaux munis d'ailerons de bouchain comptent pour 24 %, alors que les bateaux équipés d'ailerons à charnières représentent une part plus significative avec 17 % des embarcations. Les bateaux avec ailerons de quille suivent la marche à 2 %, loin derrière, comme dans les autres segments de la flotte.

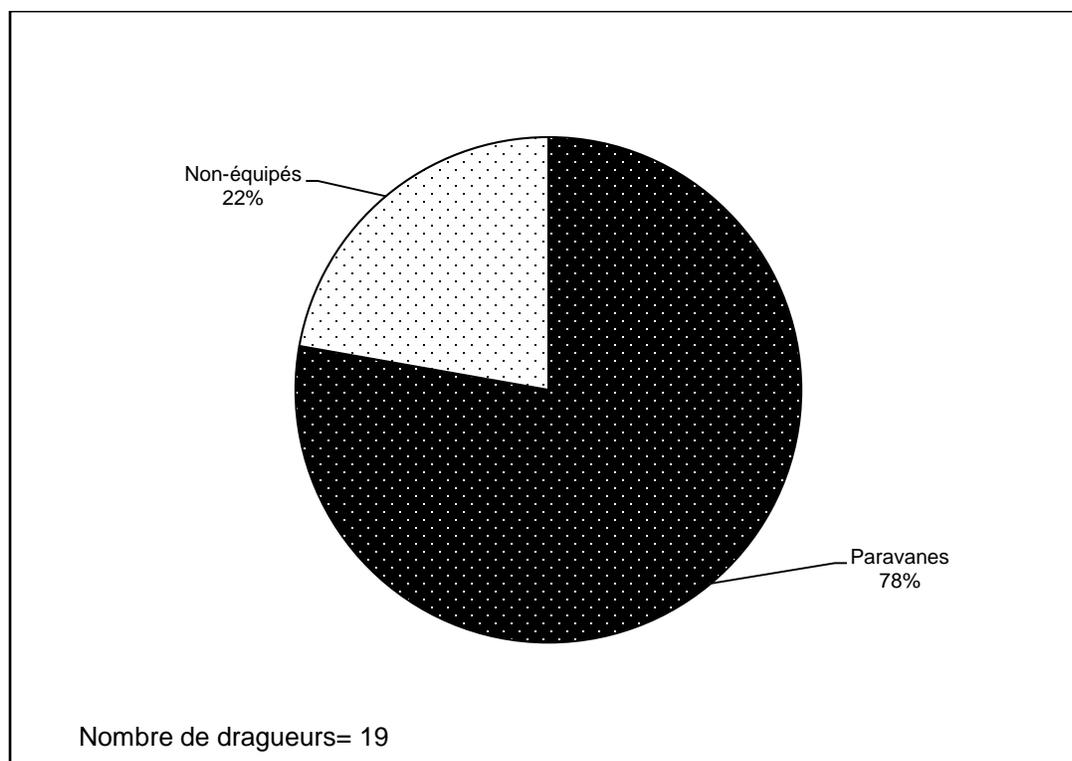


Figure 20. Distribution des divers systèmes d'amortissement du roulis des bateaux dragueurs de la flotte de pêche commerciale maritime au Québec (les plus de 15 tonnes).

Pour les dragueurs à pétoncles, le portrait est très simple, 78 % des 19 bateaux de cette capacité sont équipés de paravanes, un bateau possède des ailerons à charnières alors que le reste des bateaux n'est pas équipé de système en particulier.

ANNEXE 2

Lexique maritime⁶

Accastillage : Ensemble des équipements placés sur le pont d'un navire (poulies, manilles, coffres, pompe, cuisinière, etc.).

Assiette : Inclinaison longitudinale d'un navire.

Bouchain : Partie arrondie de la carène comprise entre le fond et la muraille.

Espar : Longue pièce de bois, de métal ou de matière plastique, servant de tangon, généralement à l'horizontale pour un déborder objet quelconque (ancres, embarcation, ligne de pêche), ou les paravanes, dans le présent document.

Franc-bord : Hauteur entre la ligne de flottaison à pleine charge et le pont principal.

Gîte : Inclinaison d'un navire autour de son axe transversal (à bâbord ou à tribord).

Jauge brute: Mesure de la capacité de transport d'un navire, en tonneaux.

Manille : Pièce métallique en forme de u, fermée par une clavette ou un boulon, servant à relier diverses manœuvres.

Muraille : Partie latérale de la coque d'un bateau.

Roulis : Mouvement d'oscillation latérale d'un navire en alternance, sur tribord et sur bâbord. Lorsqu'il y a inclinaison d'un côté seulement, le navire gîte.

Tangage : Oscillations d'une embarcation (ou d'un véhicule) autour d'un axe transversal (de la proue à l'étrave).

Tonneau de jauge : Unité de volume servant à mesurer les capacités d'un navire.

Quille de roulis : Appendice de la coque d'un bateau, constitué d'un plan mince disposé dans le sens de la longueur au niveau du bouchain sur chaque bord. Les quilles de roulis servent à ralentir le passage des filets d'eau lors d'un mouvement de roulis et donc à amortir ce dernier. La quille de roulis est employée surtout sur les navires étroits (comme les frégates) ou ceux trop petits pour disposer d'un système antiroulis plus efficace (comme les remorqueurs).

⁶ Source : Bruno, A. et C. Moulleron-Bécar (1994). Dictionnaire maritime thématique anglais et français. Bibliothèque de l'institut français d'aide à la formation professionnelle maritime. 2^e édition revue et augmentée. Masson, Paris, 442p.

Lexique propre aux systèmes d'amortissement du roulis⁷

Aileron : Fait office de plan de retenue dans l'eau. Les mouvements du bateau sont ralentis et diminués en raison de la résistance offerte par l'aileron.



Bras de retenue : Tige qui retient l'aileron immergé à un certain angle et à une certaine profondeur, pour lui permettre de remplir sa fonction.



⁷ En absence de définitions formelles, celles présentées ici ont été librement écrites au meilleur des connaissances des membres de l'équipe de recherche, dans le but d'éclairer les lecteurs moins familiers avec le sujet.

Pivot de guidage : Permet de guider la tige lors du déploiement de l'aileron. Le loquet de retenue est fixé sur cette pièce.



Loquet de retenue : Il s'agit d'une pièce mobile fixée sur le pivot de guidage, il se rabat sur le bout de la tige de retenue pour la retenir lors de la mise en place de l'aileron.



Rail de guidage : Permet de retenir et de guider les tiges lorsque les ailerons sont déployés. Une goupille de retenue est enfoncée dans le bas de ce rail pour retenir la tige en place.



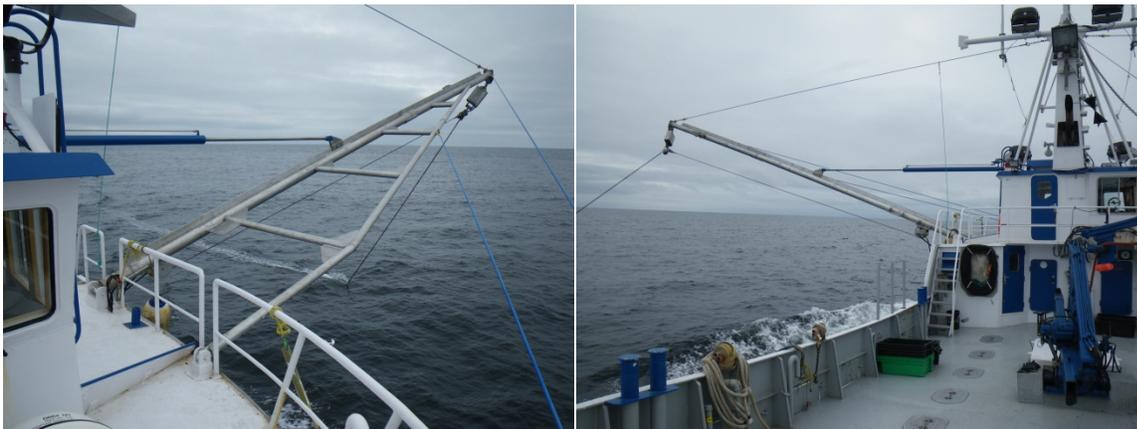
Goupille de retenue : Tige métallique qui maintient en place la tige de retenue.



Paravane⁸ : Dispositif triangulaire remorqué au bout de bras stabilisateurs qui se trouvent de chaque côté du bateau afin d'amortir le roulis du bateau.



Espar⁹ : il s'agit de pièces mobiles rattachées au navire et qui ont pour but d'éloigner les paravanes du navire le plus possible pour améliorer leur efficacité.



⁸ Source : <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/marine/1990/m90n5017/m90n5017.asp> [Dernière consultation : 24 septembre 2013]

⁹ Source : Bruno, A. et C. Moulleron-Bécar (1994). Dictionnaire maritime thématique anglais et français. Bibliothèque de l'institut français d'aide à la formation professionnelle maritime. 2^e édition revue et augmentée. Masson, Paris, 442p.