



**Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation**

Projet de recherche CC11.1

Rapport final

Préparé par

Claude Comtois, Brian Slack, Alex Champagne-Gélinas,
Simon Savard et Mélia Lagacé

Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'Entreprise, la Logistique
et le Transport, Université de Montréal, Montréal QC H3C 3J7 Canada



Université de Montréal



Préparé pour

Ministère des Transports du Québec
Bureau de la coordination du Nord-du-Québec

Octobre 2019



Le contenu de ce rapport n'engage en rien la responsabilité du ministère des Transports du Québec et devient un outil d'aide à la décision. Il n'a aucune portée juridique.

Ceux qui désirent obtenir une copie de ce rapport êtes priés de vous référer à Mme Anick Guimond du ministère des Transports du Québec.

Collaborateurs

Nathalie Bleau, Ouranos
Ross Brown, Ouranos
Diane Chaumont, Ouranos
Philippe de Champlain, CIRRELT
Marie-Andrée Giguère, Fednav
Christopher King, Pétro-Nav de Groupe Desgagnés
Capitaine Georges Tousignant, Nunavut Eastern Arctic Shipping Inc

Comité de suivi

Gaëlle Baïlon-Poujol, Administration Régionale Kativik
Nadine Blacquièrre, Desgagnés Transarctik Inc.
Stéphanie Bleau, Ouranos
Pascale Bourbonnais, Fednav
Ross Brown, Ouranos
Diane Chaumont, Ouranos
Marie-Andrée Giguère, Fednav
Anick Guimond, ministère des Transports du Québec
Geneviève Paiement-Paradis, ministère des Transports du Québec
Denis Provencal, secrétariat aux affaires maritimes
Touhami-Rachid Raffa, ministère des Transports du Québec
Jean Pierre Savard, Ouranos
Capitaine Georges Tousignant, Nunavut Eastern Arctic Shipping Inc
Geneviève Trudel, ministère des Transports du Québec

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	10
LISTE DES FIGURES	15
SOMMAIRE EXÉCUTIF	18
1. CONTEXTE	25
1.1. Territoire du Nunavik	25
1.2. Croissance démographique au Nunavik	27
1.3. Desserte maritime du Nunavik	28
1.3.1. Desserte des sites miniers	28
1.3.2. Desserte des villages nordiques	29
1.4. Transport maritime et changements climatiques	31
1.5. Objectifs du projet de recherche	32
2. GÉOGRAPHIE MARITIME DE L'ARCTIQUE CANADIEN	34
2.1. Objectif	34
2.2. Méthodologie	34
2.3. Données sur la géographie maritime de l'Arctique	34
2.4. Arctique canadien	34
2.5. Nunavik	37
3. INITIATIVES GOUVERNEMENTALES PANCANADIENNES POUR LE DÉVELOPPEMENT DU NORD	39
3.1. Objectif	39
3.2. Méthodologie	39
3.3. Données sur le initiatives gouvernementales	39
3.4. Initiatives pour soutenir le développement du transport dans l'Arctique canadien	39
3.5. Initiatives spécifiques au Québec	40
3.5.1. Convention de la Baie-James et du Nord québécois	40
3.5.2. Entente Sanarrutik	41
3.5.3. Ententes Sivurnimut et Isurruutiit	42
3.5.4. Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Nunavik (ARTIN)	43
3.5.5. Stratégie minérale du Québec	43
3.5.6. Mesures de réduction du coût de la vie au Nunavik	44
3.5.7. Plan Nord	45
3.5.8. Stratégie maritime à l'horizon 2030	45
4. TRANSPORT MARITIME DE VRAC LIQUIDE AU NUNAVIK	46
4.1. Objectif	46
4.2. Méthodologie	46
4.3. Données sur le transport maritime de vrac liquide	46

4.4. Conditions de la demande en hydrocarbures au Nunavik: villages nordiques et sites miniers	47
4.4.1. Consommation énergétique	47
4.4.2. Entreposage des hydrocarbures	48
4.4.3. Approvisionnement en hydrocarbures	50
4.5. Transporteurs maritimes de vrac liquide au Nunavik	50
4.5.1. Pétro-Nav du Groupe Desgagnés	50
4.5.2. Coastal Shipping Limited	51
4.5.3. Fednav Limitée	51
4.6. Services de transport maritime d'hydrocarbures de Petro-Nav du Groupe Desgagnés vers les villages du Nunavik entre 2005 et 2014	52
4.6.1. Approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik en 2005	52
4.6.2. Approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik en 2014	56
4.6.3. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik de 2005 à 2014	58
4.7. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik entre 2005 et 2014	60
4.7.1. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik en 2005	61
4.7.2. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik en 2014	61
4.7.3. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik de 2005 à 2014	61
4.8. Temps de transport maritime des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés qui desservent les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik	62
4.9. Temps d'attente des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik	62
4.9.1. Temps d'attente des navires-citernes aux villages nordiques	63
4.9.2. Temps d'attente des navires-citernes aux sites miniers	64
4.10. Temps de transbordement du carburant au Nunavik	64
4.10.1. Temps de transbordement du carburant aux villages nordiques	65
4.10.2. Temps de transbordement du carburant aux sites miniers	66
5. TRANSPORT MARITIME DE VRAC SEC AU NUNAVIK	67
5.1. Objectif	67
5.2. Méthodologie	67
5.3. Données sur le transport maritime de vrac sec	67
5.4. Conditions de la demande	68
5.4.1. Marché du nickel	68
5.4.2. Exploitation du nickel au Nunavik	68
5.4.2.1. Mine Raglan	69
5.4.2.2. Nunavik Nickel	71
5.4.3 Variation du volume des stocks	73

5.5. Transport maritime de concentré de nickel et de cuivre de Baie Déception par Fednav	77
6. TRANSPORT MARITIME DE MARCHANDISES GÉNÉRALES AU NUNAVIK	83
6.1. Objectif	83
6.2. Méthodologie	83
6.3. Données sur le transport maritime de marchandises générales	84
6.4. Conditions de la demande	84
6.4.1. Exploitation minière	84
6.4.2. Construction immobilière	84
6.4.3. Niveau de motorisation	85
6.4.4. Consommation domestique	86
6.4.5. Coûts	86
6.5. Transporteurs maritimes de marchandises générales au Nunavik	86
6.5.1. Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS)	87
6.5.1.1. Flotte de NEAS	87
6.5.1.2. Services maritimes de marchandises générales en 2005	88
6.5.1.3. Services maritimes de marchandises générales en 2014	92
6.5.2. Groupe Desgagnés	94
6.5.2.1. Flotte du Groupe Desgagnés	94
6.5.2.2. Services maritimes de marchandises générales en 2005	94
6.5.2.3. Services maritimes de marchandises générales en 2014	99
6.6. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en marchandises générales du Nunavik de 2005 à 2014	101
6.7. Synthèse des services de transport maritime au Nunavik	103
7. ACTIVITÉS DE TRANSPORT MARITIME ET PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX AU NUNAVIK	106
7.1. Objectif	106
7.2. Méthodologie	106
7.3. Données sur le transport maritime, les paramètres climatiques et environnementaux, les seuils limites et les impacts	106
7.4. Composantes du transport maritime sensibles aux paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik	108
7.5. Paramètres climatiques et environnementaux qui impactent le transport et la desserte maritime au Nunavik	109
7.6. Établissement des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour le transport maritime au Nunavik	112
7.7. Impacts significatifs que peuvent exercer les paramètres climatiques et environnementaux sur le transport maritime au Nunavik	112
7.7.1. Température de l'air	113
7.7.2. Régime de précipitations	115
7.7.3. Brouillard, vents et tempêtes	118
7.7.4. Conditions de glace	122
7.7.5. Niveaux d'eau	124

8. ÉVOLUTION DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES PASSÉES ET FUTURES: DONNÉES DISPONIBLES POUR CHAQUE PARAMÈTRE IDENTIFIÉ	127
8.1. Objectif	127
8.2. Méthodologie	127
8.3. Données climatiques et environnementales disponibles	128
8.4. Méthode d'analyse des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futures (2017-2040)	128
8.5. Synthèse de l'analyse des probabilités d'occurrence historique (1990-2016) et future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux sur l'ensemble du territoire du Nunavik	131
8.5.1. Température de l'air	131
8.5.2. Régime de précipitations	132
8.5.3. Brouillard, vents et tempêtes	133
8.5.4. Conditions de glace	135
8.5.5. Niveaux d'eau	137
8.6. Synthèse de l'analyse des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour les villages nordiques et sites miniers au Nunavik	138
8.6.1. Température de l'air	138
8.6.2. Régime de précipitations	142
8.6.3. Brouillard, vents et tempêtes	146
8.6.4. Conditions de glace	147
8.6.5. Bilan	150
9. ANALYSE DE RISQUES DES COMPOSANTES DU TRANSPORT MARITIME ET DE L'ACCÈS MARITIME AU NUNAVIK DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX À L'HORIZON 2040	151
9.1. Objectif	151
9.2. Méthodologie	151
9.3. Processus d'analyse de risques des composantes du transport maritime au Nunavik en fonction des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futurs (2017-2040)	151
9.4. Évaluation des risques des composantes du transport maritime en fonction des seuils limites des fréquences historiques et des probabilités d'occurrence future des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik	157
9.4.1. Résultats des interactions entre paramètres climatiques et environnementaux et composantes du transport maritime	157
9.4.1.1. Faits saillants généraux	157
9.4.1.2. Température de l'air	158
9.4.1.3. Régime de précipitations	160
9.4.1.4. Brouillard, vents et tempêtes	163
9.4.1.5. Conditions de glace	165

9.4.2. Évaluation des risques des changements climatiques et environnementaux pour les composantes du transport maritime au Nunavik à l'horizon 2040	167
9.4.2.1. Mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier	167
9.4.2.2. Durée de la saison de navigation	167
9.4.2.3. Opérations de chargement/déchargement	172
9.4.2.4. Manutention de vrac liquide (produits pétroliers et chimiques)	172
9.4.2.5. Manutention de vrac sec (concentré de minerai)	172
9.4.2.6. Manutention de marchandises générales	172
9.4.2.7. Fonctionnement des équipements à bord des navires	173
9.4.2.8. Accès aux infrastructures et équipements maritimes	173
10. ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES DU TRANSPORT MARITIME ET DE L'ACCÈS MARITIME DES VILLAGES ET SITES MINIERS DU NUNAVIK DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'HORIZON 2040	174
10.1. Objectif	174
10.2. Méthode	174
10.3. Vulnérabilité et résilience	174
10.3.1. Vulnérabilité	174
10.3.2. Résilience	175
10.4. Processus d'analyse de vulnérabilité des composantes du transport maritime au Nunavik dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040	175
10.5. Processus d'analyse de vulnérabilité de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040	177
10.6. Processus d'analyse de résilience pour le transport, l'accès et la desserte maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040	178
10.7. Évaluation des vulnérabilités des composantes du transport maritime en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040	181
10.7.1. Mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier	181
10.7.2. Durée de la saison de navigation	183
10.7.3. Opérations de chargement/déchargement	183
10.7.4. Manutention de vrac liquide (produits pétroliers et chimiques)	184
10.7.5. Manutention de vrac sec (concentré de minerai)	184
10.7.6. Manutention de marchandises générales	185
10.7.7. Fonctionnement des équipements à bord des navires	186
10.7.8. Accès aux infrastructures et équipements maritimes	187
10.8. Évaluation des vulnérabilités d'accès maritime des villages nordiques et sites miniers en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040	187
10.8.1. Température de l'air	187
10.8.2. Régime de précipitations	190
10.8.3. Conditions de glace	192

10.9. Évaluation de la résilience de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040	194
10.9.1. Desserte et l'accès aux infrastructures maritimes	194
10.9.2. État du navire et de ses équipements	195
10.9.3. État de la marchandise	196
10.9.4. Sécurité du personnel	196
10.9.5. Environnement	197
10.9.5.1. Qualité de l'air	198
10.9.5.2. Qualité de l'eau	198
10.9.5.3. Gestion des ordures	199
10.9.5.4. Émissions de poussières	200
10.9.5.5. Déversement d'hydrocarbures	200
10.9.5.6. Transport de marchandises dangereuses	200
10.9.5.7. Plans d'urgence	201
10.9.6. Temps de transport	201
11. RECOMMANDATIONS DE SOLUTIONS D'ADAPTATION POUR ASSURER LA RÉSILIENCE DES COMPOSANTES DU TRANSPORT ET DE LA DESSERTE MARITIME DES VILLAGES NORDIQUES ET SITES MINIERS AU NUNAVIK	203
11.1. Objectif	203
11.2. Méthodologie	203
11.3. Capacités d'adaptation	203
11.4. Solutions d'adaptation des composantes du transport maritime au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040	204
11.4.1. Améliorer la prévision météorologique quotidienne pour le Nunavik	204
11.4.2. Améliorer les modèles climatiques pour le Nunavik	205
11.4.3. Développer une meilleure connaissance de la bathymétrie pour le Nunavik	206
11.4.4. Faciliter l'adoption de nouvelles technologies pour améliorer la sécurité et la performance des navires	206
11.4.5. Construire un port refuge au Nunavik	207
11.5. Solutions d'adaptation d'accès maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040	210
11.5.1. Construire de nouvelles infrastructures portuaires au Nunavik	210
11.5.1.1. Construction d'un port dans chaque village du Nunavik	211
11.5.1.2. Construction d'un port de transbordement dans un village du Nunavik	213
11.5.1.3. Attirer les croisières	216
11.5.2. Former du personnel maritime au sein des villages du Nunavik	217

11.6. Solutions alternatives pour le transport et la desserte maritime au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040	217
11.6.1. Prolonger les liens terrestres vers le Nunavik	218
11.6.1.1. Connexion au chemin de fer	218
11.6.1.2. Extension du réseau routier	221
11.6.2. Changer l'approvisionnement énergétique du Nunavik	221
11.6.2.1. Réseau de pipeline pour le Nunavik	221
11.6.2.2. Énergie hydroélectrique	222
11.6.2.3. Énergie marémotrice	223
11.6.2.4. Énergie éolienne	223
11.6.3. Utilisation de dirigeables cargo	224
12. CONCLUSION	227
13. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	229
ANNEXE 1. BASES DE DONNÉES SUR LES PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	246
ANNEXE 2. ANALYSE DÉTAILLÉE DE L'ÉVOLUTION HISTORIQUE (1990-2016) ET FUTURE (2017-2040) DES PROBABILITÉS D'OCCURRENCE DES SEUILS LIMITES DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	254
ANNEXE 3. PARTICIPANTS À L'ATELIER DE TRAVAIL DU 27 JUILLET 2017	332

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Évolution démographique au Nunavik, 1996-2016	27
Tableau 2. Évolution de la demande énergétique dans les villages du Nunavik, 2006-2015	48
Tableau 3. Capacité de stockage de carburant au Nunavik, 2007-2017	49
Tableau 4. Évolution de la flotte de navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés, 1975-2017	51
Tableau 5. Évolution de la flotte de vraquiers de Fednav Limité, 1975-2017	52
Tableau 6. Voyages des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014	53
Tableau 7. Durée de la saison de navigation des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014	54
Tableau 8. Matrice des destinations des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014	55
Tableau 9. Temps d'escale des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 1996-2015	63
Tableau 10. Temps d'escale minimum, maximum et écart-type des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés par village et site miniers au Nunavik, 2005-2014 (heures)	64
Tableau 11. Volume et valeur des expéditions de nickel produit au Québec, 2005-2014	74
Tableau 12. Volume et valeur des expéditions de cuivre produit au Québec, 2005-2014	75
Tableau 13. Transporteurs maritimes à Baie Déception, 2005-2014	78
Tableau 14. Durée de la saison de navigation des navires de Fednav à Baie Déception au Nunavik, 2005-2014	79
Tableau 15. Saisonnalité et temps d'escale des transporteurs de minerais à Baie Déception, 2005-2014	80
Tableau 16. Voyages et temps d'escale des navires Arctic, Umiak I et Nunavik de Fednav à Baie Déception par saison de navigation, 2005-2014 (jours)	81
Tableau 17. Évolution de la flotte de navires de marchandises générales de NEAS, 1980-2017	88
Tableau 18. Voyages des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2014	90
Tableau 19. Durée de la saison de navigation des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2014	91
Tableau 20. Matrice des destinations des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2009	91
Tableau 21. Matrice des destinations des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2010-2014	92
Tableau 22. Évolution de la flotte de navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés, 1971-2017	94
Tableau 23. Voyages des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014	96
Tableau 24. Durée de la saison de navigation des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014	97

Tableau 25. Matrice des destinations des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2009	98
Tableau 26. Matrice des destinations des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2010-2014	100
Tableau 27. Saisonnalité des transporteurs de marchandises générales au Nunavik, 2005-2014	101
Tableau 28. Escales des transporteurs de marchandises générales dans les villages et sites miniers au Nunavik et au Nunavut, 2005-2014	102
Tableau 29. Paramètres climatiques et environnementaux et seuils limites qui peuvent influencer le transport maritime au Nunavik	111
Tableau 30. Paramètres sur la température de l'air, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime	113
Tableau 31. Paramètres sur les précipitations, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime	115
Tableau 32. Paramètres sur le brouillard, le vent et les tempêtes, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime	118
Tableau 33. Paramètres sur les conditions de glace de mer et de rive, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime	122
Tableau 34. Paramètres sur les niveaux d'eau, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime	124
Tableau 35. Niveau des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux	130
Tableau 36. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air au Nunavik	132
Tableau 37. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations au Nunavik	133
Tableau 38. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes au Nunavik	135
Tableau 39. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace au Nunavik	136
Tableau 40. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres environnementaux des niveaux d'eau au Nunavik	137
Tableau 41. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	140
Tableau 42. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	140
Tableau 43. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	141

Tableau 44. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	141
Tableau 45. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	144
Tableau 46. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	144
Tableau 47. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	145
Tableau 48. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	145
Tableau 49. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	146
Tableau 50. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	147
Tableau 51. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik	148
Tableau 52. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	149
Tableau 53. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison été-automne et hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik	150
Tableau 54. Niveau de gravité des conséquences par indicateur d'accessibilité maritime pour le Nunavik	154
Tableau 55. Échelle de risque des composantes du transport maritime en fonction des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux dans un contexte de changement climatique et environnemental au Nunavik	156
Tableau 56. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites de la température de l'air au Nunavik	159
Tableau 57. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) des seuils limites du régime de précipitations au Nunavik	161
Tableau 58. Analyse de risque du transport maritime aux conditions futures (2017-2040) des seuils limites du régime de précipitations au Nunavik	162
Tableau 59. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites du brouillard, des vents et des tempêtes au Nunavik	164

Tableau 60. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites des conditions de glace au Nunavik	166
Tableau 61. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour la température de l'air au Nunavik	168
Tableau 62. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour le régime de précipitations au Nunavik	169
Tableau 63. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour le brouillard, les vents et les tempêtes au Nunavik	170
Tableau 64. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres environnementaux pour les conditions de glace au Nunavik	171
Tableau 65. Niveaux de vulnérabilité des composantes du transport maritime en fonction des changements du risque à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik	176
Tableau 66. Niveaux de vulnérabilité de l'accès et de la desserte maritime des villages et sites miniers en fonction des changements du risque à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik	178
Tableau 67. Niveaux de résilience des indicateurs d'accessibilité pour l'accès maritime des villages et sites miniers en fonction des changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik	180
Tableau 68. Niveaux de vulnérabilité des composantes du transport maritime aux changements climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040	182
Tableau 69. Niveaux de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements de la température de l'air au Nunavik à l'horizon 2040	189
Tableau 70. Niveaux de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements du régime de précipitations au Nunavik à l'horizon 2040	191
Tableau 71. Niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements des conditions de glace au Nunavik à l'horizon 2040	193
Tableau 72. Résilience des indicateurs d'accessibilité pour l'accès maritime des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik en fonction des changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040	194

Tableau 73. Paramètres climatiques de la base de données météorologiques horaires	246
Tableau 74. Qualité de la base de données météorologiques horaires par village nordique et sites miniers au Nunavik	247
Tableau 75. Paramètres climatiques de la base de données météorologiques journalières d'Environnement Canada	248
Tableau 76. Période couverte par la base de données météorologiques journalières d'Environnement Canada au Nunavik	248
Tableau 77. Paramètres et indicateurs climatiques de la base de données sur l'évolution future du climat au Nunavik	249
Tableau 78. Simulations climatiques régionales utilisées dans l'élaboration des scénarios de changements climatiques au Nunavik, 2017-2040	251
Tableau 79. Fréquence de publication des cartes de glace du Service canadien des glaces, 1990-2016	252
Tableau 80. Villages du Nunavik aux fréquences les plus élevées d'occurrence des vents, 1993-2016	310
Tableau 81. Nombre de jours libres de glace le long des côtes du Nunavik, 2005-2015	320
Tableau 82. Marnage des façades maritimes au Nunavik	329

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Villages et sites d'exploitation minières au Nunavik, 2018	26
Figure 2. Principaux passages maritimes dans les eaux arctiques canadiennes	36
Figure 3. Localisation géographique de Quaqtaq	57
Figure 4. Complexes miniers de la région de Katinnik au Nunavik	70
Figure 5. Infrastructures maritimes à Baie Déception au Nunavik	72
Figure 6. Évolution du cours du nickel et exportations du Nunavik, 2009-2014	74
Figure 7. Évolution du cours du cuivre et exportations du Nunavik, 2009-2014	75
Figure 8. Évolution du rapport stock-utilisation du nickel et du cuivre, 2010-2019	76
Figure 9. Saisonnalité des navires de vrac sec à Baie Déception, 2005-2014	82
Figure 10. Logements sociaux construits au Nunavik, 2005-2013	85
Figure 11. Localisation des infrastructures maritimes à Kuujjuak au Nunavik	120
Figure 12. Localisation des infrastructures maritimes à Akulivik au Nunavik	120
Figure 13. Trafic maritime de produits dangereux dans l'Arctique Canadien, 2013	209
Figure 14. Projet de port en eaux profondes à Iqaluit	212
Figure 15. Escales du réseau maritime de NEAS	215
Figure 16. Tracé potentiel d'un chemin de fer au Nunavik	219
Figure 17. Zones de pergélisol au Nord du Québec et au Labrador	220
Figure 18. Pourcentage de jours avec une température >20°C (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	255
Figure 19. Pourcentage de jours avec une température >20°C (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	256
Figure 20. Pourcentage de jours avec une température >20°C (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	258
Figure 21. Pourcentage de jours avec une température >20°C (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	259
Figure 22. Pourcentage de jours avec une température <-35°C (hiver-printemps), 1993-2016	262
Figure 23. Pourcentage de jours avec une température <-35°C (hiver-printemps), 2017-2040	263
Figure 24. Pourcentage de jours de vague de froid (hiver-printemps), 1993-2016	265
Figure 25. Pourcentage de jours de vague de froid (hiver-printemps), 2017-2040	267
Figure 26. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	268
Figure 27. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	269
Figure 28. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	270
Figure 29. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	270
Figure 30. Pourcentage de jours de fortes pluies (été-automne) au Nunavik, 1961-2010	272
Figure 31. Pourcentage de jours de fortes pluies (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010	272

Figure 32. Pourcentage de jours de fortes pluies (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	274
Figure 33. Pourcentage de jours de fortes pluies (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	274
Figure 34. Pourcentage de jours de fortes pluies prolongées (été-automne) au Nunavik, 1961-2010	275
Figure 35. Pourcentage de jours de fortes pluies prolongées (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	277
Figure 36. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (été-automne) au Nunavik, 1961-2010	278
Figure 37. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010	279
Figure 38. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	280
Figure 39. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	280
Figure 40. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (été-automne) au Nunavik, 1961-2010	281
Figure 41. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010	282
Figure 42. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	283
Figure 43. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	283
Figure 44. Pourcentage de jours de pluies d'hiver au Nunavik, 1961-2010	284
Figure 45. Pourcentage de jours de pluies d'hiver au Nunavik, 2017-2040	285
Figure 46. Pourcentage de jours de pluies verglaçantes (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	287
Figure 47. Pourcentage de jours de pluies verglaçantes (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	287
Figure 48. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm en été-automne) au Nunavik, 1961-2010	289
Figure 49. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm en hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010	290
Figure 50. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm en été-automne) au Nunavik, 2017-2040	292
Figure 51. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm en hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	292
Figure 52. Pourcentage de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm (hiver-printemps) au Nunavik, 1955-2015	294
Figure 53. Pourcentage de jours de brouillard léger (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	296
Figure 54. Pourcentage de jours de brouillard léger (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	297

Figure 55. Pourcentage de jours de brouillard dense (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	299
Figure 56. Pourcentage de jours de brouillard dense (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	300
Figure 57. Pourcentage de jours de vent ≥ 29 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	302
Figure 58. Pourcentage de jours de vent ≥ 29 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	303
Figure 59. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 39 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	305
Figure 60. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 39 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	306
Figure 61. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 62 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	307
Figure 62. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 62 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	308
Figure 63. Pourcentage de jours de tempête (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	313
Figure 64. Pourcentage de jours de tempête (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	314
Figure 65. Première semaine avec une concentration de glace inférieure à 5/10 au Nunavik, 1990-2016	317
Figure 66. Première semaine avec une concentration de glace supérieure à 5/10 au Nunavik, 1990-2016	318
Figure 67. Nombre de semaines avec une concentration de glace supérieure à 5/10 pendant la saison estivale-automnale au Nunavik, 1990-2016	319
Figure 68. Pourcentage de jours englacés (été-automne) au Nunavik, 1961-2010	321
Figure 69. Pourcentage de jours englacés (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010	322
Figure 70. Pourcentage de jours englacés (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	324
Figure 71. Pourcentage de jours englacés (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	324
Figure 72. Pourcentage de jours présentant un cycle de gel et dégel (été-automne) au Nunavik, 1993-2016	326
Figure 73. Pourcentage de jours présentant un cycle de gel et dégel (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016	327
Figure 74. Pourcentage de jours présentant un cycle de gel et dégel (été-automne) au Nunavik, 2017-2040	328
Figure 75. Pourcentage de jours présentant un cycle de gel et dégel (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040	328

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Ce rapport présente les résultats du projet de recherche «Changements climatiques et transport maritime au Nunavik: vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation» réalisé pour le Bureau de la coordination du Nord-du-Québec (BCNQ) du ministère des Transports du Québec dans le cadre du Plan d'Action sur les Changements Climatiques 2013-2020 (PACC 2013-2020) du gouvernement du Québec. L'objectif de ce rapport consiste à analyser les éléments suivants: 1) les flux récents de fret maritime au Nunavik; 2) les risques naturels et climatiques qui ont et qui pourraient exercer un impact sur la desserte et le transport maritime; 3) les possibilités futures de trafic en fonction des risques potentiels liés aux changements climatiques; et 4) les solutions d'adaptation pour assurer la desserte des communautés isolées du territoire arctique québécois. Dans le but d'atteindre cet objectif, cinq objectifs spécifiques sont retenus:

- Présenter les paramètres géographiques qui sont déterminants pour le transport maritime dans l'Arctique canadien et pour l'accès aux villages et sites miniers du Nunavik;
- Décrire les actions gouvernementales qui sous-tendent l'approvisionnement et la distribution de fret au Nunavik;
- Analyser le transport maritime au Nunavik sur le plan de la nature même de cette activité, des conditions de desserte, des flux de fret et des opérations des transporteurs de vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales;
- Déterminer les risques naturels et climatiques à venir (en tenant compte des risques passés et actuels) qui induisent des vulnérabilités pour le transport maritime, l'accès et la desserte maritime du Nunavik;
- Évaluer l'impact des changements climatiques sur le transport et la desserte maritime du Nunavik.

Après une description de la géographie maritime au Nunavik, le chapitre 3 effectue un recensement des différentes initiatives gouvernementales visant à favoriser le développement socio-économique dudit territoire et leur impact sur le développement des infrastructures et le transport maritime au Nunavik.

Les chapitres 4, 5 et 6 présentent une analyse de la desserte maritime de vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik. Chaque type de desserte est évalué en fonction des conditions de la demande, des stratégies des transporteurs sur le plan du nombre et de la durée des voyages, de la séquence et du nombre d'escales ainsi que du temps d'escale pour chaque voyage sur une période d'une décennie.

Le chapitre 7 consiste à identifier les paramètres climatiques et environnementaux et leurs seuils limites qui sont susceptibles d'engendrer des impacts sur les composantes du transport et de la desserte maritime au Nunavik.

Le chapitre 8 porte sur l'analyse de 22 paramètres climatiques et environnementaux pouvant induire des risques pour le transport maritime au Nunavik. Pour chaque paramètre, l'analyse des conditions climatiques et environnementales est effectuée en fonction des 1) seuils limites; 2) tendances historiques (1990-2016) et futures (2017-2040); 3) probabilités d'occurrence; 4) différences saisonnières (été-automne et hiver-printemps) passées et futures et 5) variantes entre les villages et sites miniers.

Les résultats de cette analyse climatique et environnementale ont permis ensuite d'évaluer au chapitre 9 les risques naturels associés aux changements climatiques pour les composantes suivantes: 1) le mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier; 2) la durée de la saison de navigation; 3) les opérations de chargement/déchargement; 4) la manutention du vrac liquide (produits pétroliers et chimiques); 5) la manutention du vrac sec (concentré de minerai); 6) la manutention des marchandises générales; 7) le fonctionnement des équipements à bord des navires; et 8) l'accès aux infrastructures et équipements maritimes au Nunavik.

À partir de l'analyse des risques liés aux changements climatiques réalisée pour chacune des huit composantes du transport maritime indiquées précédemment, le chapitre 10 présente les résultats de l'analyse de vulnérabilité du transport, de la desserte et de l'accès maritime des villages et sites miniers au Nunavik aux changements climatiques à l'horizon 2040. L'évaluation de la vulnérabilité des composantes du transport maritime au Nunavik a été réalisée en fonction des changements du niveau de risque à l'horizon 2040. La vulnérabilité de l'accès et de la desserte maritime de chaque village et site minier au Nunavik prend la forme d'une comparaison entre la charge existante aujourd'hui et celle liée aux changements des paramètres climatiques de température de l'air, du régime de précipitations et de conditions de glace à l'horizon 2040. Ces analyses de vulnérabilité permettent ensuite d'évaluer la résilience de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik en fonction de six indicateurs de performance permettant d'assurer la desserte maritime durable du Nunavik: 1) desserte et accès aux infrastructures maritimes; 2) état du navire et des équipements; 3) état de la marchandise; 4) sécurité du personnel; 5) environnement; et 6) temps de transport.

Cette évaluation permet 1) de mesurer la vulnérabilité du transport maritime et de la desserte maritime aux changements climatiques et environnementaux; 2) de préciser les différents niveaux d'exposition des villages nordiques et sites miniers du Nunavik aux changements climatiques et environnementaux; 3) d'évaluer la persistance des composantes du transport maritime et de leur capacité à absorber les perturbations des changements climatiques et environnementaux, de manière à maintenir les mêmes fonctions pour les chaînes d'approvisionnement, de transport, de logistique et de distribution de fret pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik; et 4) d'identifier des mesures d'adaptation aux changements climatiques et environnementaux pour la

navigation maritime et les chaînes d'approvisionnement dans une perspective durable.

Sur le plan positif, les changements climatiques et environnementaux devraient entraîner une augmentation de la productivité du personnel à bord des navires, une réduction des besoins en carburant et une diminution de la perturbation du transport maritime notamment en raison d'une hausse des températures. Sur le plan négatif, les transporteurs maritimes seront assujettis à des primes d'assurance plus élevées en raison d'une saison de navigation prolongée et une plus grande exposition à des conditions climatiques extrêmes. Ce prolongement de la durée potentielle de la saison de navigation devrait accroître l'aire géographique de service de transport maritime au Nunavik plus tard à l'automne. L'évolution des paramètres climatiques et environnementaux notamment la hausse des températures devrait accroître la rapidité des opérations de chargement/déchargement de fret dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik. Mais les aires de manutention de fret à terre seront affectées par des problèmes de drainage en raison des changements anticipés sur le plan du régime de précipitations et du dégel comme mécanisme qui influencera le drainage, ce qui pourrait restreindre le mouvement de véhicules.

Les changements climatiques pourraient réduire les délais pour le transport par mer de la livraison de produits pétroliers. Cependant, les épisodes de vagues de froid pourraient affecter les pompes conventionnelles de déchargement de combustibles des navires aux réservoirs de carburant des villages nordiques et sites miniers au Nunavik. Certaines séquences de défaillance peuvent survenir en raison de la dilatation et de la déformation des tuyaux flottants qui nécessiteront un besoin accru de suivi et d'entretien. D'un point de vue positif, les changements climatiques pourraient faciliter les opérations des secteurs de chargement de produits miniers. Mais l'extension de la saison de navigation dans un contexte de changement dans le régime de précipitation pourrait entraîner des délais dans les opérations de chargement de produits miniers en raison des risques de liquéfaction qui forcent un arrêt des opérations. Les changements climatiques devraient faciliter les opérations de transfert incluant l'entreposage de marchandises générales dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik. Toutefois l'augmentation du trafic de marchandises et du nombre de conteneurs transportés pourrait mener à des séjours prolongés au sein des villages nordiques du Nunavik. Il en résulte que les mouvements par barge seront exposés aux répercussions défavorables des changements climatiques. L'évolution de certains paramètres climatiques devrait renforcer la capacité des systèmes d'information, de communication et de coordination à gérer et exploiter les navires dans les eaux nordiques. Cependant, les changements climatiques notamment les précipitations extrêmes pourraient altérer la performance des équipements à bord des navires et augmenter les frais d'entretien et de remplacement. Les changements climatiques devraient permettre une augmentation de la fréquence des services de transport maritime et une réduction de la période de construction et d'entretien des infrastructures

maritimes dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik. Par contre, l'évolution de certains paramètres climatiques et environnementaux devrait entraîner une perte nette de terres côtières affectant l'arrivée des barges sur les plages et une submersion des infrastructures maritimes pouvant compromettre la qualité et l'intégrité structurelle des infrastructures maritimes dont les quais, les ponts flottants et les rampes d'accès.

Les résultats de l'analyse de risque démontrent que les changements climatiques en lien avec la température maximale ($> 20^{\circ}\text{C}$) pourraient réduire le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques d'Akulivik, Inukjuak, Kangiqsujaq, Kuujjuarapik, Puvirnituk, Quaqaq et Salluit durant la saison de navigation été-automne à l'horizon 2040. La hausse des températures permettrait une plus grande facilité d'accès maritime à ces villages et pourrait faciliter les opérations de transport maritime. Le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux sites miniers de Baie Déception devrait demeurer inchangé à l'horizon 2040. Par contre, le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages d'Aupaluk, Ivujivik, Kangiqsualujjaq, Kangirsuk, Kuujuaq, Tasiujaq et Umiujaq devrait augmenter. Certaines procédures d'accès maritime devront sans doute être modifiées en raison d'une hausse des températures maximales durant la saison été-automne. À l'horizon 2040, l'accès maritime de tous les villages nordiques du Nunavik sera confronté à une hausse du niveau de vulnérabilité en lien avec les changements climatiques associés aux variabilités importantes de la température (25°C en une journée). Cette vulnérabilité pourrait affecter la manoeuvrabilité des navires et accroître les risques des opérations de déchargement de produits pétroliers.

L'analyse du niveau de vulnérabilité associée aux changements du régime de précipitations à l'horizon 2040 suggère que l'accès maritime de certains villages nordiques et sites miniers du Nunavik seront plus vulnérables. L'accès maritime durant la saison de navigation été-automne aux villages nordiques d'Akulivik, Inukjuak, Kangiqsujaq, Quaqaq, Salluit et aux sites miniers à Baie Déception sera fortement vulnérable aux fortes pluies (50 mm en 24 heures), fortes pluies prolongées (100mm / 5 jours), précipitations très intenses et précipitations extrêmes à l'horizon 2040. Le mouvement des navires et des barges sera affecté par une visibilité réduite, des opérations de navigation seront plus difficiles et l'accès maritime pourrait être davantage affecté par des risques accrus d'inondations des quais et des aires de manutention du fret. Les autres villages nordiques du Nunavik présentent différents niveaux de vulnérabilité d'accès maritime en lien avec l'évolution distincte des indicateurs du régime de précipitations durant la saison de navigation été-automne à l'horizon 2040. Ainsi, l'accès maritime du village d'Aupaluk serait soumis à une forte vulnérabilité aux fortes pluies et précipitations extrêmes. Mais Aupaluk afficherait un niveau de vulnérabilité modéré pour les épisodes de fortes pluies prolongées et un faible niveau de vulnérabilité pour les pluies très intenses. L'accès maritime au village d'Ivujivik serait peu vulnérable aux fortes pluies et aux pluies prolongées facilitant ainsi le mouvement des navires et des barges. Mais l'accès maritime à Ivujivik

serait très vulnérable aux précipitations très intenses et aux précipitations extrêmes. L'accès maritime au village de Kangisualujjuaq serait très peu vulnérable aux fortes pluies, mais afficherait un fort niveau de vulnérabilité pour les fortes pluies prolongées, précipitations très intenses et précipitations extrêmes. L'analyse comparative de la charge existante et charge totale suggère que l'accès maritime au village de Kangirsuk serait fortement vulnérable aux fortes pluies et aux précipitations extrêmes mais faiblement impacté par les pluies prolongées et les précipitations très intenses. Le niveau de vulnérabilité du village de Kuujjuaq serait très élevé lors de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes.

Mais les changements climatiques suggèrent peu de modification du niveau de vulnérabilité pour les précipitations très intenses. À l'horizon 2040, l'accès maritime au village de Kuujjuarapik ne devrait pas être modifié de façon significative par les changements climatiques en lien avec les épisodes de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes. Mais Kuujjuarapik devrait afficher une hausse du niveau de vulnérabilité de son accès maritime lors des périodes de précipitations très intenses. L'accès maritime du village de Puvirnituq serait faiblement vulnérable aux changements des épisodes de fortes pluies, mais serait très vulnérable aux changements en lien avec les pluies prolongées, les précipitations très intenses et les précipitations extrêmes. L'accès maritime au village de Tasiujaq serait fortement impacté lors des épisodes de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes. Mais l'analyse de l'évolution des changements climatiques en lien avec les précipitations très intenses suggère peu de vulnérabilité d'accès maritime pour le village de Tasiujaq. La comparaison entre la charge existante et la charge totale résultant des changements climatiques indique que l'accès maritime au village d'Umiujaq serait peu vulnérable aux périodes de fortes pluies et pluies prolongées, mais serait fortement vulnérable aux précipitations très intenses et précipitations extrêmes.

Les changements climatiques en lien avec les pluies d'hiver (25 mm de précipitations et $T_{min} > 0^{\circ}\text{C}$) et les fortes neiges (25 cm) n'affectent que l'accès maritime aux sites miniers à Baie Déception durant la saison hiver-printemps. L'accès maritime à Baie Déception serait fortement vulnérable à ces changements climatiques en raison d'une baisse d'une visibilité réduite et de l'augmentation du risque lié à l'alourdissement de la neige et du besoin accru d'entretien des navires, des routes et aires de services.

Les deux paramètres environnementaux en lien avec les conditions de glace devraient affecter le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik. Sur le plan négatif, en raison de l'absence de quai, tous les villages nordiques du Nunavik devraient afficher une hausse du niveau de vulnérabilité d'accès maritime en lien avec le cycle de gel et de dégel ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$). En effet, les villages devront adapter les pratiques de travail et les procédures d'entretien des infrastructures d'accès maritime. Ces

changements climatiques devraient accroître les risques aux activités de déchargement de carburant et de marchandises générales et pourraient poser des problèmes de sécurité pour les travailleurs par la présence de glace sur les rampes d'accès. Seul Baie Déception apparaît peu vulnérable au cycle de gel et de dégel. Sur le plan positif, la charge totale souligne que la réduction du nombre de jours englacés ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) pourrait faciliter l'accès maritime de tous les villages nordiques et sites miniers du Nunavik durant la saison de navigation plus tôt au printemps et plus tard à l'automne. Il en résultera une plus grande efficacité dans les opérations liées aux mouvements des navires et des barges et aux activités de déchargement du fret.

Malgré l'absence de données climatiques futures, les conditions de brouillard, de vents, de tempêtes ainsi que des niveaux d'eau continueront d'exercer un impact important sur le mouvement des navires ainsi que sur les activités de chargement et déchargement.

Le chapitre 11 présente différentes solutions d'adaptation et alternatives pour accroître la résilience du transport maritime des villages et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changement climatique et environnemental. L'examen a porté sur les solutions d'adaptation du transport maritime ainsi que pour la desserte maritime des villages nordiques et des sites miniers.

Pour le transport maritime, les solutions d'adaptation face aux changements climatiques portent sur l'amélioration de la prévision météorologique quotidienne et des modèles climatiques pour le Nunavik, le développement d'une meilleure connaissance de la bathymétrie, de l'adoption de nouvelles technologies pour améliorer la sécurité et la performance des navires et sur la construction d'un port refuge. Pour la desserte et l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers, les solutions d'adaptation aux changements climatiques ciblent sur la construction de nouvelles infrastructures portuaires et la formation du personnel maritime au sein des villages nordiques du Nunavik. La recherche a également porté sur l'évaluation d'un ensemble d'alternatives au transport maritime pour l'approvisionnement des villages et sites miniers au Nunavik incluant le prolongement de liens terrestres, de changements dans l'approvisionnement énergétique et l'utilisation de dirigeables cargo.

Les résultats contenus dans ce rapport mettent en évidence quelques constats:

La croissance de la demande de produits et services dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik en lien avec la croissance démographique et les projets miniers a une incidence directe sur les services de transport maritime. La capacité et la qualité des infrastructures maritimes sont indispensables à cette augmentation du trafic et ce, dans le respect de l'environnement.

Les changements climatiques au Nunavik sont une réalité qui ne doit pas être uniquement perçue comme une contrainte, mais peut s'avérer bénéfique pour le transport maritime.

L'adaptation du transport maritime aux changements climatiques dépend des modes de gestion, des activités et des investissements des transporteurs qui relèvent du secteur privé et qui doivent répondre à des objectifs de performance financière. Pour la desserte maritime, les solutions d'adaptation reposent essentiellement sur des investissements publics. L'évaluation du potentiel de développement et de localisation d'un port en eaux profondes au Nunavik tenant compte des risques climatiques et géophysiques, des indicateurs d'accessibilité, des conditions de marché et de facteurs coûts-avantages permettent de considérer plusieurs options d'adaptation. Parmi celles-ci il est proposé d'évaluer le potentiel d'un port de transbordement, d'un port refuge et d'attirer les croisières. Ces options ouvrent de nouvelles perspectives sur le plan des aires de marché, des enjeux de sécurité et d'activités économiques pouvant exercer un poids considérable relativement à l'implantation d'infrastructures portuaires. L'industrie maritime du Québec et du Canada reconnaît ces éléments comme des occasions favorables au développement socio-économique local, industriel et régional du Nunavik.

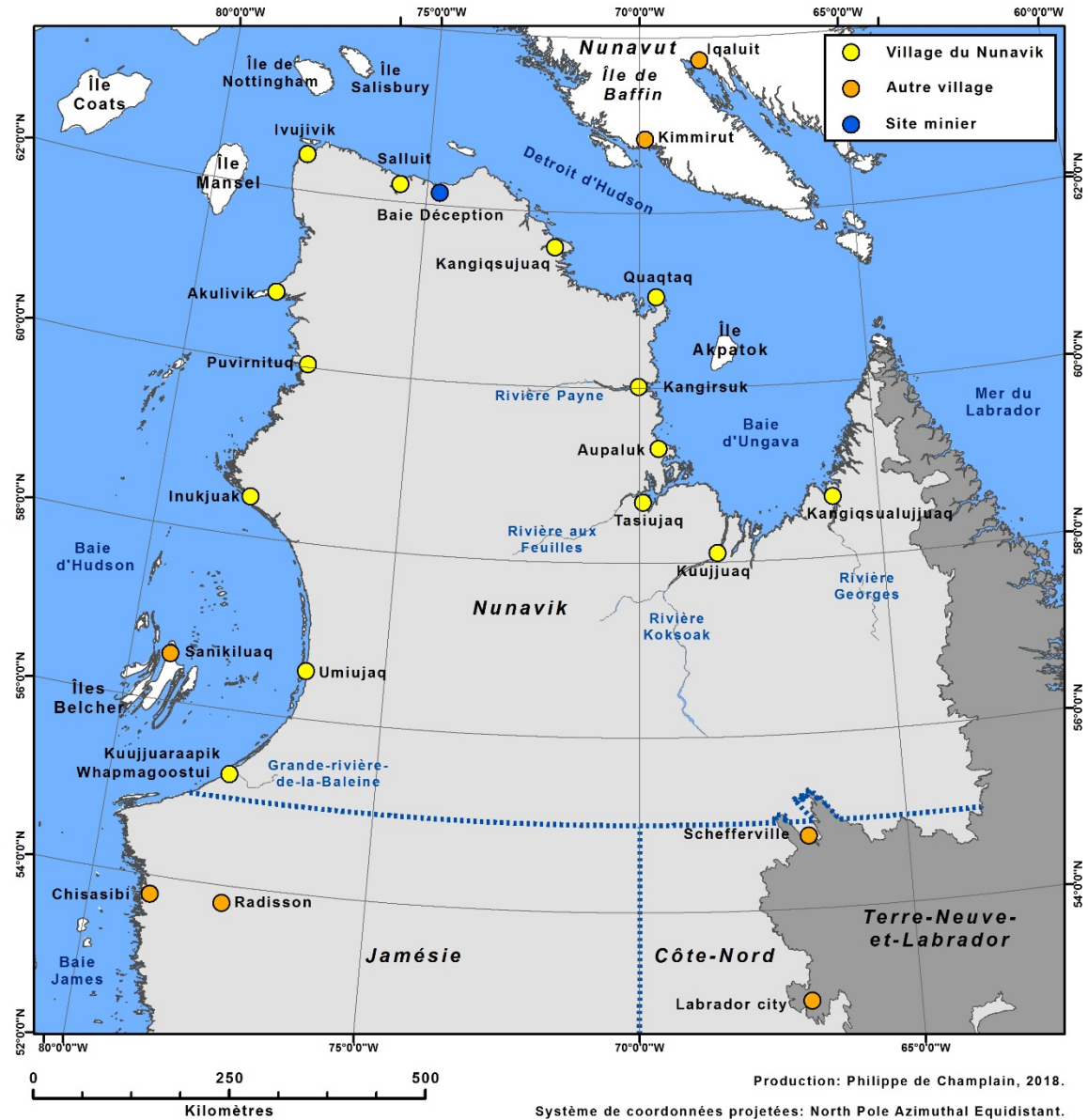
1. CONTEXTE

1.1. Territoire du Nunavik

Le Nunavik est un territoire situé au Nord-du-Québec, au nord du 55^e parallèle. La région est caractérisée par la présence de 14 communautés inuites appelées «villages nordiques» (Kuujjuarapik, Umiujaq, Inukjuak, Puvirnituk, Akulivik, Ivujivik, Salluit, Kangiqsujuaq, Quaqtaq, Kangirsuk, Aupaluk, Tasiujaq, Kuujuaq et Kangiqsualujuaq) et d'une communauté crie (Whapmagoostui) qui sont dispersées le long de la côte maritime du Nunavik. Également, des sites d'exploitation minière sont localisés au sud de la baie Déception (Figure 1). Ces communautés et sites isolés ne sont pas reliés entre eux ou vers le sud du Québec par un réseau de transport terrestre (Lemire, 2015; Transport Canada, 2015). Le transport aérien est essentiel pour assurer les déplacements au Nunavik. Mais la prise en compte du transport aérien ne permet pas de compenser totalement le déficit d'accessibilité des moyens de transport terrestre (Gordon, 2015). Le besoin de connexions par mer revêt une importance déterminante.

Des distances importantes entre les communautés et les sites miniers (entre 51,62 et 233,27 kilomètres) les séparent les uns des autres sur approximativement 10 000 kilomètres de rivages des côtes du Nunavik. L'accès à la mer à l'entrée d'affluents du littoral de la baie d'Ungava tels que la rivière aux Feuilles (480 km), la rivière George (475 km), la rivière Koksoak (140 km) et la rivière Payne (Arnaud) (280 km) ou de fleuve qui se jette dans la baie d'Hudson comme la Grande rivière de la Baleine (724 km) est un facteur déterminant dans l'établissement des villages nordiques. Mais ces voies d'eau intérieures ne se sont pas développées comme axes de pénétration.

Figure 1. Villages et sites d'exploitation minière au Nunavik, 2018



1.2. Croissance démographique au Nunavik

Depuis quelques années, la croissance démographique a enregistré plusieurs poussées au Nunavik. Les plus importantes sont liées à l'exploitation des ressources naturelles caractérisée par la création d'activités industrielles, la construction d'un port minier et le développement d'une économie relevant du secteur tertiaire supérieur.

En 2016, la population du Nunavik était estimée à 14 174 habitants (Statistique Canada, 2016). La population des villages varie de 2 750 à Kuujuaq à 210 à Aupaluk (Tableau 1). Depuis 1996, les communautés du Nunavik présentent un taux de croissance annuel moyen de 2,10%. Les communautés qui présentent les plus fortes croissances démographiques sont Tasiujaq, Salluit et Kuujuaq avec des taux de croissance annuel moyen de 3,36%, 2,35% et 2,35% respectivement.

Tableau 1. Évolution démographique au Nunavik, 1996-2016

Villages	1996	2006	2011	2016	TCAM (%)
Akulivik	411	507	615	635	2,19
Aupaluk	159	174	195	210	1,40
Inukjuak	1184	1597	1597	1760	2,00
Ivujivik	274	349	370	415	2,09
Kangiqsualujuaq	648	735	874	940	1,87
Kangiqsujuaq	479	605	696	750	2,26
Kangirsuk	394	466	549	570	1,86
Kuujuaq	1726	2132	2375	2750	2,35
Kuujuarapik	579	568	657	685	0,84
Puvirnituk	1169	1457	1692	1780	2,12
Quaqtaq	257	315	376	400	2,23
Salluit	929	1241	1347	1480	2,35
Tasiujaq	191	248	303	370	3,36
Umiujaq	315	390	444	445	1,74
Whapmagoostui	626	812	874	984	2,28
NUNAVIK	9341	11596	12964	14174	2,10

Source: SHQ, 2014; Statistique Canada, 2016.

Le Nunavik jouit d'un important potentiel de développement (Comité consultatif de l'environnement Kativik, 2007). Le besoin de réapprovisionnement des communautés, les activités de recherche, l'exploitation de ressources naturelles, la création spontanée de sites miniers, la mise en valeur du potentiel énergétique ajoutée à l'expansion de l'industrie touristique sont autant de secteurs qui favorisent l'essor socio-économique de cet espace périphérique. À l'évidence, de façon complémentaire, la poursuite de ce même objectif ne peut être favorisée que par le développement du transport maritime.

1.3. Desserte maritime au Nunavik

Une analyse de l'accessibilité maritime des communautés et des sites d'exploitation des ressources naturelles du Nunavik permet d'identifier deux services de transport maritime: un dédié aux activités minières et un assurant l'approvisionnement des villages nordiques.

1.3.1. Desserte des sites minières

Le Nunavik recèle une diversité de ressources minérales. Les dépôts présentement en exploitation incluent le minerai de fer ainsi que le nickel-cuivre. L'exploitation du minerai de fer est principalement effectuée dans la fosse du Labrador où le minerai est transporté par train vers les ports de Sept-Îles et Port Cartier. Deux mines de nickel-cuivre sont en exploitation au Nunavik: Mine Raglan (Glencore) et Nunavik Nickel (Canadian Royalties Inc.). D'autres gisements minières incluent notamment les ressources uranifères situées autour de la rivière George, une richesse diamantifère dans les monts Otish et dans le secteur des monts Torngat sur la rive nord du fjord d'Abloviak dans la Baie d'Ungava et un potentiel en terres rares au sud de Kuujuaq (gisement Ashram) et dans le secteur du lac Brisson à la frontière du Labrador.

Il existe plusieurs participants à la chaîne d'approvisionnement des minerais. Ceux-ci incluent les opérations minières, les services de transport, de manutention d'entreposage et de chargement, la métallurgie, les sociétés d'énergie, l'entreposage de déchets et l'industrie du recyclage et différentes entreprises de services.

L'analyse des flux de minerais présentement en cours d'exploitation au Nunavik permet de décrire les principales composantes des chaînes d'approvisionnement du nickel et du cuivre.

Premièrement, l'extraction des minerais de nickel et de cuivre couvre la prospection, l'exploration, le forage et la mise en exploitation. Les compagnies minières vont souvent contracter des entreprises tierces pour effectuer ces travaux et fournir d'autres services. Les prestataires de services tiers fournissent les équipements de forage, les produits chimiques, l'élimination des déchets, le transport du minerai et d'autres activités de soutien à l'extraction du minerai. Les

producteurs miniers ne contrôlent pas le prix des minerais, ni les intrants destinés à l'extraction de la matière première. Ils ne peuvent que contrôler les coûts de production.

Deuxièmement, lorsqu'une mine devient opérationnelle, le minerai extrait est concassé, broyé et traité sur place pour être transformé en concentré de nickel et de cuivre.

Troisièmement, les installations minières comprennent des réservoirs à combustibles et des zones de dépôt intérieur pour le concentré de nickel-cuivre. Par ailleurs, les compagnies minières disposent chacune d'infrastructures portuaires privées situées à 150 kilomètres des mines, à Baie Déception. Des routes praticables à l'année permettent de relier les sites miniers aux infrastructures portuaires. Ces infrastructures incluent un parc d'entreposage pour le pétrole et pour le minerai et sont capables de manutentionner les transferts de minerai organisés par l'industrie. Le produit sous forme de concentré est acheminé par camion où il est entreposé avant d'être chargé à bord d'un navire. Les quais dotés d'une profondeur de 10,7 mètres permettent d'accueillir des navires de classe Panamax. Ces infrastructures et les conditions de la navigation dans la région permettent à Baie Déception d'accueillir des navires toute l'année à la condition que ces navires soient construits pour naviguer dans les zones couvertes de glace durant la saison hivernale.

Quatrièmement, l'expédition maritime des minerais comporte deux volets distincts. D'une part, les minerais peuvent être expédiés de Baie Déception franco à bord (FAB). Dans ce cas, la responsabilité du vendeur/expéditeur prend généralement fin une fois la cargaison livrée à bord (une fois franchi le seuil du bastingage du navire). À ce stade le réceptionnaire – acquéreur – devient responsable du fret maritime et des coûts liés aux services terminaux et de transport terrestre à destination. D'autre part, un certain volume d'exportation de minerai de nickel et de cuivre relève du commerce intra-firme des groupes miniers multinationaux situés au Nunavik. Il en résulte que la traçabilité des activités d'exportation du flux de masse de minerai de nickel ou de cuivre de la chaîne d'approvisionnement n'est pas aisée.

1.3.2. Desserte des villages nordiques

Le transport maritime aux 14 villages nordiques du Nunavik peut être qualifié selon quelques caractéristiques objectives d'une chaîne de transport. Ces caractéristiques concernent les temps de transport, l'état des infrastructures, les enjeux de chargement des navires, les opérations de déchargement, la direction des flux et les coûts de transport.

Premièrement, le ravitaillement des villages au Nunavik s'effectue essentiellement durant l'été et l'automne par différentes compagnies de transport canadiennes. Traditionnellement, les transporteurs maritimes chargent leurs

navires à Côte-Sainte-Catherine, Valleyfield, Montréal ou Québec, au mois de juin afin d'effectuer une première desserte au Nunavik au début juillet. La courte durée de la saison de navigation (juillet à novembre) couplée à l'éloignement des villages à ravitailler impose une limite au nombre d'escales de navires par village. Il est donc impératif de prévoir les besoins des villages nordiques parfois plusieurs mois à l'avance.

Deuxièmement, les infrastructures maritimes des villages au Nunavik sont très modestes. Elles varient d'un village à l'autre, mais se résument généralement à des brise-lames, rampes d'accès, pontons flottants, bassins de mouillage et aires d'entreposage (MTQ, 2002). Dans les villages nordiques, il n'existe aucune infrastructures en eaux profondes permettant l'accostage de navires.

Les aides à la navigation incluant les cartes marines, les alignements dont certains lumineux, les aides radio et les instructions nautiques sont essentiellement sous la responsabilité de la Garde Côtière canadienne.

Troisièmement, la gestion des opérations de chargement des navires est très complexe. D'abord, les navires doivent transporter un large éventail d'équipements pour le déchargement. Ceux-ci incluent l'équipement nécessaire pour le transbordement sur des barges d'allègement tirés par des remorqueurs, et les équipements pour décharger les barges une fois rendues à l'infrastructure maritime du village nordique. Ensuite, les cargaisons affichent une grande variété de dimensions et des contraintes de poids. La marchandise doit être conditionnée sous différents emballages et contenants. Ces emballages incluent des caissons fermés ou ouverts, des barils sur palette et des grands sacs permettant d'être manutentionnés par chariot élévateur, résistants aux intempéries et conçus pour être empilés. L'utilisation de conteneurs maritimes représente environ 50% des volumes transportés. Les objectifs du conditionnement des marchandises consistent à 1) assurer que les produits conservent leurs propriétés; 2) protéger les produits contre toute dégradation due à des agents extérieurs; 3) optimiser les opérations logistiques sur le plan de la manutention, du transport et de l'entreposage. Enfin, le chargement s'effectue selon un plan d'arrimage précis indiquant la localisation des produits à bord du navire en fonction d'une ségrégation des produits dangereux et des destinations successives tout au long de l'itinéraire prévu au Nunavik.

Quatrièmement, les opérations de transbordement sont très segmentées. En l'absence de quai, les navires doivent s'ancrer à proximité des villages. Pour les produits pétroliers, le déchargement nécessite la mise à l'eau d'un remorqueur permettant le déploiement d'un tuyau flottant qui sera raccordé au pipeline terrestre. Lorsque l'utilisation de tuyau flottant n'est pas possible, comme c'est le cas à Kuujuaq, le carburant est déchargé sur une barge munie de réservoirs. La barge est ensuite acheminée vers la plage par le remorqueur. Les opérations de pompage vers les réservoirs peuvent débuter à l'arrivée de la barge sur la plage. Pour le transbordement de marchandises générales les navires doivent disposer

de remorqueurs et de barges. Un chariot élévateur tout terrain est déposé sur une barge au début des opérations. Les remorqueurs et les barges effectuent ensuite la navette entre le navire et la plage en utilisant le chariot élévateur pour transférer le matériel emballé.

Cinquièmement, le transport maritime offert aux villages au Nunavik sont caractérisés par un déséquilibre des flux. Les villages sont des lieux de consommation qui importent bien plus qu'ils n'exportent. L'éventail des produits acheminés au Nunavik inclut des biens de consommation, de la nourriture, des matériaux de construction, des hydrocarbures, des véhicules et autres produits lourds (i.e. machinerie, réservoirs, acier, etc). Dans la plupart des villages le volume de marchandises embarquées à bord des navires en direction du Sud est essentiellement composé de vieille machinerie et de véhicules usagés ainsi que d'équipements contaminés (barils vides de produits pétroliers, etc.) et de biens personnels. Ce volume représente un pourcentage marginal du volume de marchandises débarquées.

Sixièmement, les tarifs de transport maritime de marchandises au Nunavik sont nettement plus élevés que dans le reste du Québec en raison de la réduction de l'offre de transport et de la faiblesse du fret de retour. Il en résulte que le prix de certains biens y est de 50% à 100% plus élevé que celui en vigueur dans les centres urbains du Québec (Commission des transports et de l'environnement, 2006; Lance, 2017).

1.4. Transport maritime et changements climatiques

Il existe une très vaste littérature sur les impacts des changements climatiques sur l'environnement arctique. Par ailleurs, les connaissances concernant les changements climatiques et conditions environnementales et leurs impacts spécifiques sur plusieurs aspects liés au transport maritime sont de plus en plus précises (Berle et al, 2011; Ng, et al, 2013; Nursey-Bray et al, 2013; Acciario et al, 2014). Étonnamment, peu d'études ont considéré l'impact des changements climatiques sur le transport maritime dans l'océan Arctique. Les principaux paramètres climatiques abordés dans la littérature concernent le réchauffement des températures et les changements dans le régime de glace.

La hausse des températures causée par les changements climatiques peut présenter des opportunités pour le transport maritime. Le réchauffement des températures modifie la saison de navigation par un dégel plus hâtif et un englacement plus tardif. Plusieurs auteurs affirment que ce réchauffement laisse entrevoir un accroissement du potentiel de nouvelles routes maritimes par le Nord permettant de réduire ainsi les temps et les coûts de transport entre l'Atlantique et le Pacifique (Pelletier et Lasserre, 2012; Stephenson et al, 2013). Cet argument est repris par d'autres auteurs qui démontrent qu'une réduction du couvert de glace soulève de nouvelles possibilités pour le développement

d'activités en lien avec l'industrie des croisières (Stewart et al, 2007; Dawson et al, 2014).

En fort contraste, les changements climatiques peuvent également exercer un impact négatif sur le transport maritime. Au Nunavik ces changements s'expriment notamment par une plus grande fragmentation du couvert de glace. Pizzolato et al (2014) expliquent l'influence des changements de conditions de glace en tant que facteur dans le processus de décision des armateurs qui opèrent dans les eaux arctiques. Lackenbauer et Lajeunesse (2014) suggèrent que les changements climatiques mènent à une plus grande variabilité des épaisseurs moyennes de glace et surtout à un morcellement du couvert de glace. Ces glaces poussées par le vent et les courants peuvent former un relief de champ de glace pouvant atteindre plusieurs mètres au-dessus du niveau d'eau et influencer les opérations de navigation. Cette thèse est également reprise par Falkingham et al (2001) et Howell et Yackel (2004) qui pensent que le changement de régime de glace constitue un défi pour l'itinéraire des navires dans un contexte de réchauffement du climat. Cette modification du mouvement des glaces pourrait également affecter les infrastructures maritimes.

1.5. Objectifs du projet de recherche

La plupart des scénarios de développement socio-économique du Nunavik sont conditionnés par le rôle et la fonction du transport maritime. En plus des caractéristiques structurelles du transport maritime au Nunavik déjà évoquées, le transport maritime est également affecté par les changements climatiques. Les changements climatiques qui affectent les régions polaires en milieu arctique permettent d'anticiper une croissance de la navigation maritime et peuvent modifier la durée des traversées maritimes (Giguère, Comtois & Slack, 2017). Les aléas climatiques peuvent également perturber certains itinéraires et entraîner des délais d'acheminement du fret comme vu précédemment.

L'objectif de ce rapport consiste à analyser: 1) les flux récents de fret maritime au Nunavik; 2) les risques naturels et climatiques qui ont et qui pourraient exercer un impact sur le transport maritime; 3) les possibilités futures de trafic en fonction des risques potentiels liés aux changements climatiques; et 4) les solutions d'adaptation pour assurer la desserte des communautés isolées du territoire arctique québécois. Pour ce, cinq objectifs spécifiques ont été identifiés:

- Présenter les paramètres géographiques qui sont déterminants pour le transport maritime dans l'Arctique canadien et pour l'accès aux villages et sites miniers du Nunavik
- Décrire les actions gouvernementales qui sous-tendent l'approvisionnement et la distribution de fret au Nunavik;
- Analyser le transport maritime au Nunavik sur le plan de la nature même de cette activité, des conditions de desserte, des flux de fret et des opérations des transporteurs de vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales;

- Déterminer les risques naturels et climatiques à venir (en tenant compte des risques passés et actuels) qui induisent des vulnérabilités pour le transport maritime, l'accès et la desserte maritime du Nunavik;
- Évaluer l'impact des changements climatiques sur le transport et la desserte maritime et la desserte maritime du Nunavik.

2. GÉOGRAPHIE MARITIME DE L'ARCTIQUE CANADIEN

Les connexions maritimes polaires demeurent incertaines en raison de la fragmentation des connaissances bathymétriques et les expéditeurs de fret sont réticents à intégrer les routes maritimes nordiques au sein de leurs opérations. Cette réponse des expéditeurs aux besoins des chaînes d'approvisionnement ne posait pas de problème important en raison de la faible participation de l'Arctique au sein de l'économie mondiale. Mais les investissements récents dans le domaine des transports, la richesse du sous-sol en hydrocarbures et en dépôts miniers ainsi que la concurrence entre les transporteurs pour des routes maritimes plus courtes entre l'Europe et l'Asie nécessitent une réévaluation du transport maritime en milieu arctique. Le contexte lié à l'environnement marin, géophysique et côtier influence grandement le transport maritime.

2.1. Objectif

Afin de comprendre les conditions de navigation dans l'Arctique canadien et au Nunavik, l'objectif du présent chapitre consiste à présenter les déterminants géographiques pour appuyer l'analyse sur le transport maritime au Nunavik.

2.2. Méthodologie

La première démarche consiste d'abord à identifier les sources d'information sur la géographie maritime de l'Arctique. Les passages maritimes dans l'archipel arctique canadien incluent plusieurs routes. La cartographie permet d'identifier les différentes avenues de pénétration entre l'Atlantique et le Pacifique sur lesquelles viennent se brancher latéralement toute une série de chenaux plus ou moins perpendiculaires.

2.3. Données sur la géographie maritime de l'Arctique

Les informations relatives à la bathymétrie et aux côtes de chaque communauté nordique au Nunavik ont été acquises auprès de Pêches et Océans Canada et du Service hydrographique du Canada. Les rapports de la Garde Côtière Canadienne incluant les témoignages recueillis auprès de transporteurs dressent un portrait des nombreuses contraintes sur le plan de l'environnement physique et des conditions atmosphériques pour les liens maritimes avec les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik.

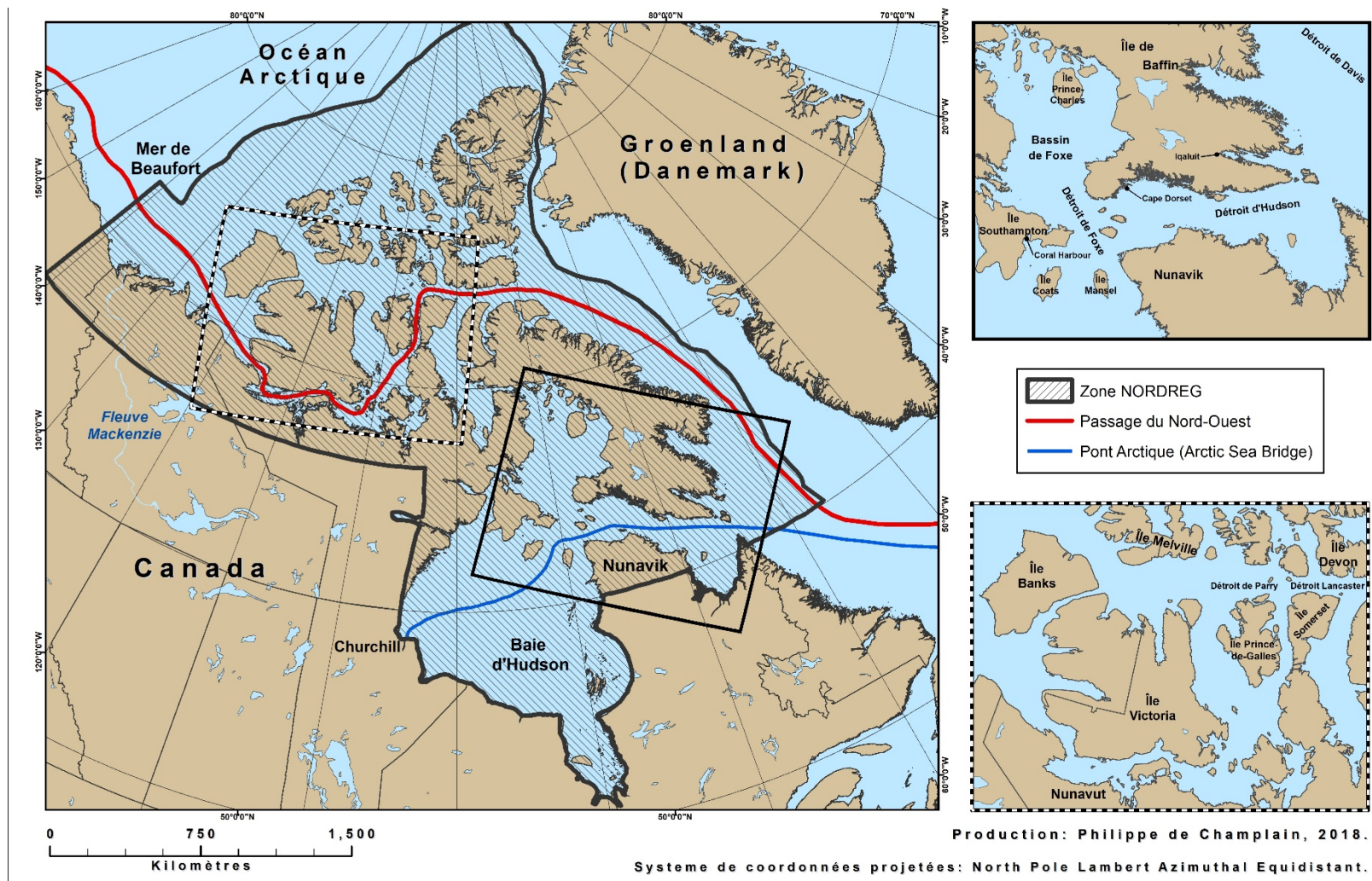
2.4. Arctique canadien

Les **passages maritimes** dans l'archipel arctique canadien incluent plusieurs parcours. Les traverses dans les eaux arctiques du Canada se révèlent être plus complexes que celles dans le Passage du Nord-Est qui longe la Russie.

L'océan Arctique est une mer semi-fermée où les passages maritimes à l'entrée Atlantique offrent une profondeur et une largeur plus avantageuses que celle du Pacifique. Deux éléments caractérisent l'Arctique canadien. **Premièrement**, l'archipel de l'océan Arctique est constitué de nombreuses îles qui sont séparées par un réseau de canaux affichant de nombreux parcours. Mais leurs caractéristiques physiques ont tendance à favoriser la formation de glace, notamment l'accumulation de glaces pluriannuelles, rendant les passages difficiles et variables. Le détroit d'Hudson relie la baie d'Hudson au détroit de Davis lui-même relié à l'océan Atlantique. **Deuxièmement**, la baie d'Hudson, une mer intérieure de 1,2 million km², est géographiquement hors de l'Arctique mais n'est en réalité accessible que par le nord. Malgré son emplacement méridional, elle est presque entièrement couverte de glace de décembre à la mi-juin. La baie d'Hudson est généralement totalement libre de glace du milieu d'août jusqu'à la formation initiale de glace dans la baie vers la fin du mois d'octobre. La saison de navigation est généralement comprise entre juin et début novembre en raison de la variabilité des conditions des glaces.

La Garde Côtière Canadienne reconnaît deux passages principaux dans les eaux nordiques canadiennes (Figure 2). Le premier passage (Le Pont Arctique) se situe au sud de l'île de Baffin de la mer du Labrador et de l'océan Atlantique à travers le détroit d'Hudson jusque dans la baie d'Hudson, au port de Churchill. Le second passage longe le détroit de Davis jusqu'au détroit de Lancaster entre l'île de Baffin et l'île Devon, l'entrée orientale du Passage du Nord-Ouest. De là plusieurs passages passent dans les eaux qui séparent les îles de l'archipel. Le Passage du Nord-Ouest illustré à la Figure 2 passe au sud entre les îles Somerset et Prince-de-Galles puis vers l'ouest entre le continent et l'île Somerset. Cette route permet un accès au delta et au fleuve Mackenzie ainsi qu'à la mer de Beaufort. Une route maritime plus directe à la mer de Beaufort passe à l'ouest du détroit de Davis entre les îles Melville et Banks.

Figure 2. Principaux passages maritimes dans les eaux arctiques canadiennes



2.5. Nunavik

L'accès maritime aux infrastructures maritimes des villages nordiques et des sites d'exploitation minière du Nunavik est confronté à plusieurs contraintes de navigation.

La **baie d'Ungava** est un des endroits qui présente l'amplitude des marées parmi les plus grandes au monde (Webb, 2013). L'imagerie satellitaire aidant à la navigation varie en fonction des conditions de marnage de la baie, ce qui rend les opérations de navigation maritime plus complexes. Les transporteurs possèdent des informations publiques sur la bathymétrie de Pêches et Océans Canada, mais ces informations s'avèrent limitées (Seube, 2014). Le système de navigation canadien oblige les transporteurs à n'utiliser que les données officielles d'un service hydrographique reconnu. Mais nos enquêtes de terrain révèlent que certains transporteurs maritimes disposent d'informations bathymétriques complémentaires colligées par les navigateurs lors de leurs séjours en eaux nordiques. Par ailleurs, les navigateurs connaissent la limite des aides à la navigation sur le plan des technologies présentement utilisées dans les eaux arctiques canadiennes ainsi que sur le plan des programmes de travaux d'entretien menés par la Garde Côtière Canadienne eu égard à la qualité des ancrages et des marques de jours des alignements. Il en résulte que les navigateurs doivent redoubler de prudence lors de la circulation dans les corridors de la baie en raison des contraintes précitées. Les navires doivent obligatoirement circuler au sein de corridors maritimes qui sont balisés afin de réduire les risques liés à la navigation. Cependant, l'inadéquation des levés hydrographiques, les défis de transmission d'informations sur les conditions météorologiques et l'état des glaces, la présence réduite de brise-glaces ou la faiblesse des mécanismes de surveillance du trafic maritime ne permettent pas d'assurer un transport maritime sécuritaire.

Dans le **détroit d'Hudson**, la circulation maritime est complexe en raison de la force des courants. Le détroit agit comme entonnoir entre l'océan Arctique et l'océan Atlantique. Durant l'été, la glace arctique pluriannuelle, lorsqu'elle se détache, tend à se diriger dans le détroit avec les courants. Cette glace peut se déplacer à une vitesse d'environ 2-3 nœuds (5 km/h) durant la saison de navigation, ce qui soulève un enjeu important à la sécurité de la navigation en raison des risques plus élevés de collision avec la glace. La Garde Côtière peut offrir des services d'escorte de navire avec des brise-glaces pour assurer la gestion et la sécurité du trafic maritime jusqu'en novembre. Mais la Garde Côtière affiche d'importantes difficultés à répondre aux besoins de la navigation en eaux nordiques en raison du nombre limité de brise-glaces disponibles qui sont essentiellement déployés dans les zones méridionales du Canada.

La **baie d'Hudson** connaît de faibles amplitudes de marées, mais le vent est omniprésent le long de la côte et en pleine mer. Les vents compliquent les opérations de transbordement des marchandises auprès des villages du

Nunavik. Le vent a d'importantes répercussions sur les manœuvres d'approches des navires et sur les opérations de chargement et déchargement. Il en résulte une augmentation des coûts opérationnels et un impact sur les temps de transport. En outre, les informations relatives aux données bathymétriques sont incomplètes, ce qui complique l'accessibilité au littoral.

3. INITIATIVES GOUVERNEMENTALES PANCANADIENNES POUR LE DÉVELOPPEMENT DU NORD

Un examen des politiques publiques canadiennes concernant les liaisons avec l'Arctique est en cours au sein des gouvernements fédéral et provinciaux à la lumière des changements d'opportunités commerciales globales et continentales que pourraient permettre les changements climatiques. De nombreuses initiatives sont prises par les gouvernements à tous les niveaux pour soutenir les services de transport maritime et améliorer les perspectives de développement socio-économique de l'Arctique.

3.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre vise à présenter sommairement les actions gouvernementales qui sous-tendent la distribution de marchandises au Nunavik.

3.2. Méthodologie

La réalisation de cette étape repose sur un recensement des différentes initiatives gouvernementales notamment du Québec visant à favoriser le développement socio-économique du Nunavik. Pour chaque initiative, la méthode consiste à en résumer ses composantes et à en évaluer l'impact sur le développement des infrastructures et le transport maritime au Nunavik.

3.3. Données sur les initiatives gouvernementales

Les ententes entre les communautés inuites et le Gouvernement du Québec ont été compilées à partir de différents sites internet incluant ceux du ministère des Transports du Québec, de la Société Makivik et de l'Administration Régionale Kativik.

3.4. Initiatives pour soutenir le développement du transport dans l'Arctique canadien

En 2007, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a présenté la route **«Over-the-top»** – une étude de faisabilité sur la possibilité d'extension des services de transport maritime pour tirer profit d'un prolongement de la saison de navigation et de l'utilisation de Tuktoyaktuk et des services de barges sur le fleuve Mackenzie (The Mariport Group, 2007). La **«Stratégie pour le Nord»** du gouvernement du Canada (2009) a pour objectif de renforcer la souveraineté du Canada dans l'Arctique, de protéger l'environnement nordique, de promouvoir le développement social et économique et d'améliorer la gouvernance du Nord (Affaires Indiennes et du Nord Canadien, 2009). L'initiative d'un **«Pont Arctique»** présenté conjointement par le gouvernement du Manitoba et Omnitrax (2010) soulève la question de la possibilité d'une porte d'entrée pour desservir les routes de transport du Passage du Nord-Ouest fondée sur un modèle d'un

réseau de transport intermodal maritime et terrestre permettant de relier Churchill, Winnipeg et Iqaluit (Ruffilli, 2011). Le **«Plan Nord»** dévoilé par le gouvernement du Québec (2011) favorise le potentiel minier, hydroélectrique, touristique ainsi que le développement social et culturel du Québec au nord du 49^e degré de latitude (Gouvernement du Québec, 2011).

Une analyse de contenu de ces différentes initiatives démontre qu'il existe de profondes divergences d'opinions concernant la stratégie de développement du nord du Canada, mais toutes suggèrent que **le transport maritime est appelé à jouer un rôle-clef pour le développement socio-économique des communautés et pour l'exploitation des ressources naturelles.**

3.5. Initiatives spécifiques au Québec

Au Québec, plusieurs actions gouvernementales ont orienté les investissements au nord du 55^{ème} parallèle et profondément modifié les conditions de développement économique et la dynamique du transport maritime au Nunavik.

3.5.1. Convention de la Baie-James et du Nord québécois

La **«Convention de la Baie-James et du Nord québécois»** (CBJNQ) constitue l'élément central présidant toutes les décisions et ententes prises depuis sa signature en 1975. Le développement socioéconomique actuel du Nunavik découle à la fois directement et indirectement de la CBJNQ. Cette convention comporte plusieurs volets: le régime et l'administration des terres, les services de santé, l'éducation, l'administration de la justice, les activités de pêche, de chasse et de trappage, l'environnement et le développement économique (Gouvernement du Québec, 1998). Le Québec ainsi que le Canada ont versé 225 millions \$ dans le cadre de la convention en compensations pour l'utilisation du territoire à des fins de développement économique multiple et à des fins d'accès pour la construction de barrages hydroélectriques. La Société Makivik a été créée 1978 afin de gérer et distribuer les fonds reçus pour le développement économique et social du Nunavik. La Société a également le mandat de négocier de nouveaux accords avec les gouvernements (Société Makivik, 2015). Par ailleurs, la mise en œuvre de la CBJNQ a donné lieu à l'adoption de la Loi sur les villages nordiques et l'administration régionale Kativik également en 1978. La CBJNQ a permis d'augmenter les activités socio-économiques dans le nord du Québec depuis 40 ans exerçant ainsi un impact direct sur les services de transport maritime.

Dès 1999, la Société Makivik devient partenaire du groupe NEAS (NEAS Inc, Nunavik Eastern Arctic Shipping et Nunavut Eastern Arctic Shipping). NEAS Inc est une filiale en coparticipation entre la Société Makivik et Transport Nanuk. Transport Nanuk est une société conjointe entre deux compagnies inscrites à la bourse, la Compagnie du Nord-Ouest, entreprise de commerce au détail, et la compagnie d'arrimage Logistec Corporation. Nunavik Eastern Arctic Shipping

appartient conjointement à la Société Makivik et NEAS Inc. Nunavut Eastern Arctic Shipping est une entreprise dont le groupe d'actionnaires de contrôle inuit regroupe Merkosak Construction Ltd, entreprise de camionnage, de construction et d'entretien, Isaac (Ike) Haulli, entreprise de construction, de services d'excavation, de fret et de cargaison et de camionnage et NEAS Inc. (Boubonnais et Comtois, 2010).

En 2000, une entente sur la mise en œuvre de la CBJNQ en matière de logement au Nunavik prévoyait une contribution fédérale et provinciale de 10 millions \$/année pour des dépenses liées à l'exploitation et à l'entretien des bâtiments. L'entente d'une durée de cinq ans, comportait un renouvellement périodique du parc immobilier. Au total 227 unités seront construites (Parnasimautik, 2014; Lance 2017). Une seconde entente quinquennale a été conclue en 2005. Cette entente tripartite entre le Canada, le Québec et la Société Makivik prévoyait le versement de 69 millions \$ pour la construction de 308 unités de logement social dans les 14 communautés du Nunavik. L'entente incluait également un financement à l'Office municipal d'habitation Kativik jusqu'en 2025 pour couvrir les frais d'entretien et le déficit d'exploitation des habitations. Une troisième entente quinquennale de 85 millions \$ est entrée en vigueur en 2010 pour la construction de 340 unités de logement.

En 2012, le Plan Nord dans le cadre de l'entente sur le logement social au Nunavik prévoyait le versement de 79,5 millions \$ pour la construction de 300 habitations auxquels s'ajoutent 12,4 millions \$ pour le paiement du déficit d'exploitation des logements réalisés (Lance 2017; Makivik Corporation, 2017).

Ces ententes ont fortement sollicité le transport maritime pour le mouvement de matériaux de construction en raison d'une forte croissance des mises en chantier domiciliaires.

3.5.2. Entente Sanarrutik

En 2002, la Société Makivik, l'Administration régionale Kativik et le gouvernement du Québec signaient l'entente **«Sanarrutik»** pour une durée de 25 ans avec possibilité de renouvellement. Cette entente prévoit la mise en œuvre de la CBJNQ en matière de développement économique et communautaire pour le Nunavik (Secrétariat aux affaires autochtones, 2002). Les parties prenantes conviennent 1) d'accélérer le développement du potentiel minier, hydroélectrique et touristique; 2) de partager les bénéfices associés au développement économique du Nunavik; 3) de favoriser les retombées pour les Inuits; et 4) d'améliorer les services et infrastructures publics du Nunavik.

Sur le plan du transport maritime, l'entente **«Sanarrutik»** inclut une participation financière du gouvernement du Québec permettant de couvrir 50% du coût de réalisation d'infrastructures maritimes au Nunavik incluant l'entretien journalier et

des réparations majeures conditionnellement à la participation du gouvernement canadien (Secrétariat aux Affaires Autochtones, 2008).

Pour la période 1999-2011, l'entente **«Sanarrutik»** a permis à l'Administration régionale Kativik de coordonner des projets de construction d'infrastructures maritimes incluant quais, brise-lames et rampes d'accès pour les 14 villages du Nunavik grâce à un financement de 91,5 millions \$ dont 46,7 millions \$ du ministère des Transports du Québec (MTQ) (Administration régionale Kativik, 2017a). L'importance des infrastructures maritimes pour la desserte et le développement socio-économique du Nunavik a d'ailleurs incité le gouvernement du Québec à accorder une aide financière supplémentaire de 1,050 million \$ afin d'assurer l'entretien des infrastructures maritimes sommaires des villages du Nunavik (Gouvernement du Québec, 2013). En 2004, la dynamique créée par l'entente **«Sanarrutik»** a incité la Société Makivik à mettre sur pied en coparticipation l'entreprise Cruise North Expeditions Inc qui offrait des croisières dans l'Arctique canadien à partir de Kuujuaq. L'entreprise fut acquise par Adventure Canada en 2011.

Sur le plan des infrastructures maritimes, **le financement octroyé par le gouvernement du Québec pour assurer l'entretien des infrastructures maritimes a permis d'assurer la pérennité et la sécurité de ces ouvrages côtiers à moyen terme**. L'absence de financement du gouvernement du Canada pourrait compromettre l'entretien des ouvrages à long terme.

3.5.3. Ententes Sivurnimut et Isurruutiit

En 2004, l'entente **«Sivurnimut»** était signée entre l'administration Kativik et le gouvernement du Québec. Cette entente prévoit le versement de montants pour la création et l'amélioration de services aux habitants du Nunavik incluant la sécurité civile, les activités sportives et récréatives, le développement de certains parcs, les services de garde à l'enfance et l'exploitation des aéroports (Secrétariat aux Affaires Autochtones, 2004).

En 2005, le gouvernement du Québec, l'Administration régionale Kativik et les 14 villages nordiques signaient une entente concernant le financement global des villages nordiques de la région Kativik (Secrétariat aux Affaires Autochtones, 2005). Cette entente permet le regroupement en une enveloppe unique de l'ensemble du financement versé par les différents organismes et ministères du Québec. Cette initiative accorde une plus grande autonomie à l'Administration Régionale Kativik dans l'établissement des priorités et l'allocation des fonds. Les montants versés annuellement ont augmenté de 27,5 millions \$ en 2004 à 56,7 millions \$ en 2014. (Parnasimautik, 2014).

En 2005, l'entente **«Isurruutiit»** financé par le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), suivant l'entente **«Isurruutinik»** de 1999, prévoit la construction et l'amélioration des

infrastructures municipales au Nunavik à raison d'un maximum de 15 millions \$ annuellement pendant cinq ans, le maximum ne pouvant pas excéder 65 millions \$ au total (Administration régionale Kativik, 2010). L'entente a été renouvelée en 2011 pour cinq ans. L'enveloppe d'immobilisations pour ce plan d'investissements en vue de la réalisation de nouveaux projets est de 82,3 millions \$ (Secrétariat aux affaires autochtones, 2011). Une quatrième entente **«Isurruutiit – 4»** est entrée en vigueur en 2016. L'entente prévoit le versement de 100 millions \$ sur une période de 5 ans pour un plan d'immobilisations à la réalisation de projets d'infrastructures, de bâtiments et autres installations fixes et de matériel roulant (Secrétariat aux affaires autochtones, 2016).

3.5.4. Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Nunavik (ARTIN)

En 2006, le gouvernement du Nunavut, le gouvernement du Canada et la société Makivik signaient l'accord sur les revendications territoriales des Inuits du Nunavik (ARTIN) concernant les revendications territoriales des zones extracôtières du Québec, du Nord du Labrador et une zone au large des côtes du Labrador appartenant aux Inuits du Nunavik (Affaire autochtones et du Nord du Canada, 2006). L'impact sur la gestion des espaces maritimes est multiple:

- Les Inuits détiennent 80% de la superficie des îles de la région marine du Nunavik incluant les droits fonciers et tréfonciers.
- La région marine du Nunavik est placée sous un régime de cogestion par l'entremise de trois organismes: le Conseil de gestion des ressources fauniques de la région marine du Nunavik; la Commission de la région marine du Nunavik chargée de l'examen des répercussions; et la Commission d'aménagement de la région marine du Nunavik.
- Dans le cadre du partage des redevances suite à la réalisation de projets d'exploitation de ressources non renouvelables dans la zone marine du Nunavik, la Société Makivik recevra 50% des deux premiers millions de dollars de revenus et 5% pour les montants additionnels perçus par les gouvernements (Parnasimautik, 2014).

3.5.5. Stratégie minérale du Québec

En 2009, le gouvernement du Québec annonçait la **«Stratégie Minérale du Québec»** (Gouvernement du Québec, 2009). Les principales orientations retenues concernent la création de richesse et la préparation de l'avenir du secteur minier, le développement minier respectueux de l'environnement et associé aux communautés et intégré dans le milieu. Sur le plan économique, 39 mesures sont mises en place afin d'accélérer le développement minier, de diversifier les activités économiques minières et d'appuyer la recherche et le développement de la main d'œuvre. Sur le plan environnemental, 14 mesures sont mises en place dont la restauration de sites miniers. En 2014, le gouvernement annonce **«La vision stratégique du développement minier au Québec»** (Gouvernement du Québec, 2016). Cette vision affiche une portée plus

large que la **«Stratégie Minérale du Québec»** en intégrant l'ensemble de la filière minière incluant l'exploration, l'exploitation, les fournisseurs et équipementiers et la première transformation des métaux.

Le plan d'action 2016-2021 influence le développement socio-économique du Nunavik sous trois volets. Sur le plan de la mise en valeur de filières minières, **le gouvernement compte accélérer les investissements dans les infrastructures portuaires et établir un statut de route minière nordique**. Sur le plan environnemental, il est proposé d'identifier des solutions permettant de concilier le développement économique, social et environnemental sur 30% du territoire du Plan Nord. Sur le plan de la participation des communautés autochtones, la stratégie comporte des mesures sur le financement de fonds miniers, la formation et l'accès à l'emploi sur les chantiers des grands projets miniers et la reconnaissance des compétences municipales sur les territoires du Nunavik.

3.5.6. Mesures de réduction du coût de la vie au Nunavik

Les coûts de la vie élevés au Nunavik s'explique en raison de l'éloignement des communautés et de l'absence de routes. En 2013, le gouvernement du Québec, la Société Makivik et l'Administration régionale Kativik ont conclu une entente visant la réduction du coût de la vie au Nunavik (Administration régionale Kativik, 2017b). Pour la période 2014-2017, l'entente prévoit le versement de 33 millions \$. Les mesures incluent:

- une aide financière aux aînés de 1750\$/année;
- un programme de réduction des tarifs aériens pouvant atteindre 1050\$/année;
- un programme de soutien à l'approvisionnement alimentaire en réduisant de 50% les coûts d'achat d'aliments traditionnels et de 100% les coûts de transport des aliments traditionnels entre les communautés du Nunavik;
- une aide au paiement des électroménagers ainsi qu'aux coûts de transport des véhicules et équipements;
- une réduction de 20% à 40% sur le prix de plus de 1500 produits alimentaires et de première nécessité;
- un programme permettant aux bénéficiaires de recevoir un rabais de 40¢ le litre d'essence.

Le prolongement de l'entente jusqu'en mars 2018 a pour objectif de permettre aux parties prenantes de poursuivre les négociations en vue d'identifier des solutions à long terme pour réduire le coût de la vie au Nunavik (Société Makivik, 2017). Il est démontré que les dépenses liées au transport sont 17,3% plus élevées au Nunavik que les prix dans la ville de Québec (Robitaille et al, 2016). Ceci soulève l'intérêt qui consiste à **évaluer comment le développement et l'exploitation d'infrastructures maritimes peuvent entraîner une réduction de prix pour certains biens et services**.

3.5.7. Plan Nord

En 2011, le Premier Ministre du Québec annonçait le **«Plan Nord»** prévoyant des investissements de plus de 80 milliards \$ sur 25 ans et la création de près de 20 000 emplois (Gouvernement du Québec, 2011). Le projet promet une amélioration des conditions de vie des communautés autochtones et locales, le développement durable des ressources minérales, forestières et fauniques, du secteur de l'énergie, de la production bio alimentaire et du tourisme.

La mise à jour du **«Plan Nord»** en 2015 avait pour objectif un développement minier pouvant générer des retombées de plus de 22 milliards \$ et créer près de 10 000 emplois pendant la période d'exploitation à court terme (2015-2020) (Gouvernement du Québec, 2015a). À plus long terme (horizon 2035), le gouvernement favorise l'investissement privé dans la poursuite de l'exploitation durable des ressources.

Sur le plan des infrastructures de transport, le gouvernement reconnaît que leur développement est la clé de voute du déploiement du **«Plan Nord»**. Tout le potentiel économique du Nunavik repose sur une desserte adéquate des populations nordiques. En l'absence de liens routiers, **la priorité d'action en matière de transport consiste à assurer la pérennité des infrastructures maritimes au Nunavik** (Brisson, 2014). Ces investissements pourraient contribuer à réduire les effets du coût de la vie élevé dans la région du Nunavik.

3.5.8. Stratégie maritime à l'horizon 2030

En 2015, le gouvernement du Québec proposait **«La Stratégie maritime à l'horizon 2030»** qui mise sur le développement du potentiel du système Saint-Laurent ainsi que des côtes septentrionales du Québec (Gouvernement du Québec, 2015b). La partie nordique comprend la baie James, la baie d'Hudson, le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava incluant leurs affluents. **Trois éléments de cette stratégie peuvent contribuer au développement du transport maritime au Nunavik.** D'abord, le gouvernement a consenti 200 millions \$ pour soutenir des projets d'infrastructures portuaires et intermodales consacrés au transport de fret. Ensuite, un budget de 35 millions \$ a été prévu pour soutenir le transport maritime sur courte distance. Enfin, le gouvernement favorise la poursuite du tourisme maritime notamment les escales de croisière de part et d'autre du 49^e parallèle dans le cadre de la relance du **«Plan Nord»**. Ainsi **«La Stratégie maritime à l'horizon 2030»** vise à favoriser le développement des activités portuaires du Québec et notamment du Nord québécois en s'inscrivant dans la dynamique du déploiement du **«Plan Nord»**.

À l'évidence, ces initiatives, visant à favoriser le développement socio-économique du Nunavik, soulèvent l'intérêt qui consiste à analyser la dynamique des transporteurs maritimes en lien avec la demande générée par divers plans, ententes et projets de développement socio-économique.

4. TRANSPORT MARITIME DE VRAC LIQUIDE AU NUNAVIK

Le transport maritime des liquides en vrac au Nunavik se caractérise par la prédominance des trafics pétroliers incluant kérosène, essence, diesel, mazout et gazole à très faible teneur en soufre. **Le Nunavik dépend presque exclusivement de combustibles fossiles importés pour combler les besoins domestiques et énergétiques des communautés nordiques et des sites miniers**, la demande en carburants pour les véhicules et les embarcations et les exigences en carburéacteur des aéroports du Nunavik.

4.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à caractériser les conditions de desserte maritime du vrac liquide au Nunavik.

4.2. Méthodologie

La réalisation de l'analyse comporte huit étapes méthodologiques :

1. Identifier les sources de données sur le transport d'hydrocarbures au Nunavik;
2. Caractériser la progression de la demande de combustibles fossiles au Nunavik;
3. Mesurer l'évolution des capacités d'entreposage de carburant par village nordique et site minier au Nunavik;
4. Identifier les sources d'approvisionnement en carburant;
5. Identifier les principaux transporteurs incluant des informations détaillées sur les navires-citernes;
6. Mesurer le nombre et la durée des voyages de chaque navire-citerne au Nunavik, la saison de navigation de chaque navire-citerne, la séquence et le nombre d'escales pour chaque voyage et le temps d'escale pour tous les villages et sites miniers au Nunavik pour la période 2005-2014;
7. Comparer les caractéristiques de la desserte maritime de vrac liquide entre les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik;
8. Évaluer les temps de transport maritime de carburant sur le plan des temps d'attente des navires-citernes et des temps de débarquement du carburant aux villages nordiques et aux sites miniers au Nunavik.

4.3. Données sur le transport maritime de vrac liquide

Les données statistiques sur la consommation et la capacité de stockage de carburant ont été obtenues auprès d'Hydro-Québec, du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et de la Régie du Bâtiment du Québec. Les statistiques relatives aux flottes des navires-citernes ont été collectées auprès des transporteurs. Relativement aux origines et destinations des flux de liquide en vrac livré dans les villages et sites miniers au Nunavik, nous avons eu recours

à une compilation de données de la Garde Côtière Canadienne (GCC), plus spécifiquement du Centre des Services de Communications et de Trafics Maritimes (SCTM) incluant le service de la Zone de trafic de l'Arctique Canadien (NORDREG) (GCC, 2013). Des informations détaillées ont été obtenues des sites Internet des transporteurs. Plusieurs consultations ont été menées auprès des représentants de Petro-Nav (Groupe Desgagnés).

4.4. Conditions de la demande en hydrocarbures au Nunavik: villages nordiques et sites miniers

4.4.1. Consommation énergétique

Dans les villages du Nunavik, la production d'électricité est assurée par 14 centrales thermiques au mazout sous la gouverne d'Hydro-Québec. En 2005, les 14 réseaux autonomes du Nunavik comptaient environ 4 432 abonnements. La production en électricité s'élevait à 59 GWh (Tableau 2). Le Nunavik affiche une croissance de besoins énergétiques très élevée en raison de sa croissance démographique. Les équipements ne suffisaient pas à répondre à la demande et Hydro-Québec a dû procéder à des ajouts de capacités à l'aide de génératrices mobiles notamment à Kangiqsujaq, Kuujjuarapik et Tasiujak. En 2016, la puissance installée atteignait 32,49 MW permettant des ventes de 85 GWh en électricité auprès de 6 668 clients. Pour la période 2005-2016, les ventes d'électricité représentaient un taux de croissance annuel moyen de 4.1%. La demande en produits pétroliers est d'autant plus grande que les bâtiments et les résidences sont tous chauffés à l'aide de chaudières au mazout.

La production énergétique des sites miniers quant à elle relève du secteur privé. Celle du site minier Katinniq de Glencore est assurée par une centrale de cogénération de 22 MW de capacité électrique et de 15 MW de capacité de chauffage (Perrier, 2015). Cette centrale est composée de six génératrices de 3,6 MW chacune, toutes dotées de moteur diesel. Par ailleurs, il existe deux bouilloires au diesel d'une capacité de 8 MW pour combler la demande de chauffage en période de pointe ou en cas de d'arrêt des génératrices. Il importe de souligner qu'à Raglan, le complexe minier consomme annuellement 60 millions de litres de carburant dont 10 millions uniquement pour les services de transport aérien.

La production énergétique du complexe minier de Canadian Royalties est assurée par une centrale thermique composée de cinq génératrices de 3,3 MW. La centrale peut produire plus de 18 MWh d'électricité (George, 2012). La compagnie dispose également d'une génératrice de secours de 0,5 MW (Canadian Royalties, 2015).

Tableau 2. Évolution de la demande énergétique dans les villages du Nunavik, 2006-2015

Villages	2006			2015		
	Nombre d'abonnements	Ventes (GWh)	Puissance installée (MW)	Nombre d'abonnements	Ventes (GWh)	Puissance installée (MW)
Akulivik	176	1,94	0,90	297	3,05	1,98
Aupaluk	100	1,04	0,78	139	1,65	0,78
Inukjuak	501	6,94	2,99	772	9,72	3,76
Ivujivik	116	1,25	1,02	179	2,21	0,98
Kangiqsualujuaq	244	3,58	1,98	317	4,13	1,98
Kangiqsujuaq	215	2,50	1,52	363	4,49	1,53
Kangirsuk	223	2,64	1,36	289	3,34	1,46
Kuujuaq	1 063	13,92	4,56	1 591	19,55	6,01
Kuujuarapik/Whapmagostui	538	8,71	3,41	678	11,20	3,41
Puvirnituk	511	6,77	2,87	917	10,58	4,75
Quaqtaq	127	1,72	1,09	200	2,78	1,09
Salluit	372	5,02	2,96	564	7,31	2,88
Tasiujaq	111	1,45	0,85	159	2,28	0,85
Umiujaq	135	1,68	1,05	203	2,69	1,05
NUNAVIK	4 432	59,15	27,32	6 668	84,98	32,49

Source: Hydro-Québec, 2016a; 2016b

4.4.2. Entreposage des hydrocarbures

Les besoins énergétiques des villages et sites miniers du Nunavik reposent donc essentiellement sur la consommation d'hydrocarbures. **Compte tenu de l'intermittence de l'approvisionnement en carburant, chaque village et complexe minier comprend un dépôt pétrolier dont le remplissage s'effectue annuellement lors du ravitaillement par navire.** Ces dépôts doivent avoir une capacité suffisante pour satisfaire la demande des villages nordiques et des sites miniers en chauffage, électricité et transport pendant toute l'année. Force est de reconnaître que la croissance de la motorisation incluant l'augmentation des déplacements aériens a provoqué une augmentation de la consommation d'hydrocarbures. Au cours des dernières années, la capacité d'une partie de ce parc d'entreposage s'est avérée insuffisante.

Le Tableau 3 démontre que le parc d'entreposage hors-terre des produits liquides en vrac le long des côtes du Nunavik a augmenté de 117 à 247 réservoirs pour la période 2007 à 2017. Cet élargissement des dépôts pétroliers a permis d'augmenter la capacité de stockage autorisée de 111 millions de litres en 2007 à 171 millions de litres en 2017 au Nunavik.

Les réservoirs des sites miniers disposent de 35,4% des capacités de stockage de carburant au Nunavik. En 2017, le complexe de Mine Raglan disposait de 55 réservoirs d'une capacité de 38 millions de litres. Les infrastructures du projet Nunavik Nickel possèdent 22 réservoirs d'une capacité de 22 millions de litres.

Avec 170 réservoirs d'une capacité totale de 110 millions de litres, l'ensemble des villages nordiques disposent de 64,6% des capacités de stockage de carburant au Nunavik. L'analyse de la distribution de la capacité d'entreposage global pour les villages nordiques révèle que les ceux situés dans la **baie d'Hudson** ont 80 réservoirs d'une capacité autorisée de 49 930 969 litres, les villages situés dans le **détroit d'Hudson** disposent de 34 réservoirs d'un volume combiné de 17 627 907 litres alors que les villages dans la **baie d'Ungava** affichent 56 réservoirs en mesure de contenir 42 948 952 litres. Le village du Nunavik qui possède le plus grand parc de stockage est Kuujuaq avec 23 réservoirs d'une capacité autorisée de plus de 24 millions de litres.

Tableau 3. Capacité de stockage de carburant au Nunavik, 2007-2017

Sites	2007		2017	
	Nombre de réservoirs	Capacité autorisée (litres)	Nombre de réservoirs	Capacité autorisée (litres)
Akulivik	5	2 798 500	9	4 464 308
Aupaluk	9	2 220 460	9	2 220 460
Baie Déception (Mine Raglan)	26	34 733 205	55	38 424 297
Baie Déception (Mine Nunavik Nickel)	n.a.	n.a.	22	22 177 009
Inukjuak	13	6 485 025	14	10 627 743
Ivujivik	9	2 933 850	9	2 932 300
Kangiqsualujuaq	5	3 049 711	7	5 030 817
Kangiqsujuaq	6	5 485 700	11	5 619 317
Kangirsuk	11	4 925 780	11	6 776 231
Kuujuaq	21	16 175 654	23	24 778 105
Kuujuarapik/Whapmagoostui	26	10 365 288	21	15 791 017
Puvirnituk	13	8 392 637	21	13 288 401
Quaqtaq	5	2 471 864	7	4 120 821
Salluit	15	7 713 746	16	7 887 769
Tasiujaq	9	2 220 460	6	4 143 339
Umiujaq	4	1 852 300	6	2 827 200
NUNAVIK	117	111 824 180	247	171 109 134

Source: Ressources naturelles et de la Faune, 2007; Régie du Bâtiment, 2017

4.4.3. Approvisionnement en hydrocarbures

L'approvisionnement en produits pétroliers au Nunavik s'effectue exclusivement par transport maritime. Pour l'essentiel il s'agit de produits pétroliers qui viennent des raffineries canadiennes. Le carburant transporté par les navires provient des raffineries de Suncor à Montréal, Valero à Lévis et de Come By Chance à Terre-Neuve-et-Labrador. Seulement quelques milliers de litres d'hydrocarbures proviennent de raffineries européennes et sont exclusivement destinées aux sites miniers.

Du côté des villages nordiques, quelques entreprises dont la Fédération des Coopératives du Nouveau-Québec et la Société Makivik ont développé des partenariats avec des transporteurs maritimes pour assurer la desserte des communautés.

4.5. Transporteurs maritimes de vrac liquide au Nunavik

Le nombre de transporteurs maritimes canadiens qui peuvent assurer la desserte maritime de vrac liquide est limité. En 2014, le transport maritime d'hydrocarbures au Nunavik est assuré par trois transporteurs: Pétro-Nav de Groupe Desgagnés, Coastal Shipping et Fednav.

4.5.1. Pétro-Nav du Groupe Desgagnés

Le Groupe Desgagnés, dont le siège social est à Québec, est un conglomérat d'entreprises qui se spécialise depuis 1866 dans le secteur des opérations de transport maritime et terrestre. Les filiales du Groupe Desgagnés incluent 1) Desgagnés Transarctik qui assure la desserte maritime de l'Est de l'Arctique; 2) Navigation Desgagnés dont les activités concernent l'affrètement des navires pour le transport de marchandises générales et de vracs secs; 3) Desgagnés Atlantik dédié au transport maritime de vrac sec; 4) Relais Nordique qui assure la desserte maritime de fret et de passagers sur la Moyenne et Basse-Côte-Nord; 5) Tessier Ltée qui exécute des opérations de transport terrestre et de transbordement intermodal; 6) Boréal Grues qui offre des opérations de levage, de manutention ainsi que des services de location et d'opération de machineries lourdes; 7) Transport Desgagnés qui arme et exploite des navires de charge et des pétroliers; 8) Services Maritimes Desgagnés dont les activités s'étendent à l'entretien et à la réparation navale; et 9) Pétro-Nav dont les activités concernent l'affrètement des navires pour le transport de produits pétroliers et chimiques. Ce transporteur maritime sillonne le corridor Saint-Laurent-Grands Lacs, la façade Atlantique du Canada et des États-Unis et les eaux de l'Arctique.

Au Nunavik, la desserte maritime d'hydrocarbure est assurée exclusivement par les navires-citernes de Pétro-Nav. Tous les pétroliers affrétés ou opérés par Pétro-Nav sont munis d'une double coque et ils sont certifiés pour naviguer dans les glaces.

Le Tableau 4 indique que Pétro-Nav a renouvelé sa flotte de pétroliers au cours de la dernière décennie. Pétro-Nav répond à la croissance des activités maritimes par le retrait du service actif de deux navires et l'acquisition de nouveaux navires affichant une plus grande capacité de transport.

Ce transporteur de vrac liquide dessert les villages nordiques du Nunavik et les sites miniers de Baie Déception pour les produits pétroliers et chimiques

Tableau 4. Évolution de la flotte de navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés, 1975-2017

Navire	Année de construction	Statut	Tonne de jauge brute	Tirant d'eau (mètre)	Dimensions (mètre)	Moteur CV
Petrolia Desgagnés	1975	Déclassé en 2011	9 648	8,1	135 x 17	5 000
Vega Desgagnés	1982	Déclassé en 2015	11 548	7,3	140,8 x 21,19	7 560
Dara Desgagnés	1992	Actif	6 262	8,36	123,71 x 17,7	5 032
Esta Desgagnés	1992	Actif	6 262	8,36	123,71 x 17,7	5 032
Jana Desgagnés	1993	Actif	6 262	8,36	123,71 x 17,7	5 032
Maria Desgagnés	1999	Actif	8 848	9,5	120 x 21	8 370
Laurentia Desgagnés	2007	Actif	42 810	14,17	228,5 x 32,24	18 422
Sarah Desgagnés	2007	Actif	17 998	9,5	147,5 x 23	9 385
Mia Desgagnés	2016	Actif	11 838	7,8	135 x 23,5	5 450
Espada Desgagnés	2007	Actif	74 927	14,17	228,5 x 32,24	18 422
Damia Desgagnés	2017	Actif	14 719	7,9	135 x 23,5	5 450

Source: Groupe Desgagnés, 2017

4.5.2. Coastal Shipping Limited

Coastal Shipping Limited est une division du Groupe Woodward, plus important propriétaire de navires de la province de Terre-Neuve-et-Labrador en termes de tonnage. La division a été établie en 1973 pour distribuer du mazout auprès des communautés de Terre-Neuve-et-Labrador et de l'Arctique canadien. Coastal Shipping dispose d'une flotte de quatre navires pétroliers. Les navires-citernes sont à double coque et disposent de la certification glace 1A (Coastal Shipping, 2017).

Au Nunavik, ce transporteur de vrac liquide dessert exclusivement les sites miniers à Baie Déception pour l'approvisionnement en mazout et carburant.

4.5.3. Fednav Limitée

Fednav Limitée est le plus important transporteur océanique de vrac et de marchandises générales du Canada. La compagnie dispose de bureaux sur quatre continents, exploite une flotte de près de 100 navires en propriété et en affrètement dont quelques unités sous pavillon canadien. Le transporteur est le principal utilisateur international de la Voie maritime du Saint-Laurent et des Grands Lacs ainsi que des eaux de l'Arctique Canadien.

Fednav Limitée exploite les services maritimes des ports du Saint-Laurent vers le Labrador et l'Arctique depuis plus de 60 ans. Le transporteur exploite une flotte de trois vraquiers renforcés pour la glace: l'Arctic (20 236 tjb), l'Umiak (31 992 tjb) et le Nunavik (27 997 tjb) (Tableau 4). Le navire Umiak I certifié classe polaire 4 est le plus puissant vraquier à capacité de glace au monde. Son moteur développe 29 600 ch, soit trois fois la puissance d'un vraquier de même taille.

Le vrac liquide (mazout et carburant) acheminé par ce transporteur au Nunavik dessert exclusivement les sites miniers à Baie Déception

Tableau 5. Évolution de la flotte de vraquiers de Fednav Limitée, 1975-2017

Navire	Année de construction	Statut	Tonne de jauge brute	Tirant d'eau (mètre)	Dimensions (mètre)	Moteur CV
Arctic	1978	Actif	20 236	11,52	280,82 x 22,93	7 560
Umiak I	2006	Actif	31 992	11,75	188,8 x 26,6	29 600
Nunavik	2014	Actif	27 997	11,75	188,8 x 26,6	29 600

Source: Fednav, 2017

4.6. Services de transport maritime d'hydrocarbures de Petro-Nav du Groupe Desgagnés vers les villages du Nunavik entre 2005 et 2014

4.6.1. Approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik en 2005

En 2005, Pétro-Nav avec deux navires a mis 16,8 semaines-navires dans la zone Nordreg pour transporter du carburant vers les 14 villages nordiques du Nunavik (Tableau 6). Le Maria Desgagnés a effectué trois voyages entre la raffinerie de Lévis et les villages nordiques du Nunavik alors que le Pétrolia Desgagnés a quant à lui entrepris deux voyages.

En 2005, la saison de navigation dans la zone Nordreg des navires de Pétro-Nav a débuté le 7 juillet et s'est terminée le 21 octobre (106 jours) (Tableau 7).

Le Maria Desgagnés

Le Tableau 6 révèle que le premier voyage du Maria Desgagnés a duré 23 jours. Durant ce voyage le navire a fait escale dans quatre villages dans la baie d'Ungava (Kuujuaq, Tasiujaq, Aupaluk et Kangirsuk) (Tableau 8). Le second voyage a nécessité 21 jours pour desservir trois communautés dans la baie d'Hudson (Akulivik, Puvirnituk et Kuujuarapik).

Toujours en 2005, durant son troisième voyage de 35 jours, le Maria Desgagnés a visité six communautés dont une dans la baie d'Ungava (Kuujuaq), une dans le détroit d'Hudson (Kangiqsujaq) et trois dans la baie d'Hudson (Ivujivik, Inukjuag et Umiujaq).

Tableau 6. Voyages des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014

	Navire	Voyage 1	Voyage 2	Voyage 3	Voyage 4	Total	Total année	Nombre d'escales	Total des escales	Escales Nunavik	Jours navigués/escale	Jours navigués/escale Nunavik
2005	Maria Desgagnés	23	21	35		79	118	13	19	19	6,21	6,21
	Petrolia Desgagnés	20	19			39		6				
2006	Maria Desgagnés	15	20	39		74	119	15	24	22	4,96	5,41
	Jade Star	45				45		9				
2007	Maria Desgagnés	25	32	24		81	147	16	24	22	6,13	6,68
	Jade Star	29	37			66		8				
2008	Maria Desgagnés	25	33	25		83	143	13	24	22	5,96	6,50
	Diamond Star	19	20	21		60		11				
2009	Maria Desgagnés	23	41	36		100	147	16	24	21	6,13	7,00
	Jade Star	26	21			47		8				
2010	Maria Desgagnés	28	33	28		89	146	12	24	24	6,08	6,08
	Jana Desgagnés	18	21	18		57		12				
2011	Maria Desgagnés	28	18	45	23	114	166	18	26	23	6,38	7,22
	Dara Desgagnés	19	17			36		7				
	Vega Desgagnés	16				16		1				
2012	Maria Desgagnés	20	21	57		98	141	13	20	19	7,05	7,42
	Esta Desgagnés	21				21		6				
	Sarah Desgagnés	22				22		1				
2013	Maria Desgagnés	31	18	21		70	117	12	18	18	6,50	6,50
	Jana Desgagnés	24				24		5				
	Sarah Desgagnés	23				23		1				
2014	Maria Desgagnés	76				76	201	11	28	26	7,18	7,73
	Jana Desgagnés	87				87		15				
	Espada Desgagnés	19	19			38		2				

Tableau 7. Durée de la saison de navigation des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014

Année	Première entrée	Dernière sortie	Durée (jours)
2005	7 juillet	21 octobre	106
2006	7 juillet	14 octobre	99
2007	6 juillet	20 octobre	106
2008	3 juillet	17 octobre	106
2009	30 juin	2 novembre	125
2010	2 juillet	25 octobre	115
2011	25 juin	26 novembre	154
2012	1 juillet	7 novembre	129
2013	30 juin	13 octobre	105
2014	3 juillet	28 septembre	87

Tableau 8. Matrice des destinations des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014

Année	Opérateur	Navire	TJB	Kuujuarapik	Umiujaq	Inukjuag	Puvirnituq	Akulivik	Ivujivik	Salluit	Baie Déception	Kangirsuq	Quaqtaq	Kangirsuk	Aupaluk	Tasiujaq	Kuujuaq	Kangirsuq	Hors Nunavik	Total
2005	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199											3	4	2	1			4
2005	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	1			3	2												3
2005	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199		2	3,6			4			5					1			6
2005	Groupe Desgagnés	Petrolia Desgagnés	9712			2	3			1										3
2005	Groupe Desgagnés	Petrolia Desgagnés	9712										1				3	2		3
Total			59 021	1	1	3	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	3	1	0	19
2006	Groupe Desgagnés	Jade Star	10 550			3	4			1,8	2				6		5		7,9	9
2006	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199														1,3	2		3
2006	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	1	2		4	3												4
2006	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199			6			5			4	1,8	7		3	2			8
Total			50 147	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	4	1	2	24
2007	Groupe Desgagnés	Jade Star	10 550	1													2	3		3
2007	Groupe Desgagnés	Jade Star	10 550							2	3			5			4		1	5
2007	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199							1,4			3				2		5	5
2007	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199		2	3	5	4									1			5
2007	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199				5		4			3			2,6	1				6
Total			60 697	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	1	2	1	4	1	2	24
2008	Groupe Desgagnés	Diamond Star	10 511				4			3			2				1			4
2008	Groupe Desgagnés	Diamond Star	10 511															2	1	2
2008	Groupe Desgagnés	Diamond Star	10 511			5		4	2	1									3	5
2008	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199								1	2				3	5	4		5
2008	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	2	3	4					1									4
2008	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199				4							3	1		2			4
Total			71 130	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	3	2	2	24
2009	Groupe Desgagnés	Jade Star	10 550			2				1					4		3			4
2009	Groupe Desgagnés	Jade Star	10 550				3					1		2					4	4
2009	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199															2	1,3	3
2009	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	2	3			4	5,8	6	7		1							8
2009	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199			3	4						5			2	1			5
Total			60 697	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	3	24
2010	Groupe Desgagnés	Jana Desgagnés	10 550								4	3					2	1		4
2010	Groupe Desgagnés	Jana Desgagnés	10 550				4		3	5				6	1	2		7		7
2010	Groupe Desgagnés	Jana Desgagnés	10 550								1									1
2010	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	3	2	4	5						1							5
2010	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199			4	5	3		2	1									5
2010	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199							2							1			2
Total			71 247	1	1	2	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	2	2	0	24
2011	Groupe Desgagnés	Dara Desgagnés	10 511	1		2	3				4									4
2011	Groupe Desgagnés	Dara Desgagnés	10 511				3									1		2		3
2011	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199									1	3	4			2			4
2011	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199		4		5	3	2	1					6					6
2011	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199			7				6			5		4				1,2,3	7
2011	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199								1									1
2011	Groupe Desgagnés	Vega Desgagnés	11 548														1			1
Total			85 366	1	1	2	3	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	26
2012	Groupe Desgagnés	Esta Desgagnés	19 511							1			6	4	5		2	3		6
2012	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	1			2													2
2012	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199		2	3		1				4								4
2012	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199				6		5	3						2		4,7	1	7
2012	Groupe Desgagnés	Sarah Desgagnés	17 998														1			1
Total			77 106	1	1	1	2	1	1	2	0	1	1	1	1	1	2	3	1	20
2013	Groupe Desgagnés	Jana Desgagnés	10 550										5	3		2		1,4		5
2013	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	2			3	1												3
2013	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199		4	5			3	2		1								5
2013	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199				4	3		2					1					4
2013	Groupe Desgagnés	Sarah Desgagnés	17 998														1			1
Total			68 145	1	1	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	0	18
2014	Groupe Desgagnés	Espada Desgagnés	74 927										1							1
2014	Groupe Desgagnés	Espada Desgagnés	74 927										1							1
2014	Groupe Desgagnés	Jana Desgagnés	10 550				12	3	4	11		7,14	8,10,13	5,15	2	1	9	6		15
2014	Groupe Desgagnés	Maria Desgagnés	13 199	1	7	8	2		3	9			4,6,10						5,11	11
Total			173 603	1	1	1	2	1	2	2	0	2	8	2	1	1	1	1	2	28

Note: Tjb = tonne de jauge brute; Le total mesure le nombre d'arrêts

Pétrolia Desgagnés

La saison de navigation du Pétrolia Desgagnés dans la zone Nordreg s'étend du 7 juillet au 26 août (50 jours). Lors de son premier voyage, le Pétrolia Desgagnés a effectué un périple de 20 jours et visité les communautés de Salluit, Inukjuaq et Puvirnituq. Durant son second voyage de 19 jours, le navire a fait escale dans trois communautés, soit Quaqaq, Kangisualujjuaq et Kuujjuaq.

4.6.2. Approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik en 2014

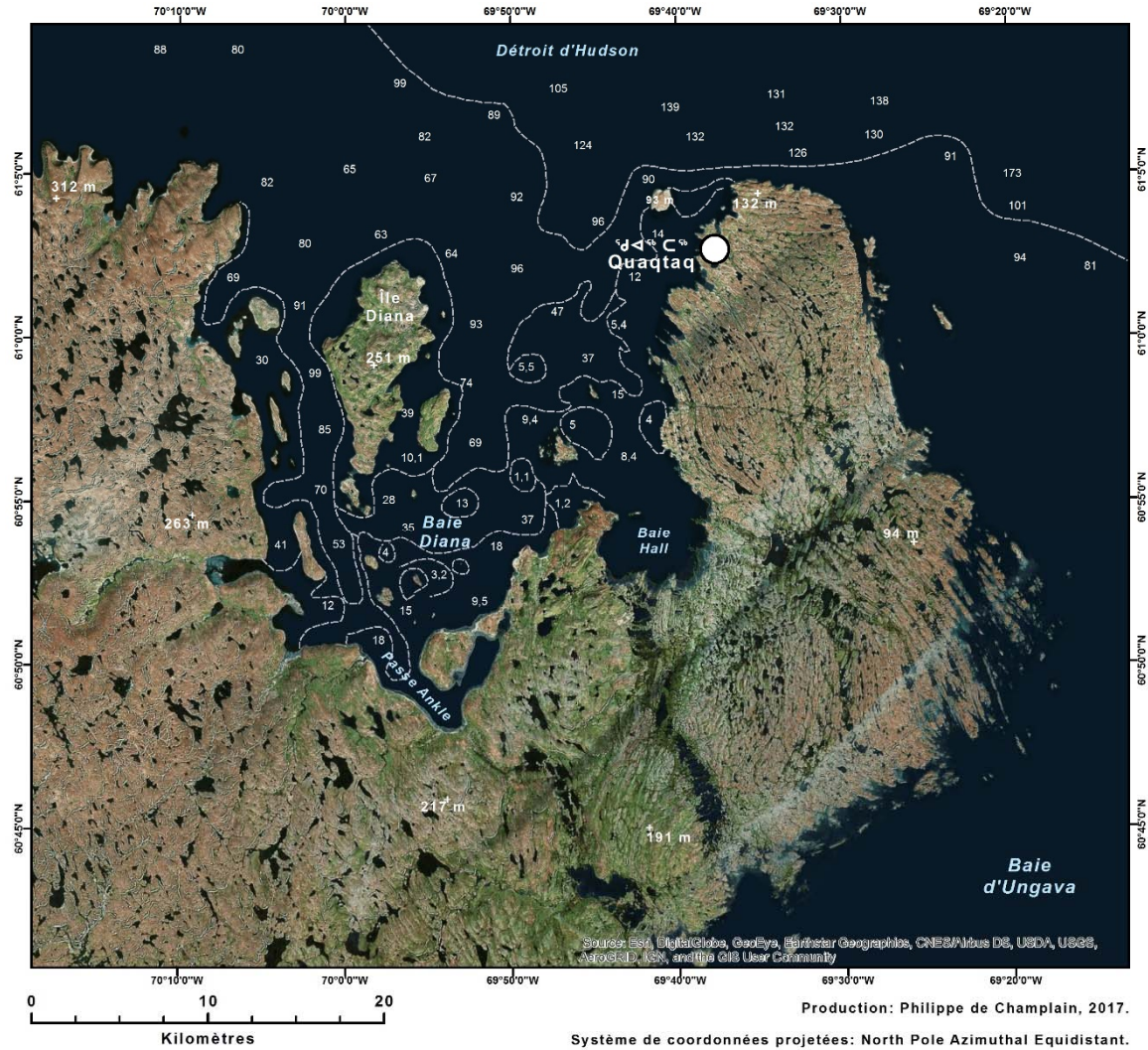
En 2014, les besoins en hydrocarbures des villages au Nunavik ont nécessité le transport d'environ 195 millions de litres de carburant. La desserte maritime d'hydrocarbures des 14 villages nordiques du Nunavik est assurée par trois navires de Pétro-Nav: Espada Desgagnés, Jana Desgagnés et Maria Desgagnés. Pétro-Nav compte 28,7 semaines-navires durant la saison de navigation (Tableau 6).

Une analyse des opérations de Pétro-Nav indique une nouvelle structure d'organisation de réseaux maritimes pour desservir les villages nordiques du Nunavik à partir des raffineries canadiennes. Compte tenu de la demande croissante en hydrocarbures des communautés nordiques, Pétro-Nav a cherché à tirer profit d'un nouveau moyen de desserte maritime en utilisant un navire-citerne de type Panamax (65 000 – 80 000 tjb) pour acheminer un important volume de produits pétroliers vers le Nunavik. **L'usage d'un service de transbordement entre navire Panamax et les navires de taille inférieure Handysize peut permettre d'atteindre des économies d'échelle.** Les coûts d'opération d'un navire n'augmentent pas de façon proportionnelle avec la taille.

Dans le cadre de ce modèle logistique pour le transbordement d'hydrocarbures, le Panamax Espada Desgagnés agit ainsi en tant que plate-forme de transbordement permettant de ravitailler des navires Maria Desgagnés et Jana Desgagnés de type Handysize (15 000-35 000 tjb). Ces deux navires de plus petite taille approvisionnent pas la suite les villages nordiques du Nunavik en hydrocarbures à la manière d'une boucle. Ces navires affichent un tirant d'eau maximum de 9,5 mètres leur permettant d'accéder aux infrastructures maritimes des villages du Nunavik.

En 2014, entre le 3 août et le 18 septembre, le Panamax Espada Desgagnés a effectué deux voyages entre la raffinerie de Lévis et le Nunavik pour une durée de navigation de 38 jours dans la zone Nordreg. Le navire s'est ancré à 10 kilomètres au large de Quaqaq en raison de sa position géographique charnière entre la baie d'Ungava et le détroit d'Hudson et d'un tirant d'eau supérieur à 25 mètres (Figure 3). La baie est entourée de collines rocheuses et sert de havre naturel pour les navires au mouillage quelles que soient les conditions de mer et de vent.

Figure 3. Localisation géographique de Quaqtuaq



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGrid, IGN, GIS User Community et Pêche et Océans Canada

Les navires Maria Desgagnés et Jana Desgagnés ont quant à eux débuté leurs opérations de réapprovisionnement des communautés du Nunavik le 3 juillet et quitté la zone Nordreg le 28 septembre pour une saison de navigation de 87 jours au Nunavik.

En 2015, cette même logistique a été réutilisée. Le temps passé par l'Espada Desgagnés amarré au large s'est traduit par une réduction des coûts en raison de cette nouvelle logistique d'approvisionnement en hydrocarbures. **Les gains obtenus par les économies d'échelle sont couplés à des gains de temps de 12 jours de transit pour les navires qui autrement doivent retourner se réapprovisionner auprès des raffineries du Saint-Laurent et revenir au Nunavik pour compléter leur circuit de livraison de carburant.**

4.6.3. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik de 2005 à 2014

Entre 2005 et 2014, la saison de navigation pour la desserte en vrac liquide des villages nordiques du Nunavik s'effectue sur une période limitée d'environ cinq mois par année. Plus précisément, cette saison s'échelonne entre le 25 juin et le 30 novembre, en lien avec la réglementation des navires de type B.

Une analyse des trafics entre 2005 et 2014 révèle trois grandes caractéristiques de la configuration des services maritimes d'approvisionnement en hydrocarbures des villages nordiques du Nunavik, soit les dates des voyages, la fréquence et la durée des voyages et la trajectoire des navires.

Premièrement, il n'y a pas de calendrier type (dates des voyages) pour la desserte de vrac liquide vers les villages nordiques du Nunavik, c'est-à-dire que les périodes ou dates de distribution de carburant dans chaque village varient d'une année à l'autre, et ce en fonction des conditions de glace. Entre 2005 et 2014, les dates de navigation des navires de Pétro-Nav dans la zone Nordreg au Nunavik ont beaucoup variées. Malgré ces fluctuations, la desserte s'effectue conformément aux plages de dates de navigation autorisées par la Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada et la Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques en rapport avec les navires de classe polaire.

Deuxièmement, les trafics (fréquence et durée des voyages) des navires-citernes sont irréguliers. Entre 2005 et 2014, le nombre et la durée des voyages de chaque navire ont varié d'une année à l'autre en fonction d'une variation dans la demande de carburant et de changement dans l'organisation de la chaîne logistique de transport maritime d'hydrocarbures. En fait, les changements dans la fréquence et la durée du transport maritime de vrac liquide observée au Nunavik depuis 2005 s'explique par l'ajout de navires dans la flotte de Pétro-Nav. Depuis 2011, Pétro-Nav répond à la demande accrue de transport de carburant auprès des communautés nordiques du Nunavik par le déploiement d'un troisième navire dont l'Espada Desgagnés, un navire de type Panamax,

depuis 2014. L'ajout d'un navire supplémentaire permet à Pétro-Nav d'augmenter ses escales hors du Nunavik vers les villages du Nunavut.

Troisièmement, l'analyse de la trajectoire des navires entre 2005 et 2014 ne révèle aucune chronologie dans l'ordre des voyages effectués pour chaque village nordique du Nunavik. Les navires-citernes peuvent effectuer d'un à quatre voyages au Nunavik par saison de navigation pour desservir spécifiquement les villages nordiques. Durant chaque voyage les navires font escale dans plusieurs communautés. Quelques villages peuvent être visités à plus d'une reprise par le transporteur. Cependant, **il n'y a pas de lien entre le nombre de visites par navire et le poids démographique des villages ou le nombre d'abonnements par centrale thermique.** Ainsi les villages de Kuujjuarapik, Umiujiaq, Kangiqsujaq et Tasiujak n'ont été visité qu'une seule fois par année par les navires de Pétro-Nav pour la période 2005-2014. Plusieurs facteurs déterminants expliquent cette situation.

- La capacité d'entreposage d'hydrocarbures dans les villages n'est pas concomitante aux besoins de consommation énergétique, ce qui engendre soit des excédents ou des déficits dans les stocks sur une base annuelle irrégulière.
- Les conditions météorologiques forcent parfois le transporteur maritime à interrompre ses activités de déchargement dans un village pour les reprendre à une date ultérieure durant la saison de navigation alors que les conditions climatiques sont plus favorables.
- Le transporteur Pétro-Nav a progressivement modifié son aire de marché et intégré tant les communautés du Nunavik et celles du Nunavut au sein de sa chaîne d'approvisionnement.

4.7. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik entre 2005 et 2014

Baie Déception est le site qui affiche les plus importants volumes de déchargement d'hydrocarbures et de produits chimiques pour approvisionner les sites miniers en exploitation, soit la Mine Raglan et celle de Nunavik Nickel. Le transport maritime y est effectué à l'année.

Les principaux hydrocarbures transportés consistent en plusieurs produits pétroliers incluant des carburants variés (diesel, mazout, kérosène pour avion, essence pour véhicules légers, etc), des lubrifiants et autres dérivés (i.e. propane, butane). Les produits chimiques comprennent différents gaz industriels liés aux procédés pyrométallurgiques utilisés pour séparer et récupérer les métaux non-ferreux tels le nickel et le cuivre.

L'approvisionnement en hydrocarbures s'effectue par transport maritime jusqu'à Baie Déception. À quai, le carburant est déchargé à partir du pétrolier et acheminé aux réservoirs des infrastructures portuaires au moyen d'une conduite longeant le quai et reliée au système de transbordement du quai. Le carburant est ensuite transporté par camions-citernes jusqu'aux complexes miniers et autres installations (i.e. aéroports, camp d'exploration, etc).

Les produits chimiques, en raison des dangers liés à leur manutention, sont entreposés dans des barils à l'intérieur de conteneurs. Ces conteneurs sont essentiellement transportés par des navires de marchandises générales. Les conteneurs transbordés du navire au quai sont manipulés avec les équipements des navires et une grue mobile. Des chariots élévateurs acheminent ensuite le chargement dans les entrepôts des infrastructures portuaires ou dans les camions. Ces derniers assurent la desserte vers les différents points d'acheminement des complexes miniers.

Les infrastructures portuaires à Baie Déception sont les seules infrastructures en eaux profondes au Nunavik. Elles permettent de manutentionner les produits pétroliers et chimiques liquides à moindre risque en raison de présence d'infrastructures (quai, réservoirs, conduites, système d'incendie avec pompes), d'équipements (valves, embarcations, trousse de récupération de carburant en mer, etc), de processus (mesures préventives et de contrôle) et d'équipes de gestion des mesures d'urgence qui réduisent considérablement les risques de déversements lors du transfert de produits dangereux.

4.7.1. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik en 2005

En 2005, l'analyse de données suggère que les produits pétroliers ont été livrés au complexe minier de Raglan par des navires-citernes de type Handysize (15 000-35 000 tjb) du transporteur Coastal Shipping durant la saison de navigation été-automne. Des produits chimiques ont été acheminés par le transporteur NEAS avec deux navires l'Aivik (4 860 tjb) et l'Umiuvut (9 587 tjb) qui ont chacun fait une escale à Baie Déception entre le 1 juillet et le 6 novembre 2005.

4.7.2. Approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik en 2014

En 2014, les besoins en hydrocarbures des sites miniers au Nunavik ont nécessité le transport d'environ 92 millions de litres de carburant. En 2014, les complexes miniers de Raglan et celui de Nunavik Nickel ont été desservis par Coastal Shipping et Fednav. Coastal Shipping a opéré deux fois le navire Havelstern (17 080 tjb) permettant de distribuer 38,6 millions de litres de carburant à Baie Déception. Le transporteur Fednav a quant à lui utilisé deux calles du navire Umiak I à chaque voyage durant l'année vers Baie Déception afin de livrer 54 millions de litres de carburant au complexe minier de Raglan.

La livraison de produits chimiques a été entreprise par le transporteur NEAS avec quatre navires dans le cadre des services d'approvisionnement en marchandises générales dans les communautés nordiques et sites miniers au Nunavik entre le 27 juin et le 11 novembre. En 2014, l'Avatak (9 682 tjb) et le Qamutik (12 760 tjb) ont inclus une escale à Baie Déception. L'Umiuvut (9 587 tjb) et le Mitik (4 561 tjb) a effectué deux et trois voyages respectivement entre Valleyfield et Baie Déception.

4.7.3. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en hydrocarbures des sites miniers du Nunavik de 2005 à 2014

Une analyse des trafics de produits pétroliers et chimiques entre 2005 et 2014 révèle quatre caractéristiques des services maritimes d'approvisionnement en hydrocarbures et produits chimiques aux sites miniers au Nunavik sur le plan de la demande, de la saison de navigation, des services d'approvisionnement et d'exigences pour le transport de matières dangereuses.

Premièrement, la demande en hydrocarbures a augmenté en raison du besoin d'acheminement par la mer de carburant pour la construction et l'exploitation de deux sites miniers au Nunavik entre 2005 et 2014.

Deuxièmement, la saison de navigation pour la desserte en produits pétroliers des sites miniers du Nunavik s'est prolongée en raison d'une augmentation de la

demande et de l'utilisation des navires à coque renforcée de Fednav qui peuvent acheminer du carburant du mois de juin au mois d'avril.

Troisièmement, les services d'approvisionnement des sites miniers en hydrocarbures comportent deux dimensions. D'une part, le carburant est acheminé à bord de navires-citernes qui transportent exclusivement des produits pétroliers à Baie Déception dans le cadre de services d'approvisionnement incluant des communautés hors du Nunavik. Ces navires effectuent des voyages aller en charge avec retour à vide. D'autre part, les produits pétroliers sont également acheminés à bord de vraquiers permettant aux opérateurs de navires de réduire les coûts de transport en acheminant du carburant à l'aller et du minerai au retour.

Quatrièmement, les produits chimiques utilisés au sein des complexes miniers sont considérés matières dangereuses réparties en neuf classes selon le type de risque qu'ils représentent pour la sécurité. Le transport de matières dangereuses est soumis à la réglementation de l'Organisation Maritime Internationale (OMI). Les services d'expédition maritime de produits chimiques s'effectuent essentiellement à bord de navires pour le transport de marchandises générales dans le cadre de services auprès d'autres communautés nordiques durant la saison de navigation été-automne. Dans ce contexte, le transporteur maritime qui livre des produits chimiques au Nunavik doit s'assurer que les produits chimiques sont classés par l'expéditeur et que le transport de produits chimiques est conforme à des normes d'emballage et différentes exigences de transport.

4.8. Temps de transport maritime des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés qui desservent les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik

Pour la période 2005 à 2014, les navires-citernes de la flotte de Pétro-Nav affichent de plus longs séjours au Nunavik durant la saison de navigation estivale. Les navires-citernes de Pétro-Nav ont totalisé 118 jours de voyages et ont effectué 19 escales au Nunavik en 2005 en comparaison à 201 jours de voyages et 28 escales en 2014. Par ailleurs le nombre de jours par escale s'est accrue de 6,21 jours en 2005 à 7,73 jours en 2014 (Tableau 5). Cette augmentation des temps d'escale des navires-citernes de Pétro-Nav au Nunavik est liée aux variations dans les temps d'attente et les temps de transbordement du carburant dans les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik.

4.9. Temps d'attente des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik

Le temps d'attente d'un navire-citerne est le temps avant l'accostage ou le mouillage et après l'appareillage. Les périodes qui découlent de ces moments peuvent être considérables dans la mesure où l'accessibilité d'un navire-citerne est influencée par des impondérables dûs aux conditions atmosphériques ou

océanographiques qui limitent les possibilités de déchargement. Les temps d'attente peuvent également dépendre de l'heure d'arrivée des navires-citernes qui ne correspond pas avec l'horaire des marées.

Le Tableau 9 indique que le temps moyen d'attente d'un navire-citerne de Pétro-Nav dans un des villages nordiques ou sites miniers au Nunavik varie entre 24,41 heures et 56,67 heures au cours de la période 1996-2015. **Les temps moyens d'attente ont progressé entre 1996 et 2005 pour diminuer par la suite en raison de conditions climatiques favorables, d'amélioration dans les aides à la navigation et de la présence de nouvelles infrastructures maritimes.**

Tableau 9. Temps d'escale des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés au Nunavik, 1996-2015

Année	Nombre d'escales	État du navire	Nombre d'heures	Temps moyen par escale (heures)
1996	17	Attente	415	24,41
		Déchargement	597	35,12
2000	8	Attente	304	38,00
		Déchargement	438	54,75
2005	12	Attente	680	56,67
		Déchargement	491	40,92
2010	13	Attente	606	46,62
		Déchargement	320	24,62
2015	6	Attente	268	44,67
		Déchargement	255	42,50

4.9.1. Temps d'attente des navires-citernes aux villages nordiques

Durant la période 2005-2014, les navires-citernes de Pétro-Nav qui desservent les villages nordiques du Nunavik affichent une très grande variabilité des temps d'attente dans les villages nordiques du Nunavik en fonction du contexte géographique et environnemental de la région côtière (Tableau 10).

La région maritime de la **baie d'Hudson** présente la plus grande variabilité de temps moyen d'attente de navires-citernes. Le temps moyen d'attente des navires-citernes varie de 3,5 heures à Umiujaq à 187,2 heures à Kuujjuarapik, soit des délais de près d'une semaine. La moyenne des temps d'attente des navires-citernes dans les villages d'Akulivik, Inukjuag, Ivujvik et Puvirnituk se situe entre 8,25 heures et 36,80 heures.

Le temps moyen d'attente de navires-citernes qui font escale dans les villages du **détroit d'Hudson** varie de 21,58 heures à Salluit à 41,29 heures à Kangiqsujaq.

Pour les villages nordiques de la **baie d'Ungava**, le temps moyen d'attente des navires-citernes de Pétro-Nav varie de 27 heures à Tasiujaq à 103,36 heures à Kuujuaq, soit un temps moyen d'attente des navires-citernes de 1 à 4 jours.

4.9.2. Temps d'attente des navires-citernes aux sites miniers

Les délais d'attente pour les navires-citernes qui font escale au port de Baie Déception apparaissent relativement plus stables avec une moyenne de 16,33 heures et un écart-type de 13,80 heures.

Tableau 10. Temps d'escale minimum, maximum et écart-type des navires-citernes de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés par village et site minier au Nunavik, 2005-2014 (heures)

	État du navire							
	Attente				Transbordement			
Villages nordiques	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Baie d'Hudson								
Akulivik	1	28	8,25	13,20	26	68	43,25	20,02
Inukjuak	1	107	36,80	36,90	22	116	69,45	35,74
Ivujivik	1	125	31,00	52,95	10	38	28,50	8,94
Kuujuarapik	9	354	187,20	136,11	137	155	147,60	7,40
Puvirnituk	1	85	28,38	28,59	5	92	65,40	21,03
Umiujaq	1	5	3,50	1,00	25	44	32,17	7,25
Détroit d'Hudson								
Kangiqsujaq	8	152	41,29	50,14	13	113	70,56	27,11
Quaqtaq	1	137	33,22	44,01	24	88	46,56	18,43
Salluit	2	63	21,58	23,13	9	99	46,55	26,50
Baie d'Ungava								
Aupaluk	3	149	41,44	46,20	23	33	28,73	3,38
Kangiqsualujuaq	3	68	39,00	20,63	10	131	55,45	30,79
Kangirsuk	3	81	40,33	33,93	25	53	43,56	9,74
Kuujuaq	13	171	103,36	38,92	14	241	89,57	61,92
Tasiujaq	9	66	27,00	20,56	40	51	43,00	4,34
Sites miniers								
Baie Déception	6	32	16,33	13,80	12	31	18,67	6,71

4.10. Temps de transbordement du carburant au Nunavik

Au cours de la période de temps entre l'accostage du navire-citerne à un quai ou le mouillage en rade jusqu'à son appareillage, différentes activités se déroulent.

Ce temps correspond aux opérations de transbordement du carburant. Ce temps est très important pour les armateurs afin de qualifier leur rendement.

Pour les produits pétroliers, le transbordement nécessite la mise à l'eau d'un remorqueur permettant le déploiement d'un tuyau flottant qui sera raccordé au pipeline terrestre. Lorsque les conditions de manutention sont assurées, les opérations de pompage vers les réservoirs d'entreposage peuvent débuter. La longueur des tuyaux nécessaires aux opérations dépend de la distance entre le navire-citerne et le site de déchargement, mais peut atteindre une longueur de 2,1 kilomètres. Ces méthodes de transbordement posent parfois problème en raison des variations de la marée qui empêchent les navires-citernes d'approcher des berges plus de quelques heures par jour. Lorsque l'utilisation de tuyau flottant n'est pas possible, le carburant est déchargé sur des barges munies de réservoirs. Les barges sont ensuite acheminées vers la plage par les remorqueurs. Les opérations de pompage vers les réservoirs peuvent débuter à l'arrivée des barges sur la plage.

Le temps moyen de transbordement de carburant des navires-citernes de Pétro-Nav par escale dans les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik était de 35,12 heures en 1996 et atteint 42,50 heures en 2015, avec d'importantes variations à la hausse en 2000 (54,75 heures) et à la baisse en 2010 (24,62 heures) (Tableau 9).

4.10.1. Temps de transbordement du carburant aux villages nordiques

L'analyse des temps de transbordement du carburant des navires-citernes dans les villages nordiques au Nunavik pour la période 2005-2014 révèle des différences entre les différentes régions côtières (Tableau 10).

Sur la côte de la **baie d'Hudson**, le temps moyen de transbordement du carburant varie de 28,50 heures à Ivujivik à 147,60 heures à Kuujjuarapik, soit environ une semaine. Il est important de noter que Kuujjuarapik n'accueille qu'un seul navire-citerne de Pétro-Nav par année. En outre, Kuujjuarapik dispose de 21 réservoirs pour le stockage de carburant avec une capacité autorisée de 15 millions de litres, soit le second plus important volume de stockage de carburant des villages du Nunavik après Kuujuaq.

Pour les villages nordiques du **détroit d'Hudson**, le temps moyen de transbordement du carburant varie de 46,55 heures à Salluit à 70,56 heures à Kangiqsuaq.

Le temps moyen de transbordement du carburant des navires-citernes qui font escale dans les villages de la **baie d'Ungava** varie de 28,73 heures à Aupaluk à 89,57 heures à Kuujuaq, soit un temps moyen de transbordement près de 4 jours.

4.10.2. Temps de transbordement du carburant aux sites miniers

Les navires-citernes qui desservent les sites miniers et font escale à Baie Déception possèdent un avantage en terme de temps de transbordement de carburant. Ils affichent un temps moyen de transbordement du carburant de 18,67 heures. Ceci représente un avantage de plus de 10 heures sur les temps moyens de transbordement du carburant dans les villages du Nunavik et confirme les gains d'efficacité et de sécurité en lien avec des infrastructures portuaires adéquates.

5. TRANSPORT MARITIME DE VRAC SEC AU NUNAVIK

Le Nunavik renferme plusieurs gisements minéraliers. Des campagnes géologiques effectuées au Nunavik ont permis de localiser d'importants dépôts de minéraux métalliques incluant des gisements de nickel-cuivre dans la fosse d'Ungava, des dépôts ferrugineux dans la Fosse du Labrador et un potentiel diamantifère dans l'Orogène des Torngat (MERN, 2016). Nombre de projets d'exploitation minière sont à divers étapes de développement et plus de 72 000 titres miniers ont été accordés (Parnasimautik, 2013). L'exploitation minière présentement en cours au Nunavik révèle l'importance d'une commodité: le nickel.

5.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à caractériser les conditions de desserte maritime du vrac sec au Nunavik.

5.2. Méthodologie

La réalisation de l'analyse comporte six étapes méthodologiques :

1. Identifier les sources de données sur le transport de minerais au Nunavik;
2. Caractériser les conditions de marché du nickel et du cuivre à l'international;
3. Identifier les parties prenantes en lien avec l'extraction du nickel et du cuivre à Baie Déception;
4. Comprendre l'importance de la variation des stocks dans la hausse des investissements miniers et l'augmentation des exportations des minerais du Nunavik;
5. Identifier les principaux transporteurs notamment Fednav incluant des informations détaillées sur les vraquiers;
6. Mesurer le nombre et la durée des voyages de chaque navire de vrac sec, la saison de navigation et le temps d'escale à Baie Déception pour la période 2005-2014.

5.3. Données sur le transport maritime de vrac sec

Concernant les données statistiques sur le marché mondial des minerais, il existe plusieurs sources provenant de différents organismes nationaux et internationaux. Les informations relatives à la production de minerai au Nunavik proviennent des rapports annuels des corporations. L'information sur le transport maritime à Baie Déception provient de la base de données du service de la Zone de trafic de l'Arctique Canadien (NORDREG) et inclut l'historique des routes maritimes empruntées par chaque navire en combinant les coordonnées de positionnement en longitude et latitude de tous les jours de navigation vers Baie Déception. Les sites Internet *Marine Traffic*, *Vessel Finder* et *Shipspotting* ont

servi de base pour offrir des informations détaillées sur les compagnies propriétaires des navires (nom, pavillon, indicatif, numéro d'identification OMI), le tonnage du navire, histoire du navire (construction, commercialisation), dimensions (longueur, largeur, tirant d'eau) et classe de glace. Des informations additionnelles ont été obtenues des sites Internet des transporteurs. Plusieurs consultations ont été menées auprès de Fednav incluant des entrevues auprès des capitaines de navires, des directeurs d'opérations des projets dans l'Arctique, et des services techniques Enfotec sur le suivi et l'analyse des glaces.

5.4. Conditions de la demande

5.4.1. Marché du nickel

Il existe deux types de nickel: le sulfure nickel-cuivre qui contient 2-4% de nickel et les gisements latéritiques riches en fer qui contiennent 1% de nickel. Les réserves mondiales sont estimées à 54 millions de tonnes. Alors que les dépôts de latéritiques sont généralement situés dans les régions tropicales, la formation des minerais sulfureux se trouve au Canada et en Russie.

En 2016, les principaux producteurs sont les Philippines (500 000 t), la Russie (256 000 t), le Canada (255 000 t), l'Australie (206 000 t) la Nouvelle-Calédonie (205 000 t) l'Indonésie (168 000 t), le Brésil (142 000 t), la Chine (90 000 t), le Guatemala (58 000 t) et Cuba (56 000 t) (Barrera, 2017). Le Québec compte pour 5% de la production canadienne de nickel (MERN, 2016)

Le nickel est d'une importance stratégique pour l'industrie de l'acier, car il offre une excellente résistance à la corrosion à une gamme étendue d'alliages. Les principales utilisations concernent les industries chimiques, pétrolières, électriques et aéronautiques. Il importe de souligner que les trafics maritimes sont basés sur la demande de différents secteurs de production et de distribution. Or, **ce sont les grands donneurs d'ordres dans les secteurs industriels à l'échelle internationale qui décident des modalités de participation d'une mine dans les processus d'acheminement du fret.** En 2016, la demande mondiale de nickel atteint 2,05 millions de tonnes dont 52% sont destinées au marché chinois (INSG, 2017). Toute croissance de la demande de nickel est étroitement liée au succès des programmes du gouvernement chinois visant à relancer l'industrie sidérurgique notamment la production d'acier inoxydable.

5.4.2. Exploitation du nickel au Nunavik

Deux gisements sont présentement en exploitation: la mine Raglan exploitée par Glencore et la mine Nunavik Nickel par la Société minière Jien Canada (Figure 4). Les ressources incluent le nickel, le cuivre, le cobalt, le palladium le platine et l'or.

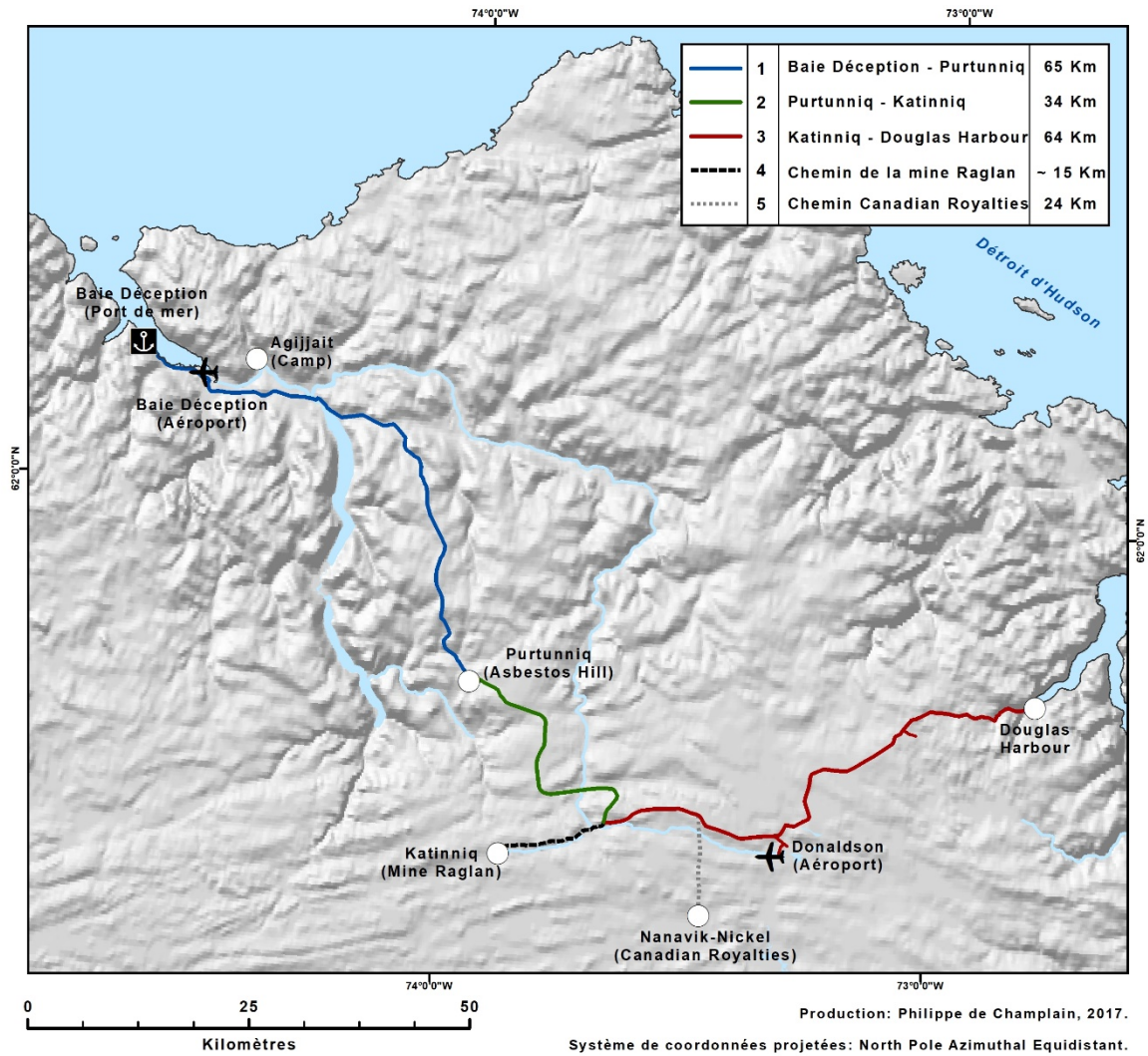
5.4.2.1. Mine Raglan

La mine Raglan est en opération depuis 1997 (Têtu et al, 2015). La mine a d'abord été détenue et exploitée par Falconbridge Ltd avant d'être acquise par Xstrata PLC en 2006. En 2011, Xstrata annonce un investissement de 530 millions \$ dans les installations minières de Raglan. Xstrata est détenue par Glencore depuis 2013. Le complexe minier comprend quatre mines souterraines en exploitation: la mine Katinniq, la mine n°2, la mine Kikialik et la mine Qakimajuk.

Mine Raglan produit environ 1,3 millions de tonnes de minerais par année. Les minerais extraits sont concassés, broyés et traités pour être transformés en concentré de nickel-cuivre. En 2014, la production comprend 37 246 tonnes de nickel dans le concentré, 10 260 tonnes de cuivre dans le concentré et 777 tonnes de cobalt dans le concentré. Le concentré est ensuite acheminé par camion jusqu'au port de Baie Déception situé à environ 100 kilomètres. À Baie Déception le concentré est placé dans une aire d'entreposage abritée d'une capacité de 45 000 tonnes (MTQ, 2002). Les infrastructures maritimes de Baie Déception ont été construites en 1971 pour l'exploitation de l'amiante à Asbestos Hill durant la période 1972-1984. Les infrastructures relèvent de la Société minière Raglan depuis 1998. **À Baie Déception le concentré est acheminé par transport maritime jusqu'au port de Québec, puis transféré dans un train à destination de la fonderie Glencore située à Sudbury en Ontario. Le concentré est alors fondu et coulé en matte. À la suite de cette transformation, le chargement est réexpédié par train vers Québec pour être acheminé à l'affinerie Nikkelverk en Norvège où le nickel est transformé en métaux pour être vendu à l'international.**

La production de nickel par Glencore s'effectue au Canada, en Australie et en Nouvelle-Calédonie (Glencore, 2011-2017). En 2016, la production mondiale de nickel par Glencore a été de 115 000 tonnes. La production des opérations intégrées de Glencore incluant Raglan, Sudbury et Nikkelverk compte pour 57% de la production de nickel de la compagnie.

Figure 4. Complexes miniers de la région de Katinnik au Nunavik



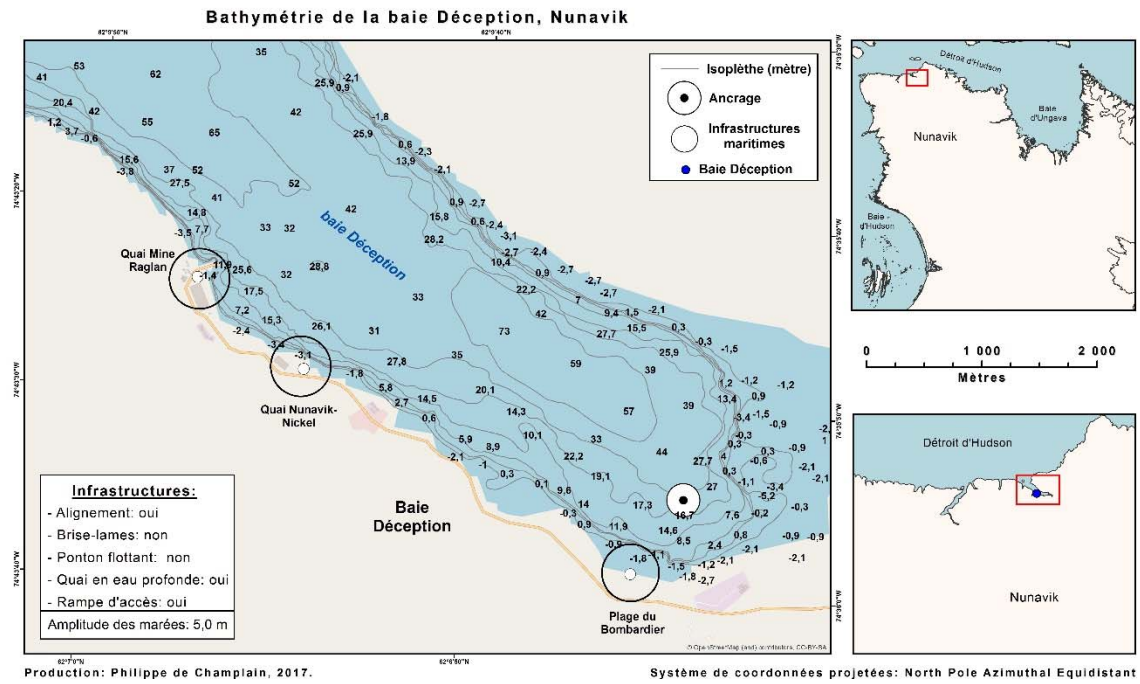
Source: Open Street Map, Base Map, ArcGIS; MTQ

5.4.2.2. Nunavik Nickel

Le site de Nunavik Nickel est situé à 20 kilomètres au sud de la mine Raglan et comprend plusieurs gisements de nickel, cuivre, cobalt, platine, palladium et or. Le projet a été initié en 2007 par Canadian Royalties Inc – une filiale de la firme Goldbrook Ventures basée à Vancouver. En 2008, les travaux ont été suspendus dans la foulée de la crise financière mondiale. En 2010, l'entreprise chinoise Jilin Jien Nickel Industry Co. Ltd s'est portée acquéreur de Canadian Royalties à travers sa filiale Jien Canada Mining Ltd. Jilin Jien Nickel Industry est un important producteur de nickel et d'autres produits à base de nickel (Jilin Jien Nickel Industry, 2017). La société dispose d'actifs dans les mines de nickel en Chine, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en Indonésie et au Canada. Avec l'appui de banques chinoises, Jien Canada Mining Ltd a consenti des investissements estimés à 1 milliard \$ pour la production de concentré de nickel au Nunavik.

Nunavik Nickel produit environ 1,6 million de tonnes de minerais par année. En 2013, la compagnie a expédié un premier chargement de concentré de cuivre. En 2014, Nunavik Nickel a expédié 23 000 tonnes de concentré de nickel. Le site minier dispose d'une capacité d'entreposage pour 5-6 mois de production. Le transport de concentré entre le complexe minier et Baie Déception, où la compagnie possède ses propres infrastructures, se fait par camion. Le terminal maritime de Nunavik Nickel est située à 1,5 kilomètre des infrastructures de Raglan à Baie Déception (Figure 5). Les infrastructures incluent une barge flottante de 122 m de long, 23 m de large et de 6,1 m de haut amarrée à la rive permettant de supporter les variations de marée. La barge est maintenue en place à l'aide de lignes et de bèches d'ancrage pour l'arrimage des navires. Le quai flottant est relié à l'entrepôt de stockage du concentré de minerai par un convoyeur d'une capacité de 500 tonnes/heure (WSP Canada, 2014). **Le minerai ne subit aucune transformation dans la région même, ce qui limite considérablement l'influence de cette industrie. La production est totalement expédiée hors du Québec. Le minerai est expédié à un seul client, soit la fonderie russe de Norilsk Nickel située à Harjavalta en Finlande.**

Figure 5. Infrastructures maritimes à Baie Déception au Nunavik



Source: Base Map, OpenStreetMap, ArcGIS et Service Hydrographique du Canada

5.4.3. Variation du volume des stocks

Au Nunavik, la hausse des investissements miniers et l'augmentation des exportations correspondent à la variation des stocks de réserve de minerais et la hausse concomitante de la demande mondiale de nickel et de cuivre. **Les niveaux projetés de stock de métaux sont d'excellents indicateurs quant à l'équilibre offre-demande du marché des minerais** (INSG, 2017).

Depuis 2005, les prix du nickel ne reflètent pas le volume des exportations du Québec (Tableau 11). Alors que le prix du nickel affichait une forte progression, les quantités expédiées étaient en déclin (Figure 6). La remontée récente des cours du nickel semble donner une vigueur renouvelée aux groupes miniers. Ceci suggère que les firmes qui ont développé des gisements miniers de nickel à un stade précoce du cycle de la commodité peuvent combler le déficit de production, sujet évidemment à la hausse du prix du nickel, car le développement de projets miniers est étroitement lié au maintien du prix des matières premières à un niveau suffisamment élevé.

Le cuivre qui est souvent extrait en même temps que le nickel est aussi affecté par les variations du marché. Pendant la période 2005-2009, la fluctuation des prix du cuivre ne correspond pas au rythme des expéditions du minerai correspondant (Figure 7). Le déclin des prix depuis 2011 s'inscrit dans le contexte d'une hausse des exportations (Tableau 12). La production de minerai semble donc séparée du prix de la commodité sur les marchés mondiaux. Ceci suggère que l'extraction du minerai de cuivre repose davantage sur une décision corporative en lien avec le volume global de production de la compagnie.

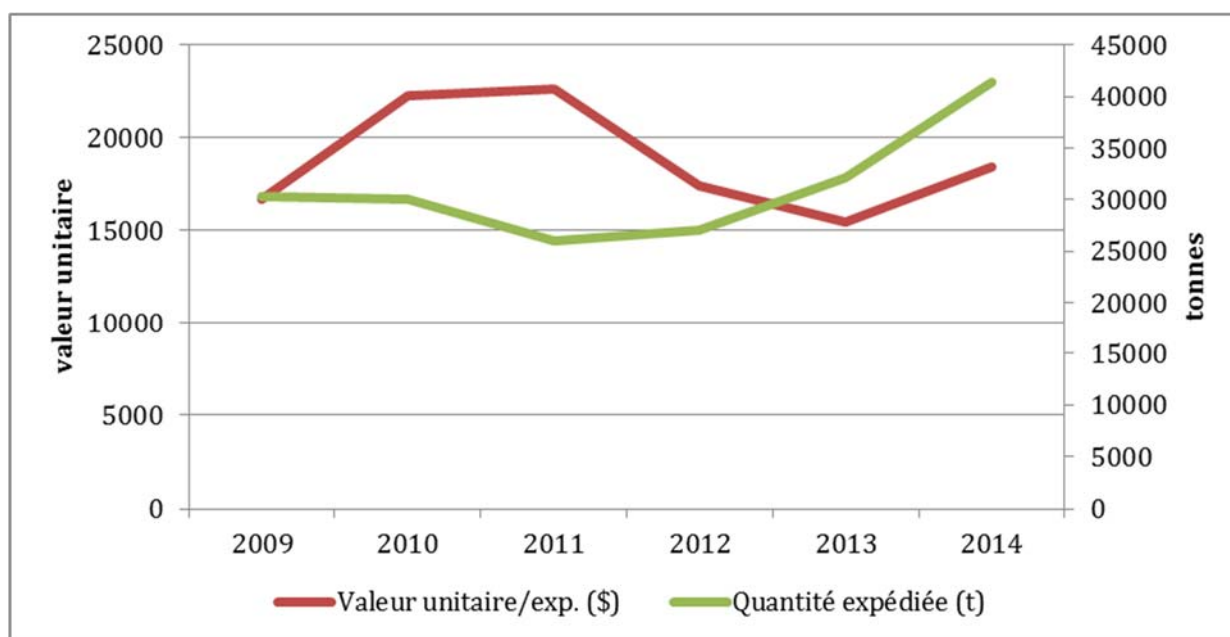
Une analyse des stocks interannuels de plusieurs types de minerais en fonction de la demande mondiale démontre que les stocks de report pour le nickel et le cuivre seront différents à l'horizon 2020 (Statista, 2017) (Figure 8). Les stocks de report correspondent aux quantités conservées afin de compléter éventuellement l'approvisionnement et d'éviter une hausse brutale des prix. Un déclin des réserves de nickel va entraîner une forte augmentation des prix, mais de façon davantage marquée il peut accélérer les perspectives de développement d'industries minières.

Tableau 11. Volume et valeur des expéditions de nickel produit au Québec, 2005-2014

Année	Expéditions (tonnes)	Prix moyen d'une livre de nickel (\$ CA de 2012)
2005	22 230	9,39 \$
2006	21 821	13,89 \$
2007	25 277	19,83 \$
2008	21 707	11,23 \$
2009	30 276	8,06 \$
2010	29 791	10,64 \$
2011	26 464	10,43 \$
2012	27 180	7,89 \$
2013	32 147	6,95 \$
2014	41 341	8,12 \$

Source: MERN, 2014

Figure 6. Évolution du cours du nickel et exportations du Nunavik, 2009-2014



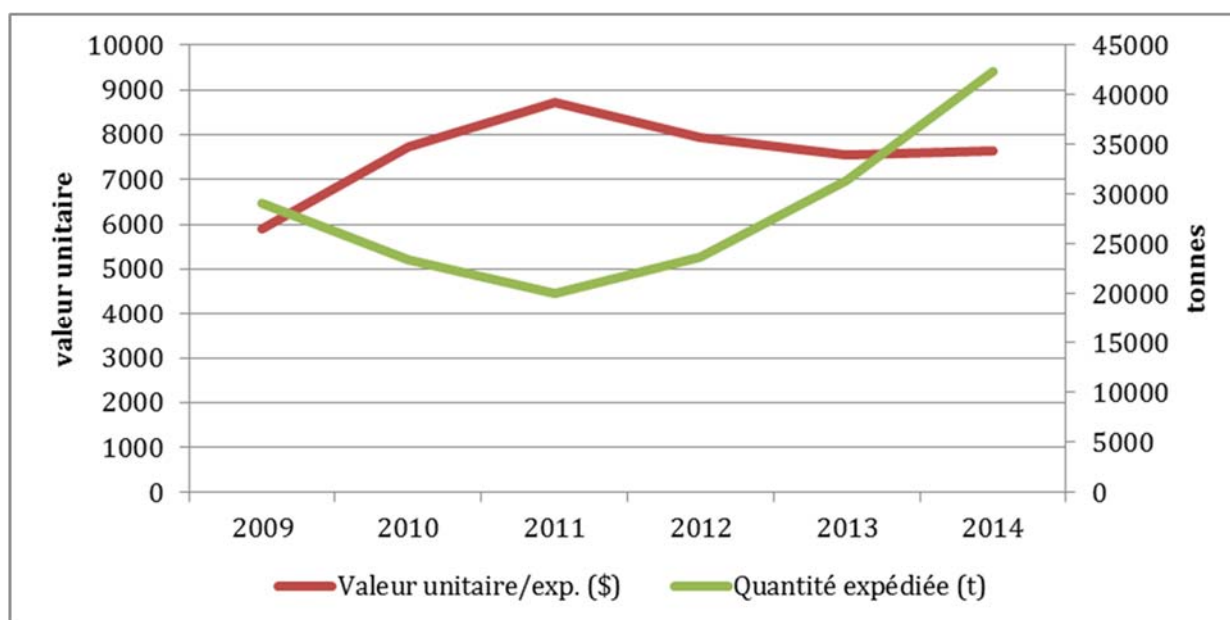
Source: Gouvernement du Québec, 2014a

Tableau 12. Volume et valeur des expéditions de cuivre produit au Québec, 2005-2014

Année	Expéditions (tonnes)	Prix moyen d'une livre de cuivre (\$ CA de 2012)
2005	39 171	2,30 \$
2006	18 669	3,86 \$
2007	21 607	3,79 \$
2008	37 217	3,59 \$
2009	29 169	2,84 \$
2010	23 384	3,68 \$
2011	20 043	4,02 \$
2012	23 649	3,60 \$
2013	31 769	3,40 \$
2014	42 344	3,37 \$

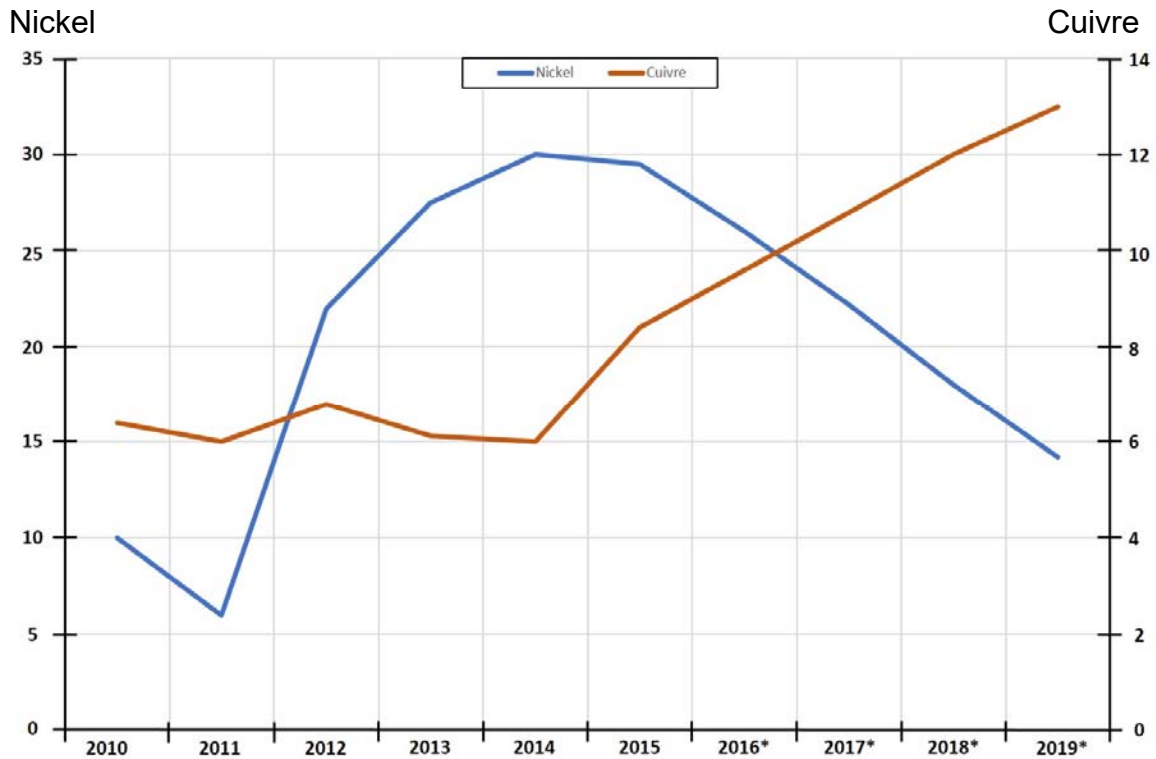
Source: MERN, 2014

Figure 7. Évolution du cours du cuivre et exportations du Nunavik, 2009-2014



Source: Gouvernement du Québec, 2014a

Figure 8. Évolution du rapport stock-utilisation du nickel et du cuivre, 2010-2019



* Estimation

Source: Business Monitor International, 2016

5.5. Transport maritime de concentré de nickel et de cuivre de Baie Déception par Fednav

Le transport maritime de vrac sec au Nunavik concerne uniquement le transport de concentré de nickel et de cuivre de Mine Raglan et Nunavik Nickel qui exploitent les gisements dans la région de Katinniq. Les premières livraisons de minerai furent effectuées en 1998 par Mine Raglan puis débutèrent celles de Nunavik Nickel en 2013. Baie Déception est l'unique port d'expédition. **Les infrastructures de Baie Déception sont équipées pour la manutention du concentré de nickel et de cuivre et capables de recevoir des navires qui ont la capacité de s'y rendre toute l'année.** Ces infrastructures ont toutes été aménagées par les compagnies minières au prix d'importants investissements.

Le concentré de nickel et de cuivre est exporté du Nunavik par plusieurs transporteurs, mais **Fednav contrôle une grande partie du marché du transport maritime.** Le transporteur possède un contrat d'exclusivité pour l'usage du quai privé de Mine Raglan à Baie Déception. Par ailleurs, Fednav a signé en 2012 un contrat avec l'entreprise Canadian Royalties Inc pour l'importation de matériel destiné au projet Nunavik Nickel et pour l'exportation du concentré de nickel et de cuivre (Nunatsiaq, 2012).

Une analyse des expéditions du concentré de nickel et de cuivre par Fednav de Baie Déception depuis 2005 révèle cinq grandes caractéristiques des services de transport maritime du transporteur au Nunavik.

Premièrement, **Fednav se démarque des autres transporteurs par la mise en service d'une flotte de navires construits pour circuler dans des zones couvertes de glaces.** Ces navires incluent l'Arctic (cote arctique 3), l'Umiak I (cote arctique 4) et le Nunavik (cote arctique 4). Un navire de cote arctique 4 est autorisé à naviguer dans les eaux couvertes de glace de première année toute l'année (Tableau 13).

Tableau 13. Transporteurs maritimes à Baie Déception, 2005-2014

Année	Opérateur	Navire	Cote arctique
2005	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Gmz Shipmanagement	Carina	N/A
2006	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Spliethoff	Poolgracht	Type B
2007	CSL Group Inc.	Atlantic Erie	N/A
	CSL Group Inc.	Atlantic Huron	N/A
	Fednav Ltd.	Federal Elbe	Type D
	Startio Shg. Co. Ltd.	Franklin	N/A
	CSL Group Inc.	Nanticoke	N/A
	Fednav Ltd.	Umiak 1	Cote arctique 4
2008	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Wagenborg Shipping Bv	Varnebank	Type E
2009	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Wagenborg Shipping Bv	Varnebank	Type E
2010	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
2011	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
2012	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Fednav Ltd.	Umiak 1	Cote arctique 4
	Wagenborg Shipping Bv	Varnebank	Type E
2013	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Wagenborg Shipping Bv	Arneborg	Type E
	Fednav Ltd.	Federal Power	Type E
2014	Wagenborg Shipping Bv	Amazoneborg	Type B
	Fednav Ltd.	Arctic	Cote arctique 3
	Wagenborg Shipping Bv	Arubaborg	Type B
	Wagenborg Shipping Bv	Azoresborg	Type E
	Fednav Ltd.	Nunavik	Cote arctique 4
	SFL Tyne Inc.	Western Australia	Type B

Deuxièmement, **ces navires peuvent répondre à la demande et permettent un prolongement de la saison de navigation à destination ou en provenance de Baie Déception**. En 2005, la saison de navigation du navire Arctic de Fednav avait débuté le 13 juin et s'était terminée le 10 novembre (150 jours). En 2014, le même navire a débuté ses opérations de chargement à Baie Déception le 10 juin et quitté la zone Nordreg le 5 mars 2015 pour une saison de navigation de 300 jours (Tableau 14). La saison de navigation des navires des autres transporteurs se limite à la période juillet-novembre.

Tableau 14. Durée de la saison de navigation des navires de Fednav à Baie Déception au Nunavik, 2005-2014

Année	Première entrée	Dernière sortie	Durée (jours)
2005	13 juin 2005	10 novembre 2005	150
2006	16 juin 2006	2 novembre 2006	139
2007	10 novembre 2007	25 novembre 2007	15
2008	15 juin 2008	27 janvier 2009	226
2009	13 juin 2009	24 novembre 2009	164
2010	10 juin 2010	16 mars 2011	279
2011	14 juin 2011	18 mars 2012	278
2012	15 juin 2012	26 mars 2013	284
2013	17 juin 2013	20 mars 2014	276
2014	26 mars 2014	20 janvier 2015	300

Troisièmement, **les navires Arctic, Umiak I et Nunavik de la flotte de Fednav offrent un service de transport maritime du concentré de nickel et de cuivre pendant plus de 40 semaines par année entre les mois de juin et avril depuis 2008** (Tableau 15). Le transporteur a offert jusqu'à douze voyages par année à destination et au départ de Baie Déception. Par ailleurs, il importe de souligner la performance des activités de chargement du minerai à Baie Déception. Le Tableau 16 démontre que pour la période 2005-2013, la variabilité des temps d'escale des navires de Fednav à Baie Déception, telle que mesurée par l'écart-type est moins de quatre jours de la moyenne qui est de 10 à 13 jours. Les temps d'escale des navires de Fednav au port de Baie Déception apparaissent relativement stables.

Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation

Tableau 15. Saisonnalité et temps d'escale des transporteurs de minerais à Baie Déception, 2005-2014

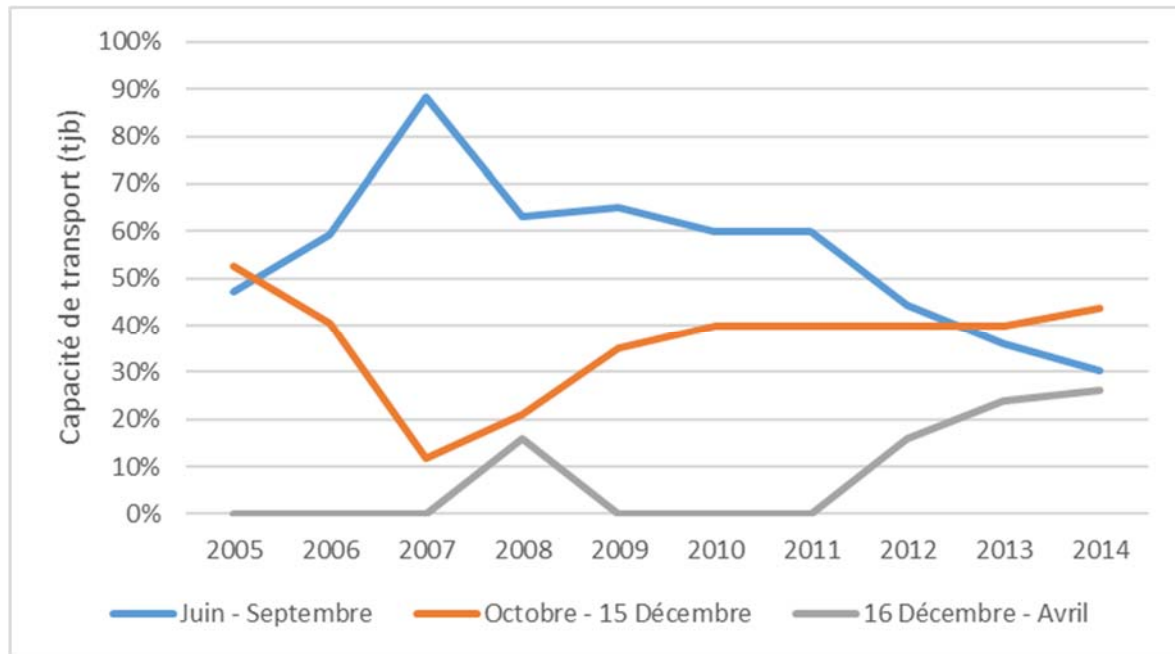
Année	Navire	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2005	Arctic						10		11		10	9	
	Carina										4		
2006	Arctic						11		10		11		
	Poolgracht										4		
	Atlantic Erie									1			
	Atlantic Huron									1			
	Federal Elbe											13	
2007	Franklin						13						
	Nanticoke									4			
	Umiak 1								12				
2008	Arctic						12	5	9	6	11		13
	Varnebank										5		
2009	Arctic	27					12	10	8	7	13	8	
	Varnebank							5			4		
2010	Arctic						11	12	10		11		17
2011	Arctic	12		15			11	11		11	11		12
	Arctic	15		18			12	11		13	9	9	11
2012	Umiak 1												
	Varnebank							4					
2013	Arctic	16		21			11	10		12	11		11
	Arneborg										12		
	Federal Power										16		
2014	Amazoneborg										7		
	Arctic	12		27			12	5	8	6	12		16
	Arubaborg								12				
	Azoresborg											14	
	Nunavik				17		8		43				28 (+18: 2015)
	Western Australia										12		

Tableau 16. Voyages et temps d'escale des navires Arctic, Umiak I et Nunavik de Fednav à Baie Déception par saison de navigation, 2005-2014 (jours)

Année	Nombre de navire	Nombre de voyages				Temps d'escale (jours)			
		Juin-Septembre	Octobre-15 décembre	16 décembre-avril	Total	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
2005	1	3	1	0	4	9	11	10	0,70
2006	1	2	1	0	3	10	11	10,6	0,47
2007	1	1	0	0	1	12	12	12	0,00
2008	1	4	1	1	6	5	40	9,3	2,98
2009	1	4	2	0	6	7	13	9,6	2,21
2010	1	3	2	0	5	10	17	12,2	2,48
2011	1	3	2	2	7	11	15	11,8	1,35
2012	2	4	2	3	9	3	18	11,2	3,96
2013	1	3	2	2	7	10	21	13,1	3,68
2014	2	6	2	4	12	5	46	16,1	10,76

Quatrièmement, la saisonnalité des capacités de transport maritime du concentré de nickel et de cuivre à Baie Déception s'est transformée de façon significative depuis 2005. La Figure 9 démontre un déclin des capacités de transport maritime de vrac sec offertes à Baie Déception pour la période de juin à septembre de 88% à 30% entre 2007 et 2014. En fort contraste, **les transporteurs affichent une croissance de leurs activités entre le 1 octobre et le 15 décembre** depuis 2008. En 2014, cette période de navigation compte pour 44% des capacités de transport offertes à Baie Déception. De façon davantage marquée, **les services hivernaux de la flotte de Fednav se sont progressivement accrus depuis 2011 et représentent 26% des capacités de transport de vrac sec à Baie Déception** en 2014. L'ajout de Canadian Royalties Inc. sur le marché explique certes l'augmentation de capacité de transport offerte en raison d'une augmentation de la demande de nickel sur le marché mondial des commodités.

Figure 9. Saisonnalité des navires de vrac sec à Baie Déception, 2005-2014



Cinquièmement, **le déploiement d'une flotte de navires de cote arctique 4 permet à Fednav de traverser le Passage du Nord-Ouest sans escorte avec une cargaison en provenance de Baie Déception.** En septembre 2014, le transporteur a déployé le navire Nunavik afin de répondre à la demande de la compagnie sino-canadienne Jien Canada Mining Ltd d'expédier 23 000 tonnes de concentré de nickel de Baie Déception vers le port de Bayuquan dans la province de Liaoning au Nord-Est de la Chine (Nunatsiaq, 2014). En optant pour le Passage du Nord-Ouest plutôt que la route du Canal de Panama, le transporteur a réduit la distance de Baie Déception à Bayuquan de 5 000 milles nautiques et de 20 jours de traversée permettant ainsi de réduire de 1 300 tonnes les émissions de gaz à effet de serre. Il importe de souligner toutefois que la traversée du Passage du Nord-Ouest fut réalisée au mois de septembre alors que la couverture glaciaire est à son seuil le plus bas.

6. TRANSPORT MARITIME DE MARCHANDISES GÉNÉRALES AU NUNAVIK

Le trafic de marchandises générales au Nunavik est l'un des facteurs qui ont le plus contribué au développement socio-économique de la région. Ce rôle est d'autant plus important que la région manque littéralement de véritables moyens de transport autre que l'avion et doit compter sur le transport maritime pour une forte proportion de ses approvisionnements. Les services aériens peuvent certes transporter des marchandises périssables et quelques biens divers, mais le Nunavik possède peu de pistes accessibles aux avions spécialisés tout cargo. En outre, le transport de marchandises générales par voie aérienne est très coûteux. À titre d'exemple, le transport de marchandises générales par avion entre Montréal à Kuujuaq revient à environ 5 650\$/tonne comparativement à 417,55\$/tonne par navire.

6.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à caractériser les conditions de desserte maritime des marchandises générales au Nunavik.

6.2. Méthodologie

La réalisation de l'analyse comporte six étapes méthodologiques:

1. Identifier les sources de données sur le transport de marchandises générales au Nunavik;
2. Caractériser les facteurs de progression de la demande de marchandises générales au Nunavik;
3. Faire ressortir les paramètres qui influencent les coûts du transport maritime de marchandises générales au Nunavik;
4. Identifier les principaux transporteurs notamment Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS) et Groupe Desgagnés incluant des informations détaillées sur les flottes de navires pour le transport de marchandises générales;
5. Mesurer pour chaque navire de NEAS et Groupe Desgagnés dédié au transport de marchandises générales au Nunavik les éléments suivants: le nombre et durée des voyages, saison de navigation, séquence et nombre d'escales pour chaque voyage et temps d'escale pour tous les villages et sites miniers au Nunavik pour la période 2005-2014;
6. Comparer les caractéristiques de la desserte maritime de marchandises générales entre les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik ;
7. Présenter une synthèse des services de transport maritime au Nunavik pour le vrac liquide, le vrac sec et les marchandises générales.

6.3. Données sur le transport maritime de marchandises générales

Les informations sur l'évolution de la demande de marchandises générales proviennent d'une revue de la littérature sur les conditions de vie des autochtones, d'enquêtes menées auprès des communautés sur la structure des dépenses des ménages au Nunavik (Robitaille et al, 2016), de statistiques démographiques des villages et de rapports sur le coût de la vie publiés par la Société Makivik (2017). Les données relatives aux flottes des navires de NEAS et Groupe Desgagnés ont été collectées dans les rapports annuels des transporteurs. La base de données du service de la Zone de trafic de l'Arctique Canadien (NORDREG) a permis de construire la matrice origine-destination de tous les navires de marchandises générales transitant dans les villages et sites miniers au Nunavik. Plusieurs consultations ont été menées auprès des représentants de NEAS et Groupe Desgagnés.

6.4. Conditions de la demande

Le trafic maritime global de marchandises générales au Nunavik est estimé à 150 000 tonnes par année; les expéditions de marchandises générales sont en constante augmentation. Il est possible de distinguer quatre catégories de cargo.

6.4.1. Exploitation minière

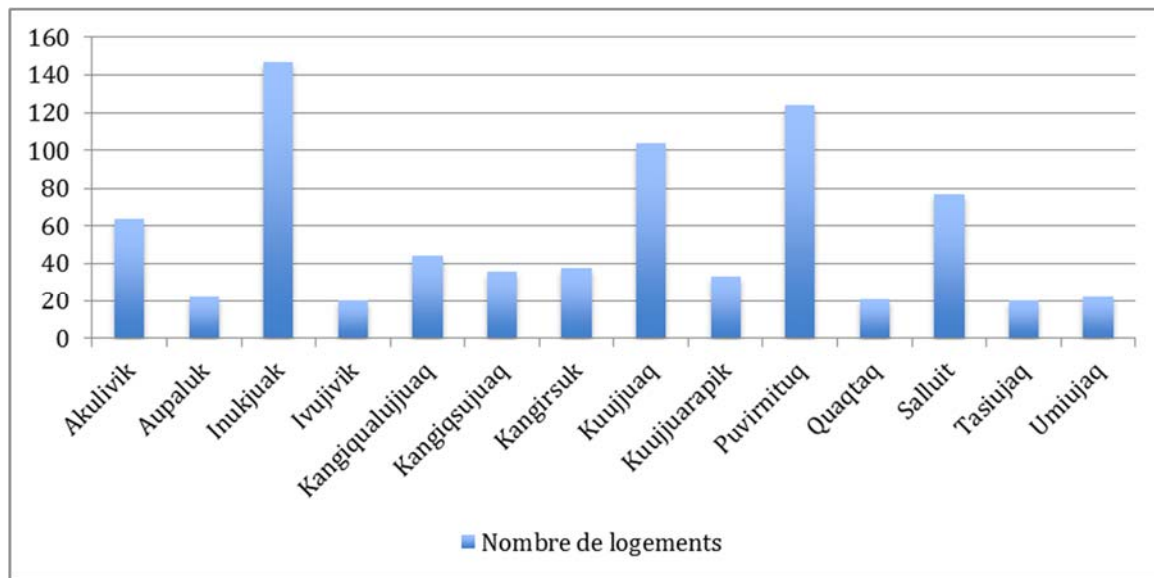
L'un des facteurs les plus spectaculaires influençant le transport maritime de marchandises générales a certainement été le développement majeur qui s'est opéré pour le transport de marchandises hors-normes, matériaux de construction lourds, machineries, matières dangereuses et matériel électrique destinés à la construction des sites miniers. Les projets de mine Raglan et Nunavik Nickel sont les plus grands responsables de la hausse des trafics de marchandises générales. Ces gigantesques travaux nécessitaient entre autres la construction d'une route de plus d'une centaine de kilomètres vers les chantiers pour convoier le matériel, la construction de quais, l'amélioration de pistes d'atterrissage et l'aménagement de bâtiments pour loger le personnel attaché au fonctionnement des complexes miniers.

6.4.2. Construction immobilière

Le secteur immobilier et les progrès dans les infrastructures locales est un second générateur de trafic maritime de marchandises générales. Les ententes concernant la mise en œuvre de la Convention de la Baie James et du Nord québécois, le programme **Logement abordable Québec** et les programmes d'accès à la propriété et à la rénovation domiciliaire incluant ceux inscrits dans le cadre du **Plan Nord** contribuent à améliorer les conditions de vie des communautés au Nunavik (Gouvernement du Québec, 2014a). Ces ententes ont donné un essor à la construction de nombreux immeubles (école, hôpital, habitation, centre des loisirs). Pour la période 2005-2013, plus de 770 logements

sociaux ont été construits (Figure 10). Par ailleurs, il importe de souligner que le gouvernement du Québec a consenti d'importants investissements pour soutenir des projets d'infrastructures de transport et d'installations d'utilité publique consacrées aux villages nordiques répondant ainsi à la demande en lien avec la croissance démographique et le développement socio-économique.

Figure 10. Logements sociaux construits au Nunavik, 2005-2013



Source: Gouvernement du Québec, 2014b

La ventilation actuelle du trafic traduit bien la prédominance des matériaux de construction incluant modules préfabriqués, blocs de ciment, acier de structures et de couverture, bois de charpente, réservoirs, tuyaux, câbles métalliques, équipements de chauffage, matériel de plomberie, accessoires électriques, quincaillerie, articles de verre, etc. Une partie importante des matériaux pour la construction des réservoirs de stockage de pétrole contribue également à la hausse du trafic des marchandises générales.

6.4.3. Niveau de motorisation

La progression du taux de motorisation des populations du Nunavik ajoute une nouvelle dimension au trafic maritime de marchandises générales. Une enquête sur les dépenses des ménages au Nunavik montre une utilisation croissante de véhicules pour le transport incluant des camions privés, des véhicules de loisirs et de services publics (Robitaille et al, 2016). La desserte maritime représente la seule alternative pour les villages côtiers et les sites miniers pour la livraison de camions, véhicules et autres équipements roulants.

6.4.4. Consommation domestique

La croissance démographique a enregistré plusieurs poussées qui ont particulièrement affecté les villages du Nunavik. Dans l'ensemble le peuplement demeure cependant bien tenu et ne dépasse guère 14 000 habitants. L'extraction de minerais a certes permis la création d'un front pionnier au cœur même de l'arrière-pays du Nunavik et d'accentuer la croissance démographique. Le complexe minier de Raglan emploie près de 950 personnes dont 16% d'Inuits, alors que plus de 650 personnes travaillent sur le site de Nunavik Nickel dont 117 Inuits. Les types de denrées consommées demeurent assez importantes mais les principaux biens de consommation sont acheminés par conteneur et incluent vêtements, articles ménagers, biens personnels, meubles et accessoires domestiques, équipements de bureautique, nourriture sèche et produits alimentaires à température contrôlée.

6.4.5. Coûts

Sur la base des tendances les plus significatives pour ce secteur, mais sans en faire une évaluation économique numérique formelle et détaillée, il est possible d'identifier plusieurs paramètres qui affectent le coût du transport de marchandises générales au Nunavik.

Premièrement, **le transport de marchandises générales nécessite beaucoup de consolidation afin d'atteindre les économies d'échelle permettant de réduire les coûts.** Cette consolidation exige des aires d'entreposage au port d'origine à Valleyfield, Montréal et Québec, ce qui impose des coûts de manutention et d'inventaire élevés.

Deuxièmement, **les expéditions se font presque totalement durant la saison régulière de navigation sauf pour Baie Déception où les opérations de déchargement et chargement de marchandises générales peuvent s'exercer de juin à mars.** Il en résulte que pour les villages du Nunavik, plusieurs matériaux de construction acheminés par conteneurs demeurent entreposés dans des aires extérieures pendant plusieurs mois avant le début des mises en chantier au printemps suivant (Rogers, 2016).

Troisièmement, considérant que les réceptions de marchandises générales dans les villages nordiques et les sites miniers du Nunavik se révèlent très supérieures aux expéditions, **les coûts associés à l'offre de services de transport maritime sont élevés étant, la plupart du temps, obligés de faire le voyage de retour avec des conteneurs vides.**

6.5. Transporteurs maritimes de marchandises générales au Nunavik

À l'instar du transport de vrac liquide et de vrac sec, il n'existe pas de lignes maritimes régulières pour le transport de marchandises générales. La plus

grande partie du trafic est effectuée par des compagnies maritimes québécoises dont quelques-unes entretiennent un service de navigation dans la région depuis plusieurs années. Mais le nombre de transporteurs maritimes qui peuvent assurer le service de desserte de marchandises générales au Nunavik est limité. Sur le plan opérationnel, considérant les limites des infrastructures maritimes, chaque armateur doit transporter des équipements de manutention et adopter une méthode pour effectuer le transport et les opérations de chargement/déchargement qui soient adaptés aux conditions de desserte du Nunavik.

Depuis 2005, le transport maritime de marchandises générales est assuré par six compagnies où **Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS) et Groupe Desgagnés se démarquent par rapport aux autres entreprises en termes de capacité et nombre de voyages**. Ces transporteurs ont introduit un service conteneurisé et de nouvelles techniques de manutention. Ce service offre l'avantage d'apporter une plus grande sécurité à la marchandise générale et de réduire les risques de dommages physiques. Les autres services de transport maritime de marchandises générales pour le Nunavik sont assurés par quatre transporteurs. À titre d'exemples, Beluga Shipping a déployé trois navires pour effectuer neuf voyages au Nunavik en 2007-2008. FedNav Ltd. a assigné le navire Federal Patroller à l'acheminement de composantes structurelles surdimensionnées à Kuujuaq, Puvirnituk et Kuujuarapik en 2010. En 2007, le navire Kathryn Spirit a effectué pour McKeil Marine Ltd. deux voyages au Nunavik. Pour la période 2005-2014, cinq navires de Wagenborg Shipping BV ont pu assurer cinq voyages pour desservir les sites miniers à Baie Déception.

6.5.1. Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS)

6.5.1.1. Flotte de NEAS

Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS) est un leader dans l'industrie du transport maritime dans les eaux arctiques. Depuis 2005, le transporteur opère cinq navires pour desservir le Nunavik et le Nunavut (Tableau 17). Les navires du transporteur s'inscrivent dans la catégorie inférieure des navires Handysize avec une capacité de moins de 15 000 tonnes de jauge brute.

Il importe de souligner que le transporteur NEAS offre des services d'emballage, de triage, de distribution et de mise à quai à partir de son centre de chargement au port de Valleyfield, quelques kilomètres à l'ouest de Montréal. De façon davantage marquée, **la croissance des services maritimes de l'Arctique est étroitement liée à l'initiative du transporteur de se doter d'une flotte de navires polyvalents porte-conteneurs** d'une capacité totale de plus de 2 500 EVP (équivalent vingt-pieds).

Tableau 17. Évolution de la flotte de navires de marchandises générales de NEAS, 1980-2017

Navire	Année de construction	Statut	Tonne de jauge brute	Tirant d'eau (mètre)	Dimensions (mètre)	Classe Arctique	Moteur CV
Aivik	1980	Vendu en 2013	4 860	5,92	109,62 X 19,40	D	5 199
Avataq	1988	Actif	9 682	8,54	113,16 X 18,90	B	6 000
Umiavut	1988	Actif	9 587	8,54	113,16 X 18,90	B	7 037
Qamutik	1993	Actif	12 760	8,52	136,34 X 19,02	B	7 383
Erasmusgracht	1994	Actif	8 448	8,52	137,16 X 18,90	B	5 430
Mitiq	1995	Actif	4 561	8,52	137,16 X 18,90	B	7 380

Source: NEAS, 2017

6.5.1.2. Services maritimes de marchandises générales en 2005

En 2005, le transporteur NEAS avec deux navires (Aivik et Umiavut) avait offert 19 semaines-navires pour transporter des marchandises générales vers Baie Déception, 13 villages du Nunavik et à 15 villages au Nunavut (Tableau 18). La saison de navigation dans la zone Nordreg des navires de NEAS avait débuté le 1 juillet et s'était terminée le 6 novembre (128 jours) (Tableau 19).

Le navire Aivik a effectué trois voyages entre Valleyfield et les communautés nordiques et sites miniers du Nunavik et du Nunavut alors que le navire Umiavut a entrepris deux voyages. Le Tableau 18 révèle que le premier voyage du navire Aivik avait duré 29 jours. Durant ce voyage le navire avait effectué 12 escales dont trois au Nunavut (Tableau 20). Le second voyage a nécessité 30 jours pour desservir Kangiqsujaq, Baie Déception et Kuujuaq ainsi que cinq destinations au Nunavut. Durant le troisième voyage de 16 jours, le navire a visité sept villages au Nunavik et une communauté au Nunavut.

Durant la saison de navigation, le navire Umiavut avait entrepris deux voyages. Le premier d'une durée de 30 jours a permis d'approvisionner en marchandises générales les sites miniers à Baie Déception, les villages de Kangirsuk et Kangisualujjaq et deux communautés au Nunavut. Durant le second voyage de 28 jours, le navire avait fait escale dans cinq villages au Nunavik et quatre villages au Nunavut.

En 2005, le village de Kangiqsujaq enregistrait la plus grande proportion d'escales au Nunavik avec trois visites du navire Aivik et une visite du navire Umiavut. Trois escales avaient été effectuées dans les villages de Akulivik, Tasiujaq et Kuujuaq. Les villages de Kuujuarapik, Inukjaq, Puvirnituk, Ivujuvik, Salluit, Kangirsuk et Kangisualujjaq avaient été fréquentés deux fois par le transporteur. Chaque navire de NEAS a également approvisionné une fois les sites miniers à Baie Déception. En 2005, les villages d'Umiujaq et Aupaluk n'avaient connu qu'une seule escale par la flotte de NEAS alors que le

transporteur n'avait offert aucun service d'approvisionnement en marchandises générales au village de Quaqlaq.

Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation

Tableau 18. Voyages des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2014

	Navire	Voyage 1	Voyage 2	Voyage 3	Voyage 4	Total	Total année	Nombre d'escales	Total des escales	Escales Nunavik	Jours navigués/escale	Jours navigués/escale Nunavik
2005	Aivik	29	30	16		75	133	30	46	31	2,89	4,29
	Umiavut	30	28			58		16				
2006	Aivik	25	35	40		100	163	31	59	27	2,76	6,04
	Umiavut	27	36			63		28				
2007	Aivik	31	34	36		101	200	27	50	34	4,00	5,88
	Avataq	30				30		10				
	Umiavut	33	28	8		69		13				
2008	Aivik	36	39	22		97	312	23	66	42	4,73	7,43
	Avataq	20	46			66		14				
	Qamutik	42	37			79		12				
	Umiavut	34	36			70		17				
2009	Aivik	28				28	237	8	48	35	4,94	6,77
	Avataq	33	55			88		20				
	Qamutik	31	24			55		6				
	Umiavut	41	25			66		14				
2010	Aivik	28	23	20		71	259	17	52	31	4,98	8,35
	Avataq	33	20	23		76		16				
	Qamutik	31	23			54		6				
	Umiavut	28	30			58		13				
2011	Aivik	12	29	24		65	259	11	53	34	4,89	7,62
	Avataq	25	19	5		49		10				
	Qamutik	28	21	31		80		16				
	Umiavut	26	39			65		16				
2012	Aivik	41	28	27		96	281	20	57	33	4,93	8,52
	Avataq	24	17	13		54		10				
	Qamutik	35				35		4				
	Umiavut	31	24	41		96		23				
2013	Avataq	27				27	227	6	53	21	4,28	10,81
	Mitiq	34	13			47		12				
	Qamutik	21	37			58		10				
	Umiavut	29	43	23		95		25				
2014	Avataq	37	27			64	291	18	72	43	4,04	6,77
	Mitiq	38	27	29		94		26				
	Qamutik	17	30			47		9				
	Umiavut	29	24	33		86		19				

Tableau 19. Durée de la saison de navigation des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2014

Année	Première entrée	Dernière sortie	Durée (jours)
2005	1 juillet	6 novembre	128
2006	1 juillet	15 novembre	137
2007	3 juillet	25 novembre	145
2008	5 juillet	19 novembre	137
2009	28 juin	13 novembre	138
2010	10 juillet	5 novembre	118
2011	3 juillet	21 novembre	125
2012	1 juillet	13 novembre	135
2013	1 juillet	9 novembre	131
2014	27 juin	11 novembre	137

Tableau 20. Matrice des destinations des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2005-2009

Année	Opérateur	Navire	TJB	Kujuarapik	Umiujaq	Inukjuak	Puvirnituq	Akulivik	Ivujivik	Salluit	Baie Déception	Kangisaujuak	Quaqtaq	Kangirsuk	Aupaluk	Tasiujaq	Kuujuuaq	Kangisaujujaq	Hors Nunavik	Total
2005	NEAS	Aivik	4 860	11	10	8	7	6	5			4,12					3		1,2,9	12
2005	NEAS	Aivik	4 860								4	1					3		2,5,6,7,8	8
2005	NEAS	Aivik	4 860	8		7	6	5,10								4,9	3	2	1	10
2005	NEAS	Umiavut	9 587							3	2			5		7		6	1,4	7
2005	NEAS	Umiavut	9 587						6	7		8		3	2				1,4,5,9	9
Total			33 754	2	1	2	2	3	2	2	2	4	0	2	1	3	3	2	15	46
2006	NEAS	Aivik	4 860	4		3,5	6	2,7		8							1		9	9
2006	NEAS	Aivik	4 860														2		1,3,4,5,6,7,8,9	9
2006	NEAS	Aivik	4 860	8	7	6	5	4,11		3,9			12				2	10	1,13	13
2006	NEAS	Umiavut	9 587									5		4		3		2	1,6,7,8	8
2006	NEAS	Umiavut	9 587							7		8				10			1,2,3,4,5,6,9	10
Total			33 754	2	1	3	2	4	0	4	0	2	1	1	0	2	3	2	22	49
2007	NEAS	Aivik	4 860	5	6	3	2	4								7	1	8	9	9
2007	NEAS	Aivik	4 860			3	4										2		1,5,6,7,8	8
2007	NEAS	Aivik	4 860	8	7							10	6		2	5	4	3,9	1	10
2007	NEAS	Avataq	9 682			9	8	7	6	4									1,2,3,5,10	10
2007	NEAS	Umiavut	9 587					7	6			5	4			3		2	1	7
2007	NEAS	Umiavut	9 587									5		4					1,2,3	5
2007	NEAS	Umiavut	9 587								1									1
Total			53 023	2	2	3	3	3	1	2	1	3	2	1	1	3	3	4	16	50
2008	NEAS	Aivik	4 860	5	6		4	3				2	9				1	8	7, 10	10
2008	NEAS	Aivik	4 860	6	7	5	4	8	9								2		1,3	9
2008	NEAS	Aivik	4 860								4	3					1	2		4
2008	NEAS	Avataq	9 682								1							2		2
2008	NEAS	Avataq	9 682						7	6		10	12					11	1,2,3,4,5,8,9	12
2008	NEAS	Qamutik	12 760			3			7	1									2,4,5,6	7
2008	NEAS	Qamutik	12 760						2										1,3,4,5	5
2008	NEAS	Umiavut	9 587										6		4	3		2,5	1,7,8,9	9
2008	NEAS	Umiavut	9 587	3	4	5	6				1,7						8		2	8
Total			78 638	3	3	3	3	2	2	3	5	3	3	0	1	1	3	7	24	66
2009	NEAS	Aivik	4 860						7			5	8		4	3		2	1,6	8
2009	NEAS	Avataq	9 682		7	6			8	9		5,12		4	3	2	14	1,13	10,11	14
2009	NEAS	Avataq	9 682							4	3						1		2,5,6	6
2009	NEAS	Qamutik	12 760									4	3				1		2	4
2009	NEAS	Qamutik	12 760														1		2	2
2009	NEAS	Umiavut	9 587	2			1				5								3,4,6,7	7
2009	NEAS	Umiavut	9 587	4	5	6	3		7	2							1			7
Total			68 918	2	2	2	2	0	2	4	2	4	2	1	2	2	5	3	13	48

Note: Tjb = tonne de jauge brute; Le total mesure le nombre d'arrêts

6.5.1.3. Services maritimes de marchandises générales en 2014

En 2014, le transporteur NEAS déployait quatre navires (Avataq, Mitig, Qamutik et Umiavut) pour répondre aux besoins d'approvisionnement en marchandises générales de 13 villages au Nunavik et des sites miniers à Baie Déception, et ce en plus de 13 escales au Nunavut (Tableau 21). Le transporteur compte 41,6 semaines-navires durant la saison de navigation (Tableau 18). Les navires de NEAS avaient débuté leurs opérations d'approvisionnement des communautés et sites miniers du Nunavik et du Nunavut le 27 juin et quitté la zone Nordreg le 11 novembre pour une saison de navigation de 137 jours dans les eaux arctiques canadiennes (Tableau 19).

Tableau 21. Matrice des destinations des navires de marchandises générales de NEAS au Nunavik, 2010-2014

Année	Opérateur	Navire	TJB	Kujjuarapik	Umiujaq	Inukjuak	Puvimluc	Akulivik	Ivujivik	Salluit	Baie Déception	Kangiqsuaq	Quaqtaq	Kangirsuk	Aupaluk	Tasiujaq	Kujjuarapik	Kangiqsuaq	Hors Nunavik	Total
2010	NEAS	Aivik	4 860			6					6			1					2,3,4,5,7	7
2010	NEAS	Aivik	4 860								6								1,2,3,4,5	6
2010	NEAS	Aivik	4 860								1	2					3		4	4
2010	NEAS	Avataq	9 682								1						1	2	3,4,5,6,7	7
2010	NEAS	Avataq	9 682								1						2		3	3
2010	NEAS	Avataq	9 682	3	4	2	1	5			6									6
2010	NEAS	Qamutik	12 760	4					3	2									1	4
2010	NEAS	Qamutik	12 760								1								2	2
2010	NEAS	Umiavut	9 587	6	5	4					1				2		3			6
2010	NEAS	Umiavut	9 587							6				3	4	5		2	1,7	7
Total			88 320	3	2	2	2	1	1	2	6	1	0	2	2	1	4	2	21	52
2011	NEAS	Aivik	4 860								1									1
2011	NEAS	Aivik	4 860														2,6		1,3,4,5	6
2011	NEAS	Aivik	4 860												3		1	2	4	4
2011	NEAS	Avataq	9 682										5	3	2	1	4		6	6
2011	NEAS	Avataq	9 682										2	3					1	3
2011	NEAS	Avataq	9 682								1									1
2011	NEAS	Qamutik	12 760						2										1,3,4,5,6,7,8	8
2011	NEAS	Qamutik	12 760								1									1
2011	NEAS	Qamutik	12 760						2	1		7							3,4,5,6	7
2011	NEAS	Umiavut	9 587	5		6	4	3		2	1	7					9	2		7
2011	NEAS	Umiavut	9 587	5	6	4	3,7	8											1	9
Total			101 080	2	1	2	3	2	0	3	5	1	1	2	3	1	5	3	19	53
2012	NEAS	Aivik	4 860								4								1,2,3,5,6,7,8,9	9
2012	NEAS	Aivik	4 860		2												1		3,4,5,6	6
2012	NEAS	Aivik	4 860						5						4	3	2	1		5
2012	NEAS	Avataq	9 682									6	5	1	2	3	4			6
2012	NEAS	Avataq	9 682								1	2	3							3
2012	NEAS	Avataq	9 682								1									1
2012	NEAS	Qamutik	12 760						1	2									3,4	4
2012	NEAS	Umiavut	9 587	4		3	2		5		6								1	6
2012	NEAS	Umiavut	9 587						2	1									3,4,5,6,7	7
2012	NEAS	Umiavut	9 587	4	3	6	7	8		10		2	2	1	2	2	3	2	1,2,5,9	10
Total			85 147	2	1	3	2	1	0	4	6	2	2	1	2	2	3	2	24	57
2013	NEAS	Avataq	9 682	3		5			2										1,4,6	6
2013	NEAS	Mitig	4 561							3	1								2,4,5,6,7,8,9,10	10
2013	NEAS	Mitig	4 561								1								2	2
2013	NEAS	Qamutik	12 760								1									1
2013	NEAS	Qamutik	12 760																2,3,4,5,6,7,8,9	9
2013	NEAS	Umiavut	9 587	3		2,4	5	1											6	6
2013	NEAS	Umiavut	9 587														7		1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12	12
2013	NEAS	Umiavut	9 587				4					3	5		6	2	1	7		7
Total			73 085	2	0	3	2	1	1	2	3	1	1	0	1	1	2	1	32	53
2014	NEAS	Avataq	9 682										1	2	6	5	4	3	7,8,9	9
2014	NEAS	Avataq	9 682	3		5	2,6,8	7			1	9							4	9
2014	NEAS	Mitig	4 561						5	3	2	1,4							6,7,8,9,10,11	11
2014	NEAS	Mitig	4 561								1								2,3,4,5,6,7,8	8
2014	NEAS	Mitig	4 561								6	7							1,2,3,4,5	7
2014	NEAS	Qamutik	12 760								1								2	2
2014	NEAS	Qamutik	12 760										1,6	2	3	4	5		7	7
2014	NEAS	Umiavut	9 587	8	6	2,5	4	3			1								7	8
2014	NEAS	Umiavut	9 587			4					3						1		2	4
2014	NEAS	Umiavut	9 587							4			5		6			7	1,2,3	7
Total			87 328	2	1	4	4	2	1	2	7	4	4	2	3	2	3	2	29	72

Note: Tjb = tonne de jauge brute; Le total mesure le nombre d'arrêts

Le navire Avataq avait effectué deux voyages d'une durée totale de 64 jours (Tableau 18). Durant le premier voyage, le navire a d'abord desservi six villages nordiques de la baie d'Ungava et quatre communautés au Nunavut (Tableau 21). La desserte maritime du second voyage a fait escale à Baie Déception et à Kangiqsujaq dans le détroit d'Hudson, à quatre villages de la baie d'Hudson (Kuujjuarapik, Inukjuaq, Puvirnituk et Akulivik) et à un village au Nunavut.

Le navire Mitiq avait assuré trois voyages d'une durée totale de 94 jours. Durant le premier voyage de 38 jours, il avait effectué quatre escales dans les villages nordiques du Nunavik, une escale à Baie Déception et six escales au Nunavut. Le second voyage de 27 jours du Mitiq avait permis au transporteur d'approvisionner durant le même périple les sites miniers à Baie Déception ainsi que 7 communautés au Nunavut. Lors du troisième voyage de 29 jours, le navire a approvisionné cinq villages au Nunavut, était retourné à Baie Déception et avait desservi le village de Kangiqsujaq.

Durant le premier voyage du navire Qamutik de 17 jours, le transporteur avait desservi Baie Déception et effectué une escale au Nunavut. Le second voyage de 30 jours avait permis de faire escale dans les villages de Quaqtac, Kangirsuk, Aupaluk, Tasiujaq et Kuujuaq dans la baie d'Ungava incluant une escale au Nunavut.

Le navire Umiavut avait effectué trois voyages d'une durée totale de 86 jours. Durant le premier voyage de 29 jours, le navire avait approvisionné cinq villages de la baie d'Hudson (Kuujjuarapik, Uiujaq, Inukjuaq, Puvirnituk et Akulivik), les sites miniers à Baie Déception et une destination au Nunavut. Le second périple de 24 jours avait permis de faire escale aux villages d'Inukjuaq et Kuujuaq, à Baie Déception et à un village au Nunavut. Durant le troisième voyage d'une durée de 33 jours, le navire avait effectué quatre escales au Nunavik (Salluit, Quaqtac, Aupaluk et Kangiqsualujuaq) et à trois villages au Nunavut.

En 2014, la flotte de NEAS avait effectué sept escales à Baie Déception. Les villages d'Inukjuaq, Puvirnituk, Kangiqsujaq et Quaqtac affichant chacun quatre visites durant la saison de navigation. Les navires de NEAS avaient fait trois fois escale aux villages d'Aupaluk et Kuujuaq. Les villages de Kuujjuarapik, Akulivik, Salluit, Kangirsuk, Tasiujaq et Kangiqsualujuaq avaient reçu la visite de deux navires. Les villages d'Umiujaq et Ivujivik n'avaient été approvisionnés qu'une seule fois.

6.5.2. Groupe Desgagnés

6.5.2.1. Flotte du Groupe Desgagnés

Groupe Desgagnés opère dans les eaux arctiques depuis plus de 50 ans. La desserte maritime de marchandises générales pour l'Est de l'Arctique canadien incluant le Nunavik est assurée par ses filiales Desgagnés Transarctik et Transport Desgagnés. Depuis 2005, le transporteur a utilisé huit navires adaptés pour la navigation dans les glaces pour l'approvisionnement en marchandises générales des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik. Par ailleurs, **la capacité de transport de la compagnie enregistre une augmentation.** Le Tableau 22 démontre que le transporteur a récemment renouvelé une partie de sa flotte avec des navires de plus de 12 000 tjb affichant un tirant d'eau de 8 mètres.

Tableau 22. Évolution de la flotte de navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés, 1959-2017

Navire	Année de construction	Statut	Tonne de jauge brute	Tirant d'eau (mètre)	Dimensions (mètre)	Classe Arctique	Moteur CV
Mathilda Desgagnés	1959	Actif et vendu en 2007	6 472	6,80	109,84 X 15,65	3	3 200
Cécilia Desgagnés	1971	Déclassé en 2007	7 755	8,08	114,31 X 16,77	1	5 100
Camilla Desgagnés	1981	Actif	7 340	6,86	133,00 X 20,60	A	7 800
Anna Desgagnés	1986	Actif	17 850	7,50	173,50 X 23,05	B	10 330
Rosaire A. Desgagnés	2007	Actif	12 272	8,00	138,06 X 21,37	B	7 341
Sedna Desgagnés	2009	Actif	12 272	8,00	139,00 X 21,00	B	7 342
Zelada Desgagnés	2009	Actif	12 692	8,00	138,98 X 21,00	B	7 342
Claude A. Desgagnés	2011	Actif	12 671	8,00	138,00 X 21,00	B	7 290

Source: Groupe Desgagnés, 2017

6.5.2.2. Services maritimes de marchandises générales en 2005

En 2005, Groupe Desgagnés avait déployé quatre navires et offert 28,9 semaines-navires dans la zone Nordreg pour transporter des marchandises générales vers 12 villages du Nunavik (Tableau 23). Le transporteur avait également effectué 33 escales dans des communautés au Nunavut (Tableau 25). Ces navires avaient séjourné dans la zone Nordreg du 5 juillet au 27 octobre pour une saison de navigation de 114 jours (Tableau 24). Tous les voyages ont inclus un service d'approvisionnement en marchandises générales tant au Nunavik qu'au Nunavut.

Le navire Anna Desgagnés qui affiche 17 850 tjb avait effectué deux voyages de 29 jours dans la zone Nordreg. Le Tableau 23 démontre que lors du premier voyage, le navire avait fait escale à quatre destinations au Nunavut ainsi qu'aux villages de Kuujuaq et Kangiqsualujuaq au Nunavik. Lors du second périple, le

navire avait déchargé des marchandises générales à Kangiqsujaq, Kangirsuk et Aupaluk ainsi qu'à cinq destinations au Nunavut.

Durant la saison de navigation, le navire Camilla Desgagnés avait entrepris trois voyages dans la zone Nordreg. Le premier voyage de 18 jours comportait deux escales au Nunavik et cinq escales au Nunavut. Le second voyage de 13 jours avait permis de desservir Kuujjuarapik au Nunavik et d'approvisionner quatre communautés au Nunavut. Au troisième voyage d'une durée de 24 jours, le navire Camilla Desgagnés avait effectué neuf escales dont quatre au Nunavik et cinq au Nunavut.

Le navire Cécilia Desgagnés avait assuré trois voyages d'une durée de 26 jours, 22 jours et 26 jours respectivement. Le premier voyage avait permis de faire escale à neuf villages dont sept au Nunavik et deux au Nunavut. Lors du second périple, le navire avait desservi les villages de Puvirnituk, Akulivik, Aupaluk et Kuujuaq au Nunavik et effectué trois escales au Nunavut. Durant le troisième voyage les services d'approvisionnement en marchandises générales s'étaient concentrés aux villages de Kuujuaq et Kangiqsualujuaq au Nunavik et vers trois destinations au Nunavut.

L'unique voyage du navire Mathilda Desgagnés dans la zone Nordreg avait duré 15 jours et permis de ravitailler les villages d'Aupaluk et Kangiqsujaq ainsi que deux villages au Nunavut.

En 2005, ce sont les villages de Puvirnituk, Akulivik et Kuujuaq qui enregistraient la plus grande fréquence de la flotte de Desgagnés avec quatre escales chacun. Les villages de Kuujjuarapik, Umiujaq, Inukjuag, Kangiqsujaq et Aupaluk ont accueilli deux navires de la flotte de Desgagnés durant la saison de navigation. Les navires du transporteur ont fait une seule escale aux villages d'Ivujivik, Quaqtaq, Kangirsuk et Kangiqsualujuaq. Certaines communautés dont les villages de Salluit et de Tasiujaq ainsi que les sites miniers de Baie Déception La n'avaient pas été approvisionnés durant cette période. Tous les voyages au Nunavik incluait également des escales au Nunavut.

Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation

Tableau 23. Voyages des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014

	Navire	Voyage 1	Voyage 2	Voyage 3	Voyage 4	Total	Total année	Nombre d'escales	Total des escales	Escales Nunavik	Jours navigués/escale	Jours navigués/escale Nunavik
2005	Anna Desgagnés	29	29			58	202	14	60	27	3,37	7,48
	Camilla Desgagnés	18	13	24		55		21				
	Cécilia Desgagnés	26	22	26		74		21				
	Mathilda Desgagnés	15				15		4				
2006	Anna Desgagnés	24	23	39		86	225	31	62	25	3,63	9,00
	Camilla Desgagnés	31				31		9				
	Cécilia Desgagnés	25	23	28		76		19				
	Mathilda Desgagnés	11	21			32		3				
2007	Anna Desgagnés	24	23			47	248	8	65	32	3,82	7,75
	Camilla Desgagnés	24	24	37		85		30				
	Cécilia Desgagnés	33	31	15	5	84		23				
	Rosaire Desgagnés	9	9	14		32		4				
2008	Anna Desgagnés	31	26	35		92	224	27	56	25	4,00	8,96
	Camilla Desgagnés	18	38	32		88		24				
	Rosaire Desgagnés	31	13			44		5				
2009	Anna Desgagnés	20	20			40	248	9	63	32	3,94	7,75
	Camilla Desgagnés	19	30	27		76		24				
	Rosaire Desgagnés	21	26	16		63		13				
	Sedna Desgagnés	29				29		5				
	Zelada Desgagnés	20	20			40		12				
2010	Anna Desgagnés	21				21	200	5	54	30	3,70	6,67
	Camilla Desgagnés	15	24	23		62		18				
	Rosaire Desgagnés	18	19	18		55		15				
	Sedna Desgagnés	20	23			43		14				
	Zelada Desgagnés	19				19		2				
2011	Anna Desgagnés	35	34	28		97	297	24	73	40	4,07	7,43
	Camilla Desgagnés	31	30	27		88		24				
	Rosaire Desgagnés	17	15	9		41		6				
	Sedna Desgagnés	13	22	20		55		17				
	Zelada Desgagnés	10	6			16		2				
2012	Anna Desgagnés	33	29			62	384	28	103	48	3,73	8,00
	Camilla Desgagnés	42	33	22		97		27				
	Claude Desgagnés	16	26			42		9				
	Rosaire Desgagnés	23	34	21		78		19				
	Sedna Desgagnés	11	46			57		14				
	Zelada Desgagnés	37	11			48		6				
2013	Anna Desgagnés	34	25	32		91	289	27	77	48	3,75	6,02
	Camilla Desgagnés	37	32	22		91		24				
	Claude Desgagnés	24	23			47		10				
	Sedna Desgagnés	22				22		6				
	Zelada Desgagnés	38				38		10				
2014	Anna Desgagnés	29	30			59	305	15	83	35	3,67	8,71
	Camilla Desgagnés	35	26	19		80		23				
	Claude Desgagnés	24	16			40		7				
	Rosaire Desgagnés	28	28			56		17				
	Zelada Desgagnés	36	34			70		21				

Tableau 24. Durée de la saison de navigation des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2014

Année	Première entrée	Dernière sortie	Durée (jours)
2005	5 juillet	27 octobre	114
2006	6 juillet	8 novembre	125
2007	2 juillet	24 novembre	145
2008	29 juin	12 novembre	136
2009	5 juillet	28 octobre	115
2010	24 juin	5 novembre	134
2011	25 juin	14 novembre	142
2012	22 juin	7 novembre	138
2013	27 juin	4 novembre	130
2014	27 juin	30 octobre	125

Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation

Tableau 25. Matrice des destinations des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2005-2009

Année	Opérateur	Navire	TJB	Kuujuaq	Umiujaq	Inukjuq	Puvirnituq	Akuvik	Ivujivik	Salluit	Baie Deception	Kangiqsuaq	Quaqtaq	Kangirsuk	Aupaluk	Tasiujaq	Kuujuaq	Kangiqsuaq	Hors Nunavik	Total
2005	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850									8		6	7		4	3	1,2,5,6	6
2005	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850																1,2,3,4,5	8
2005	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				3					2							1,4,5,6,7	7
2005	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	5															1,2,3,4	5
2005	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340		4	2	1	3											5,6,7,8,9	9
2005	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755	2	1	4	5	8	7								9		3,6	9
2005	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755				5	4							2		1		3,6,7	7
2005	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755															4	1,2,3	5
2005	Groupe Desgagnés	Mathilda Desgagnés	6 472					3				2							1,4	4
Total			87 457	2	2	2	4	4	1	0	0	2	1	1	2	0	4	2	33	60
2006	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850							4					2	3			1,5,6	6
2006	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850							1									2,3,4,5,6,7,8,9,10,11	11
2006	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850		4					11					12	13			1,2,3,5,6,7,8,9,10,14	14
2006	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	3	2												9		1,4,5,6,7,8	9
2006	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755						2			3,6		4			1	5	7	7
2006	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755													2			1,3,4,5,6	6
2006	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755										4				1	2	3,5,6	6
2006	Groupe Desgagnés	Mathilda Desgagnés	6 472											1					2,3	3
2006	Groupe Desgagnés	Mathilda Desgagnés	6 472	4			3					2							1	4
Total			97 099	2	2	0	1	0	1	3	0	3	1	2	2	2	4	2	41	66
2007	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850													3			1,2	3
2007	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850													4			1,2,3,5	5
2007	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				4		3	2,6			8			9		1	5,7	9
2007	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340												7				1,2,3,4,5,6	7
2007	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	3		2	1				10	11	12	13				14	4,5,6,7,8,9	14
2007	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755											3	1	5	2,9		4,6,7,8	9
2007	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755						4								1		2,3,5,6,7,8,9,10	10
2007	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755									3					2		1	3
2007	Groupe Desgagnés	Cécilia Desgagnés	7 755							1										1
2007	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272							1										1
2007	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272						2	1										2
2007	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272							1										1
Total			125 556	0	1	0	2	1	1	4	5	2	2	2	2	4	4	2	33	65
2008	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850			5			4	3	12	2	1						6,7,8,9,10,11	12
2008	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850								4								1,2,3,5	5
2008	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850					10	4										1,2,3,5,6,7,8,9	10
2008	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				1										2	3		3
2008	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340															11	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	11
2008	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				5				6	3	9	7	8,10		1	2	4	10
2008	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272									2							1,3	3
2008	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272								1						2			2
Total			100 114	0	0	1	2	0	2	2	4	3	2	1	2	0	4	2	31	56
2009	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850									1		3					2	3
2009	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850									5		6			1		2,3,4	6
2009	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340		5	4	3	2											1,6,7,8	8
2009	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340														8		1,2,3,4,5,6,7	8
2009	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340			3				2,7							1		4,5,6,8	8
2009	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272												3	2	1	4		4
2009	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272														1		2,3,4,5	5
2009	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272				1											4	3	4
2009	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272	3													1		2,4,5	5
2009	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692						2	3	6		5						1,4	6
2009	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692			6	5	3									1		2,4	6
Total			132 192	1	1	3	3	2	1	3	1	2	1	2	1	1	8	2	31	63

Note: Tjb = tonne de jauge brute; Le total mesure le nombre d'arrêts

6.5.2.3. Services maritimes de marchandises générales en 2014

En 2014, le transporteur Desgagnés avait mis en service cinq navires (Anna Desgagnés, Camilla Desgagnés, Claude Desgagnés, Rosaire Desgagnés et Zelada Desgagnés) (Tableau 23). Quatre navires d'entre eux avaient effectué deux voyages au Nunavik. Seul le navire Camilla Desgagnés avait entrepris trois voyages. Durant la saison de navigation la flotte de Desgagnés avait effectué 83 escales dont 35 au Nunavik et 48 au Nunavut (Tableau 26). La flotte de Desgagnés a offert 43,6 semaines-navires dans la zone Nordreg pour transporter des marchandises générales vers 12 villages du Nunavik. Les navires de Desgagnés avaient débuté les opérations d'approvisionnement au Nunavik et au Nunavut le 27 juin et quitté la zone Nordreg le 30 octobre pour une saison de navigation de 125 jours au Nunavik (Tableau 24).

Le navire Anna Desgagnés avait fait escale dans quatre villages au Nunavik (Salluit, Kangiqsujaq, Aupaluk et Tasiujaq) et deux villages au Nunavut lors du 1^{er} voyage de 29 jours. Le navire était retourné une deuxième fois à Kangiqsujaq, Aupaluk et Tasiujaq durant un voyage de 30 jours qui incluait également l'approvisionnement de Quaqaq, Kangirsuk et Kangiqsualujjuaq ainsi que trois destinations au Nunavut.

Le navire Camilla Desgagnés avait effectué trois voyages d'une durée de 35 jours, 26 jours et 19 jours respectivement. Le premier voyage a permis de faire escale à trois villages au Nunavik incluant Kuujjuarapik, Puvirnituk et Salluit ainsi qu'à six destinations au Nunavut. Lors du second voyage, le navire a desservi les villages de Kangirsuk et Kuujjuaq au Nunavik et effectué six escales au Nunavut. Durant le troisième voyage les services d'approvisionnement en marchandises générales se sont concentrés aux villages de Puvirnituk, Ivujivik et Salluit au Nunavik.

Le navire Claude Desgagnés avait effectué deux voyages durant la saison de navigation. Le navire avait visité les villages de Quaqaq, Kangirsuk, Tasiujaq Kuujjuaq et Kangiqsualujjuaq en 24 jours. Le second périple de 16 jours dans la zone Nordreg avait permis d'approvisionner le village de Kuujjuaq au Nunavik et une destination au Nunavut.

Durant ses deux voyages de 28 jours chacun, le navire Rosaire Desgagnés avait en premier lieu offert un service de desserte au village de Salluit et à neuf destinations au Nunavut. Lors du second voyage, le navire avait fait une escale à Kuujjuaq au Nunavik et six escales au Nunavut.

Le premier voyage du navire Zelada Desgagnés d'une durée de 36 jours avait permis au transporteur de desservir les villages d'Inukjuaq, Ivujivik, Salluit et Kuujjuaq au Nunavik et d'effectuer cinq escales au Nunavut. Le second voyage de 34 jours avait permis de faire escale à Kuujjuaq au Nunavik et auprès de dix communautés au Nunavut.

Changements climatiques et transport maritime au Nunavik:
Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation

Tableau 26. Matrice des destinations des navires de marchandises générales du Groupe Desgagnés au Nunavik, 2010-2014

Année	Opérateur	Navire	TJB	Kuujuaq	Umiujaq	Inukjuag	Puvirnituq	Akutvik	Ivujivik	Salluit	Baie D'ception	Kangiqsuaq	Quaqtaq	Kangirsuk	Aupaluk	Tasiujaq	Kuujuaq	Kangiqsuaq	Hors Nunavik	Total
2010	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850			2					1,3				1				4,5	5
2010	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340																2,3	3
2010	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				7					1		6					2,3,4,5,8	8
2010	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340			1													2,3,4,5,6,7	7
2010	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272				1				3		4	2			1			4
2010	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272								2	1							3,4,5	5
2010	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272						1					6	5	4	2	3		6
2010	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272	2,5	3		1												4	5
2010	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272	4	3	5	6	8											1,2,7,9	9
2010	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692									2							1	2
Total			113 922	3	2	2	4	1	0	1	4	2	1	3	3	1	2	1	24	54
2011	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850	7	8		5		9		4	10	1	2					3,6	10
2011	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850							2	1								3,4,5,6,7,8	8
2011	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850	4		5						6							1,2,3	6
2011	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340			2	1,3				4								5,6,7	7
2011	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340								2								1,3,4,5,6,7,8	8
2011	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				2		1										3,4,5,6,7,8,9	9
2011	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272								1,3						2			3
2011	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272								1						2			2
2011	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272								1									1
2011	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272							2	1									2
2011	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272						2	1,4									3,5,6,7,8	8
2011	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272						1	2		7		6	5	4	3			7
2011	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692							1										1
2011	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692							1										1
Total			174 586	2	1	2	4	0	2	6	12	2	2	1	1	1	3	1	33	73
2012	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850						3		1	2	8	5	6	7			4,9	9
2012	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850			8	7			3	2,4,10		1	6					5,9,11	11
2012	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850					6	7				8	4					1,2,3,5	8
2012	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				4	3			12						1		2,5,6,7,8,9,10,11	12
2012	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340							1									2,3,4,5,6,7,8,9,10	10
2012	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	5		3	2			1									4	5
2012	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671										1						2	2
2012	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671										7						1,2,3,4,5,6	7
2012	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272	5		4	3			1							6	2		6
2012	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272														1		2,3,4,5,6,7,8	8
2012	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272									5		1	2	3	4			5
2012	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272								1									1
2012	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272								13								1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	13
2012	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692							1	2								3,4	4
2012	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692							2	1									2
Total			187 656	2	0	3	4	2	2	5	10	2	5	3	2	2	4	2	55	103
2013	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850					5	7	6		9	4	3	1	2			8,1	10
2013	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850			4			5			6	3						1,2,7	7
2013	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850						8				7	5	4	3	2	1,6	9,1	10
2013	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340					1	2	3			11			12			4,5,6,7,8,9,10	12
2013	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340										2			1			3,4,5,6	6
2013	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	3	2		1								5	6			4	6
2013	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671						6	2	1	3					5	4		6
2013	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671														4	3	1,2	4
2013	Groupe Desgagnés	Sedna Desgagnés	12 272					3		2									1,4,5,6	6
2013	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692	7	5	8	1	2			3								4,6,9,10	10
Total			125 876	2	2	2	2	4	4	5	2	3	3	4	3	3	5	4	29	77
2014	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850							1		5			3	4			2,6	6
2014	Groupe Desgagnés	Anna Desgagnés	17 850									4	5	6	7	8		9	1,2,3	9
2014	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340	2			1,9			10									3,4,5,6,7,8	10
2014	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340										2				1		3,4,5,6,7,8	8
2014	Groupe Desgagnés	Camilla Desgagnés	7 340				3		2,4	1,5										5
2014	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671										2	1		4	3	5		5
2014	Groupe Desgagnés	Claude Desgagnés	12 671													2			1	2
2014	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272							1									2,3,4,5,6,7,8,9,10	10
2014	Groupe Desgagnés	Rosaire Desgagnés	12 272														1		2,3,4,5,6,7	7
2014	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692			1,4			3	2							10		5,6,7,8,9	10
2014	Groupe Desgagnés	Zelada Desgagnés	12 692														9		1,2,3,4,5,6,7,8,10,11	11
Total			132 990	1	0	2	3	0	3	6	0	2	2	3	2	3	6	2	48	83

Note: Tjb = tonne de jauge brute; Le total mesure le nombre d'arrêts

En 2014, la flotte de Desgagnés avait effectué six escales à Salluit et à Kuujuaq. Les villages de Tasiujaq, Kangirsuk, Ivujivik et Puvirnituk affichaient chacun trois visites de navire. Deux escales avaient été assurées aux villages d'Inukjuak, Kangiqsujaq, Quaqtaq, Aupaluk et Kangiqsualujuaq. Le transporteur n'avait approvisionné qu'une seule fois le village de Kuujuarapik. Cependant, les sites miniers de Baie Déception et les villages d'Umiujaq et d'Akulivik n'avaient pas connu d'escale durant cette période.

6.6. Évolution des services maritimes pour l'approvisionnement en marchandises générales du Nunavik de 2005 à 2014

Une analyse des trafics maritimes de marchandises générales dans les villages nordiques et les sites miniers depuis 2005 révèle quatre grandes caractéristiques de la configuration des services maritimes des transporteurs de marchandises générales au Nunavik.

Premièrement, **les transporteurs de marchandises générales opèrent au Nunavik et au Nunavut durant la saison régulière de navigation**. Pendant la période 2005-2014, les premières entrées dans la zone Nordreg s'effectuent durant la troisième semaine de juin et les dernières sorties durant la troisième semaine de novembre (Tableau 27). **La structure d'approvisionnement de marchandises générales se divise en trois périodes distinctes**. La première période (juillet) vise à approvisionner les villages nordiques et sites miniers du Nunavik ainsi que le sud de l'île de Baffin. La deuxième période (fin août-fin septembre) a pour objectif d'alimenter les destinations plus nordiques du Haut Arctique, incluant le nord de l'île de Baffin. La troisième période (octobre) permet aux transporteurs de réapprovisionner les villages et sites miniers du Nunavik et du sud de l'île de Baffin en fin de saison.

Tableau 27. Saisonnalité des transporteurs de marchandises générales au Nunavik, 2005-2014

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												

Deuxièmement, un examen de 190 voyages et de 1246 escales effectués pendant 10 ans révèle qu'en moyenne, à chaque voyage, les transporteurs de marchandises générales réalisent 55% de leurs escales au Nunavik et 45% au Nunavut. **Au Nunavik, ce sont les sites miniers qui accaparent le premier rang sur le plan de la fréquence des navires de marchandises générales** (Tableau 28). En ce qui concerne les villages du Nunavik, les volumes de marchandises générales déchargées affichent d'importantes fluctuations d'une année à l'autre et varient d'un village à l'autre. Mais force est de reconnaître qu'il

existe une forte corrélation (0,89) ($r^2=0,79$) entre le poids démographique et la fréquence d'escales des navires de marchandises générales. Le nouvel élan en lien avec la croissance de services de desserte maritime de marchandises générales a surtout profité au village de Kuujuaq qui actuellement canalise 12,5% des escales de navires de marchandises générales destinées au Nunavik.

Tableau 28. Escales des transporteurs de marchandises générales dans les villages et sites miniers au Nunavik et au Nunavut, 2005-2014

Sites		Nombre d'escales	Première escale (%)
Villages au Nunavik	Akulivik	34	1,9
	Aupaluk	36	2,4
	Inukjuak	45	0,5
	Ivujivik	27	0,0
	Kangiqsualujuaq	50	1,9
	Kangiqsujaq	50	2,4
	Kangirsuk	34	1,4
	Kuujuaq	85	17,1
	Kuujuarapik/ Whapmagoostui	39	0,0
	Puvirnituq	57	5,2
	Quaqtaq	37	2,8
	Salluit	65	6,2
	Tasiujaq	35	0,0
	Umiujaq	26	0,5
Sites miniers au Nunavik			
	Baie Déception	87	24,6
Sites au Nunavut			
	Villages et sites miniers	590	33,2

Troisièmement, il importe de souligner que **les navires de marchandises générales desservant le Nunavik doivent disposer de remorqueurs et de barges lors des opérations de chargement et déchargement**. Un chariot élévateur tout terrain adapté pour le déchargement des marchandises générales est déposé sur les barges au début des opérations. Les barges font ensuite la navette entre le navire et la plage en utilisant le chariot élévateur tout terrain pour transférer le matériel, normalement transporté dans des conteneurs. Le temps de mobilisation et de démobilisation des équipements est d'environ six heures. Un temps d'escale normal est de 1 à 3 jours pour les destinations du Nunavik.

Quatrièmement, **l'offre de transport de marchandises générales vers le Nunavik et le Nunavut est en progression depuis 2005**. Les navires de marchandises générales opèrent de 2 à 3 voyages au cours de la saison régulière de navigation. Chaque voyage dure en moyenne 30 jours. L'analyse de la matrice origine-destination pour la desserte au Nunavik et au Nunavut (Tableaux 25 et 26) démontre que la séquence dans la distribution de marchandises générales auprès des villages et des sites miniers n'est pas répartie de façon uniforme d'un voyage à l'autre (Tableau 28). **La première escale est généralement effectuée au site qui présente le plus important volume de déchargement de marchandises générales**. Cette dynamique, confirmée par les transporteurs, permet de dégager une plus grande marge de manœuvre pour le débarquement de marchandises générales aux autres destinations. Durant la période 2005-2014, 33% des premières livraisons par les navires de marchandises générales qui desservaient le Nunavik étaient d'abord effectuées au Nunavut notamment à Iqaluit. Les sites miniers de Baie Déception représentent 25% de la première escale des transporteurs de marchandises générales. En ce qui concerne les villages nordiques du Nunavik, 17% des premières escales des transporteurs de marchandises générales s'effectuent à Kuujuaq. **L'exploitation minière et la construction immobilière tendent toutefois à exercer une influence sur l'organisation des destinations**. Baie Déception tend à devenir la première escale des transporteurs de marchandises générales. Viennent ensuite les autres villages du Nunavik.

6.7. Synthèse des services de transport maritime au Nunavik

L'analyse de la desserte maritime de vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales au Nunavik met en lumière les conditions de la demande de fret.

Le Nunavik est caractérisé par une croissance des besoins énergétiques et une augmentation de la taille et de la capacité du parc d'entreposage de produits pétroliers. Avec 170 réservoirs d'une capacité totale de 110 millions de litres, l'ensemble des villages nordiques disposent de 64,6% des capacités de stockage alors que les sites miniers disposent de 77 réservoirs d'une capacité autorisée de 60 millions de litres, représentant 35,4% des capacités de stockage de carburant au Nunavik. L'essentiel du carburant transporté par les navires provient des raffineries de Suncor à Montréal, Valero à Lévis et de Come By Chance à Terre-Neuve-et-Labrador. Pour les villages nordiques, les contrats d'approvisionnement et de transport sont négociés par quelques entreprises dont la Fédération des Coopératives du Nouveau-Québec et la Société Makivik. Pour les sites miniers, les transactions et la logistique des approvisionnements en produits pétroliers et chimiques sont effectuées par la direction des complexes miniers de Raglan et Nunavik Nickel. L'approvisionnement maritime d'hydrocarbures pour les villages nordiques et les sites miniers du Nunavik est assuré par trois transporteurs: Pétro-Nav de Groupe Desgagnés, Coastal Shipping et Fednav. Les produits chimiques nécessaires aux opérations des

sites miniers sont livrés par l'entremise du transporteur Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS) dans le cadre des services d'approvisionnement en marchandises générales.

Les trafics maritimes de vrac sec au Nunavik sont basés sur la demande de différents secteurs de production et de distribution à l'international. Ce sont les grands donneurs d'ordres dans les secteurs industriels à l'échelle internationale qui décident des modalités de participation d'une mine dans les processus d'acheminement du fret. L'analyse de l'exploitation minière présentement en cours au Nunavik révèle l'importance de deux commodités: le nickel et le cuivre. Deux gisements de nickel et de cuivre sont présentement en exploitation: la mine Raglan exploitée par Glencore et la mine Nunavik Nickel par la Société minière Jien Canada. Ces compagnies minières disposent chacune d'infrastructures portuaires privées situées à 150 kilomètres des mines, à Baie Déception. Des routes praticables à l'année permettent de relier les sites miniers aux infrastructures portuaires. Les infrastructures portuaires incluent un parc d'entreposage pour le pétrole et pour le minerai. Le concentré de nickel et de cuivre est exporté du Nunavik par plusieurs transporteurs, mais la compagnie Fednav contrôle une grande partie du marché du transport maritime en raison d'un contrat d'exclusivité pour l'usage du quai privé de Mine Raglan à Baie Déception et d'un contrat avec l'entreprise Canadian Royalties Inc pour l'exportation de nickel et de cuivre.

Le trafic maritime de marchandises générales au Nunavik est l'un des principaux marqueurs du développement socio-économique de la région. D'un volume estimé à 150 000 tonnes par année, les expéditions de marchandises générales sont liées aux besoins d'exploitation minière, aux soutiens à la construction immobilière, à l'utilisation croissante de véhicules de transport et à l'augmentation de la demande de biens de consommation domestique. Le transport maritime de marchandises générales est assuré par six compagnies dont principalement Nunavut Eastern Arctic Shipping et Groupe Desgagnés.

L'examen des stratégies des transporteurs a permis de mesurer le nombre et la durée des voyages, la séquence et le nombre de ports d'escale ainsi que le temps d'escale pour chaque voyage sur une période d'une décennie.

Pour les villages nordiques, les résultats démontrent **une prolongation de la saison de navigation notamment vers la fin de la période été-automne, davantage de volume de trafic maritime, un accroissement des capacités de transport par l'ajout de navires, une augmentation du nombre d'escales et l'intégration de destinations au Nunavut dans les services d'approvisionnement au Nunavik.** La croissance que connaît la desserte maritime est fortement dictée par les investissements gouvernementaux dans les communautés du Nunavik.

Pour la desserte des sites miniers, les résultats indiquent que la saison de navigation atteint désormais 300 jours. Il y a augmentation du nombre de navires et du nombre de voyages pour desservir Baie Déception, notamment par la mise en services d'une flotte de navires construits pour circuler dans les zones couvertes de glaces pour accommoder le tonnage souhaité durant la saison hivernale. Les trafics sont essentiellement déterminés par les investissements privés en fonction du marché mondial des minerais.

Dans tous les villages nordiques, l'efficacité du transport maritime est conditionnée par les limites des infrastructures maritimes et par des impondérables dus aux conditions océanographiques et climatiques. Chaque armateur doit transporter des équipements de manutention (remorqueur, barge, tracteur, tuyau flottant, etc) et adopter une méthode pour effectuer le transport et les opérations de chargement/déchargement de carburant ou de marchandises générales.

Les navires qui desservent les sites miniers et font escale à Baie Déception possèdent un avantage en termes d'efficacité et de sécurité. Les infrastructures portuaires à Baie Déception sont les seules infrastructures en eaux profondes au Nunavik. Ces infrastructures permettent de manutentionner et transborder les produits pétroliers et chimiques, le vrac sec et les marchandises générales plus rapidement et à moindre risque. Par ailleurs, les quais dotés d'une profondeur de 10,7 mètres permettent d'accueillir des navires de classe Panamax toute l'année.

7. TRANSPORT MARITIME ET PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX AU NUNAVIK

L'analyse précédente a permis de mesurer les conditions de transport et de desserte maritime du vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik. À l'évidence, la plupart des initiatives de développement socio-économique du Nunavik sont fortement tributaires du transport maritime. Mais l'évolution de la structure des réseaux maritimes, des activités de transport maritime et de la logistique peut être grandement influencée par une modification de l'intensité, de la durée et de la fréquence de certains paramètres climatiques et environnementaux.

7.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à identifier les paramètres climatiques et environnementaux et leurs seuils limites qui sont susceptibles d'engendrer des impacts sur la desserte et le transport maritime au Nunavik.

7.2. Méthodologie

La réalisation de l'objectif comporte cinq étapes méthodologiques:

1. Identifier les sources de données sur le transport maritime, les paramètres climatiques et environnementaux, les seuils limites et les impacts;
2. Présenter les principales composantes du transport maritime au Nunavik;
3. Exposer les paramètres climatiques et environnementaux pouvant affecter les composantes du transport et la desserte maritime au Nunavik;
4. Établir pour chaque paramètre climatique et environnemental, les seuils limites qui exercent un impact significatif sur le transport et la desserte maritime au Nunavik;
5. Introduire les impacts significatifs que peuvent exercer chaque paramètre climatique et environnemental sur le transport et la desserte maritime au Nunavik;

7.3. Données sur le transport maritime, les paramètres climatiques et environnementaux, les seuils limites et les impacts

Les principales données et les connaissances sur le transport maritime ainsi que celles sur les paramètres climatiques et environnementaux incluant leurs impacts (actuels et potentiels) sur les navires, la navigation et les opérations maritimes ainsi que l'accès aux infrastructures maritimes du Nunavik qui sont utilisées dans le cadre de la présente étude ont principalement été recueillies par le biais de revues de la littérature (scientifiques et autres), de consultations de lois et règlements, de bases de données gouvernementales et privées ainsi que d'entrevues en profondeur.

Les infrastructures maritimes au Nunavik concernent les immobilisations affectées aux opérations de transport (alignement, bassin de mouillage, brise-lames, ponton flottant, quai, rampe d'accès, pipeline, quai en eaux profondes, infrastructures d'entreposage/stockage) pour chaque village nordique et sites miniers. L'information a été colligée à partir des données provenant du:

- Programme d'infrastructures maritimes au Nunavik (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 1996);
- Plan de transport du Nord-du-Québec du Ministère des Transports du Québec (MTQ, 2002);
- Rapport de la Commission des transports et de l'environnement de l'Assemblée Nationale (2006);
- Rapport de l'Administration régionale Kativik (Comité consultatif de l'environnement Kativik, 2007);
- Consultations après des transporteurs qui naviguent au Nunavik (Fednav, NEAS, Pétro-Nav du Groupe Desgagnés).

De façon plus spécifique, les principales sources d'information associées au transport maritime, aux seuils limites et aux impacts des paramètres climatiques et environnementaux permettant de documenter le transport et la desserte maritime au Nunavik sont fondées sur sept sources d'information :

- Une revue de la littérature sur les modèles de représentation du système de transport maritime (Stopford, 2010);
- Une revue de la littérature (publications scientifiques révisées par les pairs, actes de congrès, livres, monographies, archives, rapports gouvernementaux, études techniques) au Québec, au Canada et à l'international sur les enjeux et seuils climatiques et environnementaux pour le transport maritime dans des contextes similaires au Nunavik;
- La législation canadienne et internationale de navigation en milieu polaire, la formation du personnel, les outils de navigation, les technologies navales incluant la structure des coques, les systèmes d'hiverisation, les techniques d'embarquement/débarquement et les technologies de réduction de l'empreinte environnementale des navires (Savard, 2016);
- Les documents produits par le Conseil de l'Arctique sur l'évaluation du transport maritime dans l'Arctique (Arctic Council, 2017);
- Des entrevues en profondeur auprès des représentants de l'industrie incluant des capitaines de navire, directeurs des opérations et analystes des glaces des transporteurs Fednav, Petro-Nav du Groupe Desgagnés et Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS) ;
- Données corporatives des membres de l'industrie et des transporteurs maritimes (i.e. livres de bord des navires, rapports corporatifs);
- Des études réalisées pour le ministère des Transports du Québec sur les infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques (Massé et al, 2013; Bernier et al, 2017; Senneville et al, 2017).

7.4. Composantes du transport maritime sensibles aux paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik

Il existe une vaste littérature scientifique au Canada et à l'international permettant une représentation générique des composantes du transport maritime qui peuvent potentiellement être affectées par les conditions climatiques et environnementales dans un contexte de changement climatique (Berle et al, 2011; Thornes et al, 2012; Ng et al, 2013; Nursey-Bray et al, 2013; Stenek et al, 2016).

Dans la présente étude, les composantes du transport maritime au Nunavik sensibles aux variations climatiques et environnementales et qui feront l'objet d'une analyse d'impacts dans un contexte de changements climatiques ont été subdivisées en huit principales catégories. Ces composantes relèvent des chaînes d'approvisionnement, de transport, de logistique et de distribution de fret qui soutiennent et assurent le développement socio-économique des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik. Les huit composantes sélectionnées sont:

1. **Mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier:** Cette composante du transport maritime inclut les activités liées aux conditions de navigation en lien avec les conditions climatiques et environnementales (température, précipitations, vents, brouillard, niveau d'eau, présence de glace de mer et de glace de rive, tempête), l'accès des navires aux infrastructures maritimes des villages nordiques ou des sites miniers soit les opérations d'ancrage des navires en mer à proximité des villages nordiques pour permettre le déchargement des marchandises générales sur des barges et leur transport vers les sites d'infrastructures maritimes en eaux peu profondes ou d'accostage des navires aux infrastructures maritimes en eaux profondes de Baie Déception.
2. **Durée de la saison de navigation:** Cette composante du transport maritime concerne les modifications que les changements climatiques apportent au calendrier de la saison de navigation.
3. **Opérations de chargement/déchargement:** Cette composante du transport maritime comprend les opérations maritimes en eaux libres. Ces opérations qui nécessitent une main-d'œuvre qualifiée, consistent au chargement et déchargement du matériel de manutention à partir du navire soit les grues hydrauliques, les remorqueurs, les barges et les tuyaux flottants.
4. **Manutention de vrac liquide (produits pétroliers et chimiques):** Les villages nordiques et les sites miniers affichent une importante activité de transbordement de produits pétroliers et de produits chimiques pour approvisionner leurs centrales thermiques, permettre l'utilisation

croissante de véhicules moteurs et d'embarcations et combler les besoins en carburéacteur des aéroports.

5. **Manutention du vrac sec (concentré de minerai):** Cette composante du transport maritime concerne uniquement les sites miniers notamment le transport terrestre par camion et les opérations de chargement de concentré de minerai dans les navires à l'aide de convoyeur.
6. **Manutention de marchandises générales:** Les entreprises minières et la population des villages nordiques dépendent totalement ou partiellement du transport maritime pour l'acheminement ou l'approvisionnement en marchandises générales.
7. **Fonctionnement des équipements à bord des navires:** Cette composante du transport maritime comprend les équipements de navigation (gyrocompas, radar, pilote automatique, aide de poursuite automatique, échosondeur, dispositif de mesure de vitesse et distance, unité GPS, feu de position, système de visualisation des cartes électroniques et d'information, système d'identification et de repérage des navires à distance, etc) et de communication (dispositifs de télécommunication radio, services de communication par satellite, système d'identification automatique, téléphonie mobile, etc), la salle des machines, ainsi que les équipements en cas d'urgence (bouées de sauvetage, gilets de sauvetage, embarcation de sauvetage, système d'alarme, matériel de lutte contre l'incendie, etc).
8. **Accès aux infrastructures et équipements maritimes:** Cette composante du transport maritime concerne la disponibilité des infrastructures maritimes incluant les brise-lames de protection, les rampes d'accès pour la desserte maritime, les aires de services et d'entreposage, les quais, les pontons flottants, les chemins d'accès ainsi que les équipements maritimes (aides à la navigation, système de balisage, aides flottantes, etc).

7.5. Paramètres climatiques et environnementaux qui impactent le transport et la desserte maritime au Nunavik

La revue de la littérature et les entrevues en profondeur auprès de représentants de l'industrie et de transporteurs maritimes permettent d'identifier les paramètres climatiques et environnementaux qui peuvent influencer les opérations et la desserte de la navigation maritime ainsi que l'accès aux infrastructures maritimes du Nunavik.

Dans le but d'évaluer l'impact des changements climatiques sur les activités de transport et la desserte maritime au Nunavik, 22 paramètres climatiques et environnementaux ont été sélectionnés (Tableau 29). **Le choix s'est effectué**

en fonction de 1) leur pertinence eu égard aux activités de transport maritime; 2) l'existence de sources d'information; et 3) l'enregistrement sur une période minimale de 20 ans antérieure à 2016.

À l'évidence, plusieurs paramètres climatiques et environnementaux peuvent influencer d'autres paramètres climatiques et environnementaux. Ainsi, un changement de la température de l'air peut influencer les conditions de glace, les vents sont un facteur déterminant à l'origine des tempêtes, la hausse des niveaux d'eau peut être produite en raison de la marée, de forts vents ou de tempêtes, la combinaison des paramètres température de l'air et précipitation peut entraîner la formation de glace et conditionner les périodes de gel et dégel, etc.

Après discussions avec des experts en climat et en environnement ainsi que des représentants de l'industrie et des transporteurs maritimes, il fut décidé de classer ces 22 paramètres climatiques et environnementaux sous cinq volets en fonction de la nature des éléments mesurés:

- Quatre paramètres climatiques sur la température de l'air;
- Huit paramètres climatiques sur le régime de précipitations;
- Six paramètres climatiques sur le brouillard, les vents et les tempêtes;
- Trois paramètres environnementaux sur les conditions de glace;
- Un paramètre environnemental sur les niveaux d'eau.

Tableau 29. Paramètres climatiques et environnementaux et seuils limites qui peuvent influencer le transport maritime au Nunavik

PARAMÈTRES CLIMATIQUES		Seuil limite
Température de l'air		
1	Température maximale	> 20°C
2	Température minimale	< - 35°C
3	Vague de froid	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours
4	Variabilité importante de la température	25°C en une journée
Précipitations liquides et solides		
5	Jours de fortes pluies	50 mm / 24 heures
6	Jours de fortes pluies prolongées	100 mm / 5 jours
7	Jours de précipitations très intenses	Plus intenses que le 95 ^e percentile
8	Jours de précipitations extrêmes	Plus intenses que le 99 ^e percentile
9	Jours de pluie d'hiver	25 mm d'eau
10	Proxy de pluie verglaçante	Tmin < 0°C et Tmax > 0°C
11	Jours de forte neige	25 cm
12	Accumulation de neige au sol	90 cm
Brouillard, vent et tempête		
13	Brouillard léger	Visibilité maximale 2 km
14	Brouillard dense	Visibilité maximale 550 m
15	Jours de vents	≥ 29 km/h
16	Jours de grands vents	≥ 39 km/h
17	Jours de très grands vents	≥ 62 km/h
18	Tempête	≥ 89 km/h
PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX		
Conditions de glace de mer et de rive		
19	Concentration de glace	• Première semaine < 5/10 • Première semaine > 5/10 • Nb semaines > 5/10
20	Jours englacés	Tmax < 0°C
21	Cycles de gel et dégel	Tmax > 0°C et Tmin < 0°C
Niveau d'eau		
22	Niveau d'eau	cm +/- zéro des cartes

7.6. Établissement des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour le transport maritime au Nunavik

Après avoir identifié les paramètres climatiques et environnementaux qui peuvent affecter le transport maritime au Nunavik, il est essentiel d'établir leur seuil limite permettant d'établir une probabilité représentative des conditions critiques pour le transport maritime.

Les seuils limites retenus ont été identifiés en fonction de la littérature scientifique incluant des études de cas à l'international sur les enjeux climatiques et environnementaux pour le transport maritime, les vulnérabilités et les impacts. Les seuils limites intègrent différentes unités de mesure utilisées en météorologie (i.e. échelle de Beaufort sur la vitesse du vent, échelle de Douglas sur l'état physique de la mer, échelle de Zhubov sur la couverture glaciaire, etc.). Ces seuils limites ont été ensuite validés auprès d'opérateurs de terminaux et manutentionnaires à Montréal, Trois-Rivières, Québec et Sept-Îles et de transporteurs maritimes incluant des représentants de Pétro-Nav du Groupe Desgagnés, Fednav et Nunavut Eastern Arctic Shipping (NEAS). **La définition du seuil limite retenu pour chaque paramètre climatique et environnemental est présentée en Annexe 2.**

7.7. Impacts significatifs que peuvent exercer les paramètres climatiques et environnementaux sur le transport maritime au Nunavik

Dans le cadre de la présente étude, un «impact» est défini comme l'ensemble des répercussions directes ou indirectes des paramètres climatiques et environnementaux (actuels et futurs) qui affectent (positivement ou négativement) le transport maritime dans un contexte de changement climatique.

Les impacts des paramètres climatiques climatiques et environnementaux sur le transport maritime au Nunavik qui ont été identifiés dans la présente étude à l'aide de la revue de la littérature, ont également fait l'objet de consultations ainsi que de validations auprès des représentants de l'industrie et des transporteurs maritimes qui desservent le Nunavik et qui ont collaborés à ce projet de recherche et sont en mesure d'utiliser plusieurs sources incluant les livres de bord des navires, rapports corporatifs et expériences de navigation.

À l'évidence chaque paramètre climatique ou environnemental et son seuil limite peut exercer des impacts sur le transport maritime. La présente section vise à présenter 1) comment chaque paramètre climatique et environnemental et leur seuil limite est déterminant pour le transport maritime en général; et 2) comment ces seuils peuvent être critiques pour les composantes du transport maritime au Nunavik.

7.7.1. Température de l'air

Tableau 30. Paramètres sur la température de l'air, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime

	Paramètre	Seuil limite	Impacts sur les composantes du transport maritime
1	Température maximale	> 20°C	• Risque accru lors de la manutention du pétrole • Machinerie plus à risque de bris • Augmentation des coûts en énergie pour la ventilation • Besoin accru d'hydratation du personnel
2	Température minimale	< - 35°C	• Couvert de glace rendant non sécuritaire ou impossible la navigation • Risque de gel d'équipements à bord des navires • Consommation accrue de carburant et d'énergie pour le chauffage à bord • Risque accru de contagion et risque d'hypothermie du personnel • Effets sur les individus et réduction des heures de travail à l'extérieur • Retard dans les opérations de déchargement • Incapacité d'utilisation ou bris de certains équipements
3	Vague de froid	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	• Présence accrue de glaces dans les eaux rendant la navigation difficile • Risque de gel et bris des équipements de manutention et incapacité d'utilisation • Dépenses énergétiques accrues • Risque accrue de maladie et d'hypothermie du personnel • Usure prématurée des véhicules • Perte de productivité prolongée du personnel • Retard dans les opérations de déchargement
4	Variabilité importante de la température	25°C en une journée	• Du froid au chaud: si une seule journée, rien de particulier. Si sur une longue période, les calottes de glace pourraient se briser et dériver entravant la navigation • Du chaud au froid: gel subit des équipements terrestres ou sur les navires causant des bris, rendant le travail impossible • Bris dans les infrastructures, aqueduc, électrique, routes, quais • Risque pour les marchandises à température contrôlée • Expansion et contraction du pétrole ayant une incidence sur les volumes mesurés • Risque de bris lié à la dilatation et à la contraction de l'asphalte • Réajustement de l'habillement et dépenses énergétiques additionnelles pour le chauffage et la climatisation

Les températures > 20°C permettent d'offrir **une fenêtre plus grande d'accès maritime** aux villages du Nunavik durant la saison libre de glace. L'allongement de la saison de navigation sans glace pourrait faciliter les opérations de transport maritime en raison de la réduction du niveau de risque en lien avec le mouvement de glace mobile. La hausse de température de l'air durant la saison été-automne pourrait accentuer le potentiel de commerce dans les eaux nordiques. Par ailleurs, la hausse des températures en lien avec les changements climatiques durant la saison hivernale peut entraîner certains **gains de productivité suite à une réduction des temps d'opérations de chargement** de vrac à Baie Déception. Par contre, les opérations de chargement de concentré de minerai peuvent être sensibles à la hausse des températures alors que la poussière de concentré de minerai peut être source d'inflammation.

Ce ne sont que les opérations de transport maritime aux sites miniers situés à Baie Déception qui peuvent être affectées par des températures < -35°C puisque seuls ces sites sont desservis par le transport maritime durant la saison hivernale. Sur le plan des contraintes, il est démontré que le refroidissement extrême des températures de l'air est l'un des paramètres climatiques qui exerce d'importants impacts sur la formation et l'épaississement de la glace, avec, conséquemment, des **difficultés à manœuvrer les navires**. Les températures très froides peuvent également avoir une incidence sur le fonctionnement des équipements à bord des

navires. Les canalisations du navire notamment une plus grande **possibilité de ruptures et d'éclatement des tuyaux**. La **machinerie** (i.e. turbines, moteurs, chaudières) est davantage sujette à des **risques de bris** et les véhicules (i.e. chariots élévateurs) peuvent tomber en panne. En outre, des températures très froides entraînent une **hausse des coûts d'énergie** liée au chauffage.

Considérant que les vagues de froid ($T_{max} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours) ne surviennent que durant la saison hiver-printemps (1 décembre-14 juin), les impacts des vagues de froid n'affectent que les opérations maritimes des sites miniers à Baie Déception. Mais dans les villages nordiques, les vagues de froid peuvent également **affecter l'état des ponts flottants et déformer les rampes d'accès**. Considérant que les coûts d'opération et/ou d'affrètement des navires dans l'Arctique sont plus dispendieux qu'ailleurs dans le monde, les vagues de froid peuvent représenter un important problème commercial. Les vagues de froid influencent la productivité de la main-d'œuvre dans les opérations à l'extérieur en raison des risques d'hypothermie et peuvent poser un **risque pour la santé et la sécurité du personnel à bord des navires**. Les opérations doivent être planifiées en conséquence incluant les rotations d'employés durant les périodes de vagues de froid. Certains **équipements de manutention peuvent être difficiles à utiliser ou être sujets à des bris importants en raison du gel**, ce qui peut entraîner des **délais supplémentaires dans les opérations des navires**. Les équipements de transport maritime peuvent être sensibles aux aléas climatiques. En effet, bien que les équipements à bord des navires soient conçus pour résister à des conditions climatiques adverses, les équipements électriques peuvent être vulnérables aux températures extrêmes notamment les vagues de froid ce qui peut augmenter les frais d'entretien et de remplacement. Une vague de froid peut exercer un impact significatif sur les infrastructures de canalisation terrestre en **augmentant le risque d'éclatement des conduites**. Sur le plan positif, une tendance à la baisse du nombre de vagues de froid devrait non seulement atténuer les impacts négatifs pré-cités, mais pourrait également générer des répercussions positives sur les opérations de transport terrestre en raison d'une réduction du risque de gel du moteur des camions. Outre une réduction des contraintes liées au transport terrestre de concentré de minerai, une tendance à la baisse du nombre de vagues de froid au Nunavik pourrait entraîner une baisse des coûts d'énergie liée au chauffage des navires et conséquemment une moins grande consommation de carburant.

Une importante variation de la température (25°C en une journée) est généralement associée au passage de systèmes frontaux (masses d'air ayant des propriétés physiques différentes sur le plan de la température, de l'humidité et de la pression) qui peuvent changer rapidement la direction et la force des vents et les conditions météorologiques. Une variabilité de la température moyenne journalière de 25°C affecte essentiellement deux composantes du transport maritime, à savoir la manœuvrabilité des navires et les opérations de déchargement du carburant. Sur le plan positif, une importante variabilité des températures du froid au chaud durant la saison hivernale peut briser la calotte

de glace et **faciliter la manœuvrabilité des navires**. Sur le plan négatif, si la température varie du chaud au froid durant la saison estivale-automnale, il en résulte un **gel subit des équipements maritimes qui peut occasionner des bris et imposer d'autres délais à la navigation**. Les entrevues auprès des transporteurs qui opèrent au Nunavik indiquent que le principal problème d'une variabilité de la température moyenne journalière de 25°C sur les composantes du transport maritime concerne les **risques pour le déchargement des hydrocarbures**. Une grande variabilité des températures affecte aussi la **sécurité des opérations de transbordement pour les marchandises à température contrôlée**. Une variabilité importante des températures peut entraîner une **usure prématurée des tuyaux flottants par une désagrégation accélérée de leur revêtement ou par une dilatation suivie d'une contraction des joints des réseaux de conduite**.

7.7.2. Régime de précipitations

Tableau 31. Paramètres sur les précipitations, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime

	Paramètre	Seuil limite	Impacts sur les composantes du transport maritime
5	Jours de fortes pluies	50 mm / 24 heures	• Visibilité réduite pour les opérations • Eaux plus agitées et besoins d'entretien des chenaux d'accès maritime en raison de l'amplification du transport des sédiments • Inondations terrestres • Secteurs de déchargement maritimes difficiles d'accès • Débordement côtier et inondation des aires de manutention du fret et de certains bâtiments • Besoin accru d'entretien et de réparation des infrastructures • Risque d'érosion des berges • Risque de submersion des routes d'accès terrestre et des aires de stationnement • Baisse de productivité et inconfort du personnel
6	Jours de fortes pluies prolongées	100 mm / 5 jours	• Visibilité réduite • Navigation difficile en raison d'eaux plus agitées • Besoins de dragage et d'entretien des chenaux d'accès plus importants en raison d'un transport de sédiments amplifié • Risque d'inondation soudaine des quais et des aires de manutention du fret • Besoin accru d'entretien et de réparation des infrastructures • Risque d'érosion des berges • Risque de submersion des routes d'accès terrestre et des aires de stationnement • Baisse de productivité et inconfort du personnel
7	Jours de précipitations très intenses	Plus intenses que le 95 ^e percentile	• Visibilité réduite • Navigation difficile en raison d'eaux plus agitées • Besoins de dragage et d'entretien des chenaux d'accès plus importants en raison d'un transport de sédiments amplifié • Risque d'inondation soudaine des quais et des aires de manutention du fret • Besoin accru d'entretien et de réparation des infrastructures • Risque d'érosion des berges • Risque de submersion des routes d'accès terrestre et des aires de stationnement • Baisse de productivité et inconfort du personnel
8	Jours de précipitations extrêmes	Plus intenses que le 99 ^e percentile	• Visibilité réduite • Navigation difficile en raison d'eaux plus agitées • Besoins de dragage et d'entretien des chenaux d'accès plus importants en raison d'un transport de sédiments amplifié • Risque d'inondation soudaine des quais et des aires de manutention du fret • Besoin accru d'entretien et de réparation des infrastructures • Risque d'érosion des berges • Risque de submersion des routes d'accès terrestre et des aires de stationnement • Baisse de productivité et inconfort du personnel
9	Jours de pluie d'hiver	25 mm d'eau	• Visibilité réduite pour la navigation ainsi que pour les opérations de chargement/déchargement

			• Navigation difficile en raison d'eaux plus agitées • Besoins de dragage et d'entretien des chenaux d'accès plus importants en raison d'un transport de sédiments amplifié • Accumulation de neige beaucoup plus lourde sur le pont des navires • Risque d'inondation soudaine des quais et des aires de manutention du fret • Risque d'alourdissement de la neige présente sur les toits d'entrepôt et de bâtiments • Besoin accru d'entretien et de réparation des infrastructures • Risque de submersion des routes d'accès terrestre et des aires de stationnement • Baisse de productivité et inconfort du personnel
10	Proxy de pluie verglaçante	Tmin < 0°C et Tmax > 0°C	• Visibilité réduite pour la navigation • Gel des surfaces exposées des navires • Poids additionnel de la neige sur le pont des navires • Gel des équipements de manutention • Risque élevé de chutes et d'accidents aux conséquences parfois sévères • Augmentation de l'épandage de sel à déglacer • Certaines routes d'accès terrestre potentiellement fermées • Risque d'arrêt des activités • Importante baisse de productivité, inconfort pour le personnel
11	Jours de forte neige	25 cm	• Visibilité réduite pour la navigation • Augmentation du poids de la neige sur les surfaces des navires • Perte de productivité du personnel • Accumulation de neige au sol et sur les toits pouvant gêner les opérations • Augmentation des opérations de déneigement • Certaines routes d'accès terrestre potentiellement fermées
12	Accumulation de neige au sol	90 cm	• Augmentation du poids de la neige sur les surfaces des navires • Accumulation de neige au sol pouvant gêner les opérations de chargement/déchargement • Augmentation des opérations de déneigement • Accumulation de neige gêne la circulation des véhicules terrestres • Certaines routes d'accès terrestre potentiellement fermée

Les épisodes de fortes pluies (50 mm / 24 heures) ou de fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours) peuvent exercer plusieurs impacts sur les composantes du transport maritime. Sur le plan du mouvement des navires et des barges, ces paramètres climatiques entraînent **une visibilité réduite**. Ces épisodes de fortes pluies ou de fortes pluies prolongées peuvent également **affecter les opérations à bord des navires**. Par ailleurs, des épisodes de fortes pluies ou de fortes pluies prolongées peuvent provoquer de **graves submersions des quais** à Baie Déception **et des rampes d'accès** des villages et des **problèmes de captage en surface des eaux de pluies**. Les épisodes de fortes pluies ou de fortes pluies prolongées peuvent **retarder les opérations de chargement et déchargement** en raison d'une visibilité réduite des opérateurs de machinerie. Le transport vers l'arrière-pays des villages nordiques ou des sites miniers vers Baie Déception pourrait être indisponible en raison de la **submersion des routes** comme ce fut le cas à Kuujuaq en mai 1979.

Les jours de précipitations très intenses (plus intenses que le 95^e percentile) ou extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) peuvent causer des impacts importants sur l'accessibilité maritime aux villages nordiques en raison d'une **baisse de visibilité**. La **fonctionnalité et l'efficacité des équipements de manutention peuvent être freinées** par les précipitations intenses. À Baie Déception, le régime de précipitations très intenses ou extrêmes peut altérer les propriétés chimiques du concentré de minerai et entraîner un **arrêt des opérations de chargement du concentré de minerai en raison des risques de liquéfaction**. En effet, lorsque les précipitations sous forme de pluie ou neige s'infiltrant dans les cales d'un navire, les particules argileuses se liquéfient pour

l'ensemble du concentré de minerai qui se transforme en boue liquide. Si le taux d'humidité du concentré de minerai est supérieur à la teneur limite en humidité admissible aux fins de transport, le concentré de minerai n'est pas transportable en mer, car la liquéfaction du concentré de minerai vient **diminuer la stabilité du navire et augmenter le risque de chavirement** par mauvais temps. L'intensité, la durée et la fréquence de certaines conditions climatiques (précipitations intenses ou extrêmes, pluies verglacantes ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) peuvent **réduire la fonctionnalité des équipements de communication, créer des risques additionnels à l'utilisation de la machinerie pour la sécurité du personnel à bord et entraîner un bris de systèmes à bord des navires**.

Les pluies hivernales (25 mm de précipitations liquides en hiver) pourraient entraîner un ruissellement plus important de l'eau de pluies en raison du sol gelé. Les pluies d'hiver augmentent également le risque lié à l'alourdissement de la neige sur les toits d'entrepôts, de bâtiments et de réservoirs de carburant situés dans les villages et aux sites miniers et exigent un **besoin accru d'entretien et de réparation des routes et des aires de services incluant l'entretien des navires et la manutention terrestre des camions**.

Les jours de précipitations de forte neige (25 cm) exercent un impact sur le **mouvement des navires notamment en raison d'une visibilité réduite**.

L'accumulation de neige au sol (90 cm) ralentit les opérations du transport maritime sur l'ensemble des villages en raison de la **difficulté à effectuer des travaux de chargement et déchargement des navires ou à déplacer les barges**. Les opérations de déneigement entravent voire rendent impossible par moment **l'accès à des sections des infrastructures maritimes**. L'accumulation de neige affecte essentiellement les opérations de transport maritime aux sites miniers de Baie Déception. De façon générale, l'accumulation de neige au sol entraîne **l'arrêt temporaire de certaines activités maritimes**. Une importante couverture de neige exerce une influence négative sur les opérations puisqu'elle ne permet pas d'utiliser pleinement les espaces de quai à Baie Déception où les opérations de chargement du concentré de minerai doivent être interrompues. L'accumulation de neige au sol génère également d'importants **problèmes d'espaces de stationnement des véhicules routiers aux sites miniers** pendant plusieurs jours entraînant d'importants délais dans la circulation des camions et une augmentation concomitante des coûts pour les expéditeurs de concentré de minerai en raison de **l'attente additionnelle des navires**. Par ailleurs, une forte accumulation de neige soulève des **risques de ruptures des toits des entrepôts** du concentré de minerai.

7.7.3. Brouillard, vents et tempêtes

Tableau 32. Paramètres sur le brouillard, le vent et les tempêtes, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime

	Paramètre	Seuil limite	Impacts sur les composantes du transport maritime
13	Brouillard léger	Visibilité maximale 2 km	• Ralentissement des opérations de navigation
14	Brouillard dense	Visibilité maximale 550 m	• Navigation difficile, dangereuse ou bloquée • Risque d'arrêt des activités de chargement/déchargement
15	Jours de vents	≥ 29 km/h	• Ralentissement des opérations de chargement/déchargement
16	Jours de grands vents	≥ 39 km/h	• Quelques retards sur les opérations
17	Jours de très grands vents	≥ 62 km/h	• Navigation à risque • Navires immobilisés • Arrêt des opérations de chargement/déchargement • Bris sur les bâtiments et infrastructures maritimes • Aménagement extérieurs compromis
18	Tempête	≥ 89 km/h	• Augmentation des courants et des vagues pouvant rendre la navigation impossible • Risque accru de dérive des navires ou d'accident maritime • Risque d'arrêt des activités de transport maritime et d'opérations de chargement/déchargement • Risque de détérioration des infrastructures • Risque de pannes de courant • Certaines routes d'accès terrestre potentiellement fermé • Risque de renversements sur les voies d'accès terrestre

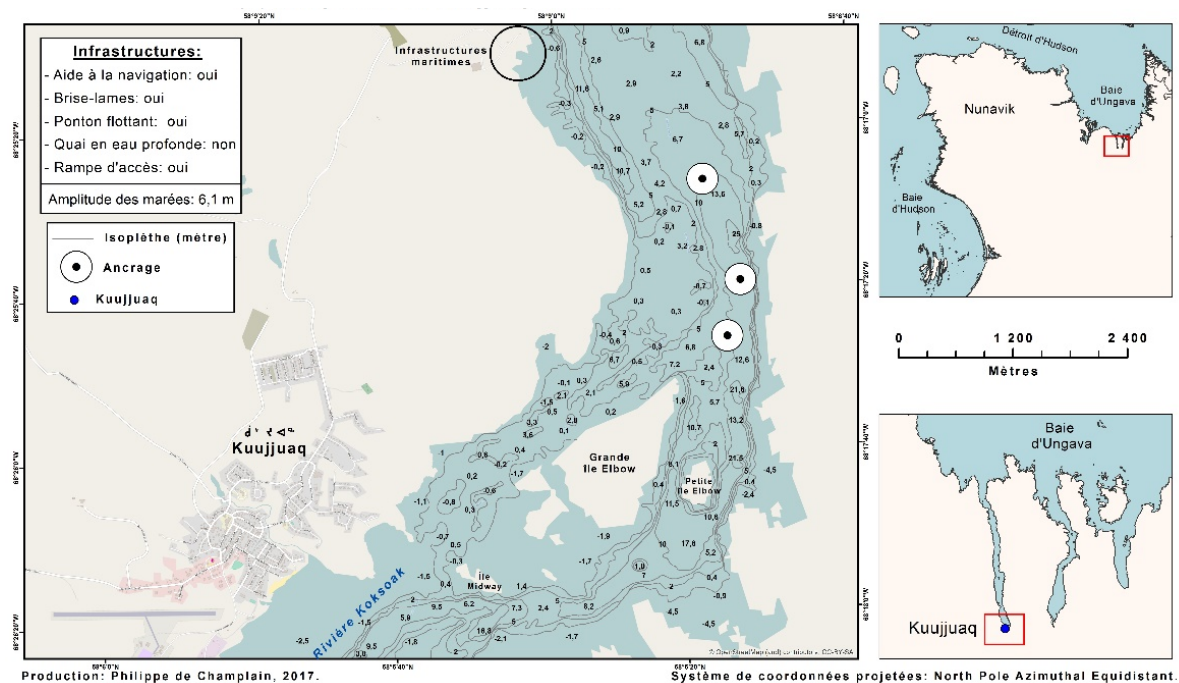
Sur le plan du mouvement des navires et des barges, le brouillard léger (Visibilité maximale 2 km) ou le brouillard dense (Visibilité maximale 550 m) représentent des enjeux de sécurité, car ils limitent la visibilité en mer. Le brouillard fait partie des grands défis à la sécurité de la navigation au Nunavik, puisque **la visibilité peut être dangereusement réduite, ce qui peut augmenter la probabilité de collision avec des glaces en mer le long des côtes du Nunavik et également lors du transport par barge entre le navire et les sites d'infrastructures maritimes**. Les capitaines de navires doivent établir une surveillance visuelle et radar constante et sont dans l'obligation de réduire la vitesse près des glaces en cas de visibilité mauvaise (i.e. visibilité maximale en mer de 550 mètres). Au Nunavik, le brouillard **limite les opérations de déchargement de carburant des navires et entre le navire et les barges**. Pour des motifs de sécurité des opérations de transbordement et de manutention, la distance entre le lieu d'ancrage du navire et l'infrastructure maritime de certains villages est un facteur important en raison de la distance à parcourir ou du trajet qui est plus risqué en fonction de la bathymétrie. En effet, certains villages nordiques sont davantage susceptibles d'être affectés par les conditions de brouillard. Ainsi à Kuujuaq le navire s'ancre à plus de 2 kilomètres de l'infrastructure maritime (Figure 11), alors qu'à Akulivik la distance entre le lieu d'ancrage et l'infrastructure maritime est de moins de 200 mètres (Figure 12). Les transporteurs **cessent les opérations de déchargement de carburant lorsque le littoral ne peut être aperçu**, ce qui arrive fréquemment aux villages de Kangiqsualujuaq, Kangirsuk, Quaqaq et Kuujuarapik.

Bien que les technologies navales permettent de contrer quelque peu les effets du vent (≥ 29 km/h), de grands vents (≥ 39 km/h) et de très grands vents (≥ 62

km/h) sur le mouvement des navires, le vent constitue néanmoins un facteur clé à prendre en compte pour la navigation au Nunavik, puisque ses effets ont un impact sur plusieurs composantes du transport maritime. Sur le plan du mouvement des navires et des barges, la combinaison de très grands vents (≥ 62 km/h), de courants et des marées **complice les manœuvres des navires** aux villages de Kuujuaq, Kangiqsualujuaq, Kangirsuk, Quaqtaq, Puvirnituk, Inukjuak et Kuujuarapik. Les capitaines doivent **réduire la vitesse des navires**. Il existe d'ailleurs un **risque accru aux lieux d'ancrage et d'utilisation des bassins de virement**, notamment lorsque le chenal d'accès est étroit et sinueux. **La stabilité du navire peut d'ailleurs être affectée** lorsque le vent change de direction et qu'un vent de côté peut faire pencher le navire. Pour les sites miniers à Baie Déception, le vent peut faire de la pression sur un champ de glace et augmenter la résistance d'une accumulation de glaces lors du passage d'un navire en hiver. Le vent peut également causer une scission dans les glaces de rive, surtout au printemps, et ainsi **causer des entraves à la navigation**. Les grands vents changent la condition des glaces et peuvent imposer des **délais de plus aux opérations des navires** notamment à l'entrée et à la sortie de Baie Déception

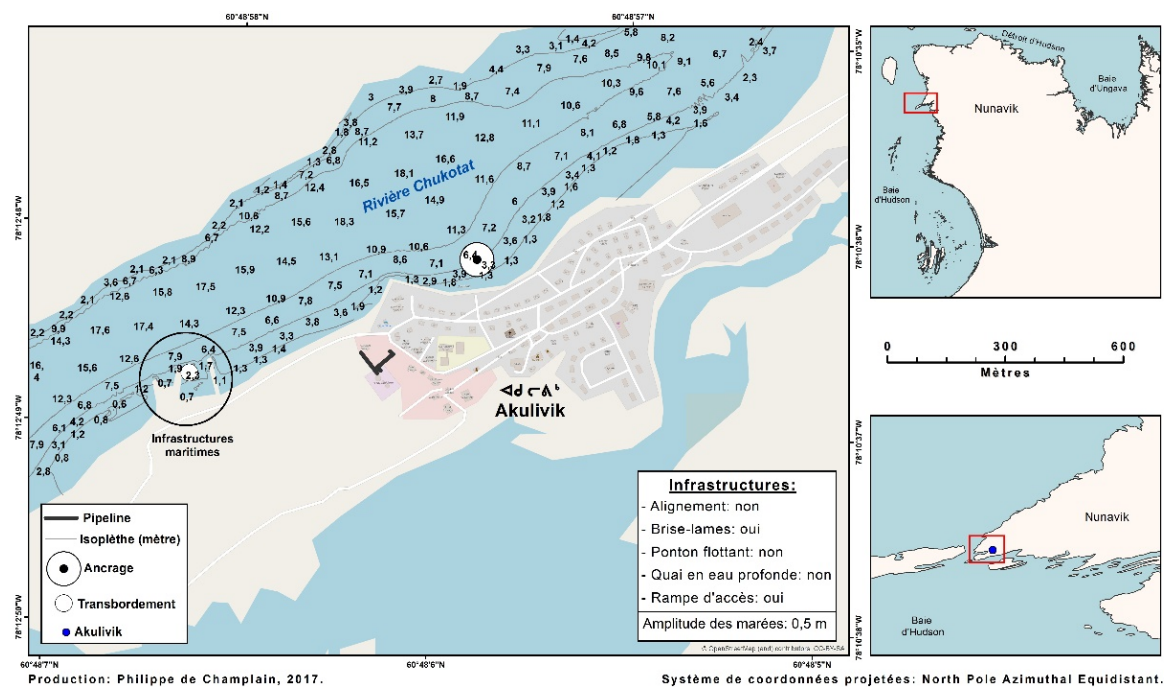
Sur le plan des activités de transbordement, les rafales de vent soutenu peuvent **rendre difficiles le chargement et le déchargement de différentes marchandises et produits avec des risques concomitants pour le personnel qui travaille sur les navires ou sur la terre ferme**. L'utilisation du conteneur comporte certaines difficultés liées à la manutention lors des grands vents. Ceci est particulièrement critique pour assurer la sécurité alimentaire des communautés nordiques et pour le ravitaillement des minières lors des phases de construction. **Toutes les opérations de transbordement sont interrompues lorsque les vents ≥ 62 km/h**. Le vent peut **rompre les amarres d'un navire** lorsqu'il est accosté à un quai ou à un lieu d'ancrage. **La manœuvrabilité des barges** utilisées par les transporteurs maritimes pour le transfert des marchandises générales ou l'utilisation des tuyaux flottants **devient impossible**. Ce **prolongement du temps d'escale** des navires entraîne une hausse des heures d'opérations et une augmentation concomitante des coûts de transport maritime. Durant la saison de navigation été-automne, ce sont les opérations de déchargement de carburant et de marchandises générales aux villages de Quaqtaq, Tasiujaq, Kangiqsujuaq, Umiujaq et Puvirnituk qui sont le plus affectées par des vents ≥ 62 km/h.

Figure 11. Localisation des infrastructures maritimes à Kuujjuaq au Nunavik



Source: Open Street Map, Base Map, ArcGIS; Service Hydrographique du Canada

Figure 12. Localisation des infrastructures maritimes à Akulivik au Nunavik



Source: Open Street Map, Base Map, ArcGIS; Service Hydrographique du Canada

Considérant que les vents soufflent généralement plus forts durant la saison hivernale au Nunavik, ils peuvent entraîner **des dommages aux infrastructures maritimes** de Baie Déception (i.e matériel de levage et de manutention) et une détérioration de l'environnement en cas de rupture et **interrompre les opérations de chargement et déchargement** incluant l'entreposage du concentré de minerai. Il en résulte une augmentation des coûts opérationnels, un impact sur les temps de transport et une augmentation du risque pour le personnel. Sur le plan des infrastructures maritimes dans les villages nordiques, les très grands vents (≥ 62 km/h), selon leur direction en fonction de différents sites, peuvent entraîner une inondation plus fréquente de certaines infrastructures maritimes ou terrestres menant à une **augmentation des frais d'entretien et imposer une mise à niveau d'équipements de manutention du fret**.

Les tempêtes (vents ≥ 89 km/h) affectent plusieurs composantes du transport maritime au Nunavik. Premièrement, les tempêtes ont des **impacts directs sur la planification d'un trajet de navigation**. Les navires sont affectés par une augmentation des courants et des vagues entraînant un **risque accru de dérive et d'accidents ainsi qu'une diminution de la visibilité**. Les tempêtes peuvent entraîner des **changements dans l'horaire des navires à différentes infrastructures maritimes**. Deuxièmement, le pont du navire peut être inondé lors des épisodes de tempêtes, entraînant un **déséquilibre du navire si l'eau gèle et forme de la glace sur le navire**. Ces événements climatiques extrêmes peuvent aussi occasionner des **problèmes de sécurité et soulever des défis à l'efficacité du personnel à bord des navires**. Troisièmement, la hauteur à laquelle les vagues affectent les infrastructures maritimes durant une tempête les expose à **une plus grande corrosion ou une dégradation du matériel**. Quatrièmement, les tempêtes sont particulièrement **dommageables pour les produits transportés notamment les conteneurs ou la marchandise générale empilée sur le pont**. Quatrièmement, **le système de communication et d'échanges d'information entre le navire et les satellites peut être altéré** en raison de l'interférence atmosphérique créée par une tempête ce qui rend imprécise la lecture de la position GPS à bord du navire. Cinquièmement, les tempêtes peuvent engendrer des risques et des conséquences négatives pour la protection de l'environnement et la santé humaine lors de la manutention des hydrocarbures. Pour l'approvisionnement des villages nordiques, un tuyau flottant reliant le pétrolier aux réservoirs est utilisé pour acheminer du pétrole. À Kuujuaq, le carburant est déchargé du navire sur une barge munie de réservoirs. La barge est ensuite acheminée vers la plage par un remorqueur. Ces techniques de manutention sont donc particulièrement sensibles aux différentes conditions climatiques extrêmes (forts vents, vagues importantes, surcotes, etc). Dans le cas des sites miniers à Baie Déception, l'augmentation de l'intensité, la durée et la fréquence des conditions climatiques existantes incluant l'effet combiné de ces différents aléas climatiques peuvent accroître le niveau de vulnérabilité du transport maritime en raison du risque de déversement de produits dangereux (pétroliers et chimiques), **imposer des restrictions et des**

délais dans les opérations de déchargement et augmenter les primes d'assurances. Sixièmement, les tempêtes peuvent entraîner d'importantes **conséquences sur les infrastructures maritimes.** Les risques d'érosion côtière et d'inondation sont accrus. Les murs de quai à Baie Déception pourraient être endommagés augmentant ainsi les frais d'entretien et des coûts de réparation annuelle. Les autres infrastructures maritimes des villages nordiques (pontons flottants, rampe d'accès, brise-lames, jetée) peuvent être endommagés, une situation qui entraînerait une réduction des capacités d'accès maritime. Des **pannes de courant** sont également à prévoir **limitant ainsi l'accès maritime en raison du dysfonctionnement des systèmes d'éclairage sur le site d'infrastructures maritimes et des alignements lumineux.**

7.7.4. Conditions de glace

Tableau 33. Paramètres sur les conditions de glace de mer et de rive, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime

	Paramètre	Seuil limite	Impacts sur les composantes du transport maritime
19	Concentration de glace	- Première semaine < 5/10 - Première semaine > 5/10 - Nb semaines > 5/10	Présence accrue de glaces dans les eaux qui pourrait obstruer le chenal de navigation
20	Jours englacés	Tmax < 0°C	- Effets sur le personnel et ralentissement des heures de travail à l'extérieur - Retard dans les opérations - Demande accrue d'énergie
21	Cycles de gel et dégel	Tmax > 0°C et Tmin < 0°C	- Du froid au chaud: les calottes de glace pourraient se briser et dériver affectant la navigation - Du chaud au froid: gel subit des équipements terrestres ou sur les navires causant des bris, rendant le travail impossible - Risque de bris de certains types de marchandises - Modification des volumes de pétrole - Besoin de surveillance accrue pour les marchandises à température contrôlée - Usure prématurée de l'asphalte par processus de contraction et de dilatation ainsi que par infiltration puis congélation de l'eau - Mouvement des quais, routes et bris possibles sur les infrastructures - Risque de chute du personnel en raison de présence de glace - Accumulation de barrière de glace devant les issues de secours

La concentration de glace (Première semaine < 5/10; Première semaine > 5/10; Nb semaines > 5/10) affecte plusieurs composantes du transport maritime au Nunavik. Sur le plan du mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier, lorsque l'eau est exposée à de très grands vents (≥ 62 km/h), la compression des glaces peut **ralentir la circulation des navires** (Mussells et al, 2017). La présence de glaces peut affecter plusieurs parties de la structure d'un navire et **compromettre sa stabilité** (Kubat et al, 2003). La résistance et la manoeuvrabilité d'un navire en présence de glace dépend de la conception de la forme de la coque (proue, milieu et poupe), de la disposition de la charpente, des matériaux de construction et des systèmes de propulsion (GCC, 2012). En milieu arctique, les glaces pluriannuelles peuvent avoir une importante résistance à la compression de 24000 kPa (3500 livres par pouce carré de compression de la glace sur le navire). Les navires qui sont en mesure de naviguer dans ce type de

glace ont un niveau de certification glace CAC 1 ou CAC 2. Selon les normes pour la construction de ces navires de la classe arctique, l'épaisseur de l'acier de la coque du navire doit être supérieure à 25 mm. Par ailleurs la présence de glaces pluriannuelles **influence la vitesse d'un navire**. Les glaces pluriannuelles **peuvent compliquer la lecture des radars parce que le radar à lui seul ne peut pas assurer la certitude d'une navigation sécuritaire** durant l'hiver, car il ne peut distinguer entre la glace de première année et la glace plus ancienne. **L'accès aux infrastructures maritimes peut être vulnérable** lors de la fonte des glaces au début de la saison estivale et par la présence de glace à l'automne en raison du déplacement de blocs de glace dans le chenal d'accès. Par ailleurs, alors qu'un dépôt de glace sur un brise-lame offre une protection naturelle contre les glaces mobiles, lorsque la concentration de glace diminue, les glaces restantes peuvent **endommager le brise-lame en fonction des conditions hydroclimatiques qui prévalent au point où il n'est pas utilisable**. Ceci est d'ailleurs confirmé par les travaux de Clerc et al (2012) à Quaqtaq et Kuujuaq. Sur le plan de l'accessibilité maritime aux villages nordiques, l'eau peu profonde près des berges est un facteur de formation des glaces. Par ailleurs, le vent et les courants marins sont des facteurs de dérive des glaces près des berges. Ces phénomènes sont susceptibles **d'interrompre ou de retarder les opérations maritimes et de limiter l'accès** (de quelques heures à plusieurs jours) aux infrastructures maritimes des villages en raison de la poussée de glace vers la bande côtière de la façade maritime du Nunavik surtout dans un contexte où la marée agit sur le mouvement des blocs de glace. Il est fréquent que les transporteurs maritimes de vrac liquide et de marchandises générales qui desservent les villages doivent d'abord dégager les blocs de glace qui sont demeurés sur les plages avant d'entreprendre toute activité de transbordement. Un tel processus contribue à **augmenter les délais et génère des coûts logistiques supplémentaires**. Sur le plan de l'accessibilité aux sites miniers, le succès des opérations de chargement de concentré de minerai à Baie Déception est entièrement dépendant d'infrastructures fixes, soit des quais en eaux profondes, ce qui offrent des possibilités d'opérations toute l'année et donne un avantage commercial et opérationnel aux compagnies minières.

Deux phénomènes peuvent être liées à des jours englacés ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$): le givre et la gelée blanche. Le givre est un dépôt de glace provenant de la congélation de nuages où la température est $< 0^{\circ}\text{C}$ dès qu'elles entrent en contact avec un objet dont la surface est à une température est près de 0°C . La gelée blanche est un dépôt de glace sur des objets provenant de la transformation de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant. Les jours englacés exercent plusieurs impacts sur les composantes du transport maritime. Pour le mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier, la formation de glace sur la structure et sur les gréments du navire peut causer des **problèmes de stabilité**. L'accumulation de glace sur le pont du navire peut engendrer à son tour des **problèmes de sécurité tant pour l'équipage que pour les équipements**. **La communication peut s'avérer plus difficile** si les antennes et systèmes d'aide à la navigation

sont gelés. Eu égard aux activités de transbordement, le gel des surfaces exposées des navires représente un poids additionnel aux navires. Le gel subit des équipements de manutention **peut causer des bris qui rendent impossibles les activités de chargement ou déchargement**. En ce qui concerne les opérations au sol, un dépôt de glace **réduit la productivité de la main-d'œuvre et les activités d'opération aux quais en raison des risques élevés de chute et de blessures aux conséquences sévères**. Le gel peut également être critiques pour les réseaux de pipeline et les prises électriques. Par ailleurs, le givre et la gelée blanche peuvent se former sur les routes de gravier entre Baie Déception et les sites miniers et **augmenter le risque d'accidents routiers en raison des surfaces glissantes**.

Les cycles de gel et de dégel ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) constituent des défis à l'efficacité du personnel à bord de navires. **Les pratiques de travail et les procédures d'entretien se modifient par rapport aux conditions usuelles d'opération**. Il existe également des **risques liés aux activités de chargement et déchargement des marchandises générales** en raison d'accumulation soudaine de glace sur les barges d'allègement. Parfois, les cycles de gel et de dégel peuvent poser des **problèmes de sécurité pour le personnel** par la présence de glace sur les rampes d'accès qui peuvent être affectés par l'infiltration puis la congélation de l'eau dans les cavités de la chaussée.

7.7.5. Niveaux d'eau

Tableau 34. Paramètres sur les niveaux d'eau, seuils limites et conséquences générales sur le transport maritime

	Paramètre	Seuil limite	Impacts sur les composantes du transport maritime
22	Niveau d'eau	cm +/- zéro des cartes	<u>Hausse</u> • Inondation des aires de chargement/déchargement • Arrêt des activités • Inondation et fermeture de route d'accès terrestre <u>Baisse</u> • Navigation plus difficile • Accès maritime doit être modifiée • Baisse potentielle du niveau de chargement des navires et problèmes de manutention • Risque accru d'incapacité d'accueillir navires à fort tirant d'eau et perte de productivité des navires • Arrêt de la navigation • Potentiel d'affaissement des infrastructures car plus à découvert

En transport maritime, **les niveaux d'eau sont mesurés à partir du zéro des cartes**. Ceci représente le plan de référence verticale à partir duquel toutes les profondeurs d'eau sont mesurées. Au Nunavik, le zéro des cartes nécessite une connaissance approfondie de la marée. Les marées sont caractérisées par deux pleines mers et deux basses mers d'amplitudes inégales et à intervalles irréguliers. Le marnage est la différence entre l'étalement de pleine mer (marée haute) et l'étalement de basse mer (marée basse). Le zéro des cartes est fixé à partir du niveau de basse mer inférieure lors de grande marée. Cette référence indique la profondeur d'eau minimale dans des conditions hydrologiques normales. Dans ces conditions, il est difficile d'établir un seuil limite pour les niveaux d'eau (haut

ou bas) en raison des très grandes différences de marnage entre les trois façades maritimes du Nunavik qui peuvent varier de 0,40 mètres à 13,50 mètres.

La variation des niveaux d'eau est donc une réalité qui affecte les transporteurs maritimes au Nunavik. Les niveaux d'eau influencent les opérations du transport maritime notamment le mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier, les opérations de chargement et déchargement et l'accès aux infrastructures maritimes. Tout changement de l'équilibre des plans d'eau affecte **la sécurité de la navigation maritime**. Les conditions d'accessibilité maritime (bathymétrie, marées, niveaux d'eau) des villages et sites miniers au Nunavik n'est pas uniforme. De façon générale, les entrevues auprès des transporteurs maritimes confirment que les variations de profondeur d'eau peuvent induire des risques sur **la capacité et l'accessibilité** aux villages et sites miniers du Nunavik. Ceci est d'ailleurs confirmé par les travaux de Shaw et al (1998) et Lantuit (2008). Par ailleurs, l'amplitude élevée des marées rend les activités de déchargement difficiles dans certains secteurs. Il faut coordonner le déchargement avec les marées hautes. Ce **facteur hypothèque la puissance de halage des remorqueurs utilisés par les transporteurs maritimes**.

Dans le cas d'une hausse des niveaux d'eau générées lors des tempêtes, les côtes pourraient être soumises à l'érosion, à des inondations et à une déstabilisation des terrains. La persistance de très grands vents (≥ 62 km/h) peut provoquer une surcote de plus d'un mètre de hauteur durant la saison de navigation été-automne sur la côte sud du détroit d'Hudson (Savard et al, 2014). Une surcote est une surélévation du niveau d'eau par rapport au niveau de référence prédéterminé (zéro des cartes) en présence de la marée astronomique seule (Organisation Hydrographique Internationale, 1998). Ces surcotes peuvent engendrer des **délais additionnels pour le transbordement de carburant et de marchandises générales** avec les barges incluant l'utilisation des quais à Baie Déception pour le chargement de concentré de minerai.

Sous des conditions de fortes marées, la présence du couvert fixe de glace de mer durant l'hiver réduit le développement de vagues (Stopa et al, 2018). Mais au printemps et à l'automne les vents poussent la glace sur le littoral pouvant endommager les brises-lames, les rampes d'accès et éroder les plages notamment sur les côtes orientales de la baie d'Hudson ce qui exerce un impact sur **l'accès aux infrastructures maritimes** (Saucier et al, 2004; Joly et al, 2011). En cas de surcote, quelques infrastructures maritimes peuvent être inondées et certaines routes d'accès aux infrastructures maritimes notamment à Akulivik et Salluit peuvent être affectées par des inondations (L'Hérault et al, 2017, p. 122).

Une baisse du niveau d'eau sous le zéro des cartes est concomitante à une **baisse de capacité de transport d'un navire**. À Baie Déception, une baisse d'un centimètre du niveau d'eau est concomitante à une baisse d'environ 45 tonnes de capacité de transport d'un navire. Cette condition a une incidence

directe sur le chargement des navires et le volume des expéditions, ainsi que sur les méthodes de gestion des trafics maritimes. Il en résulte également une perte de productivité des navires en raison d'une réduction des capacités de chargement et conséquemment une perte de revenus pour les transporteurs. Les normes de sécurité exigent un dégagement sous quille minimum lors des opérations d'approche, de chargement et déchargement. Dans les villages du Nunavik, les navires pourraient devoir **s'ancrer plus loin des infrastructures maritimes**. Cette situation pourrait accroître le trajet des barges. En outre, **les tuyaux flottants utilisés pour le déchargement de carburant devront être plus longs ce qui implique des risques plus élevés de déversement**. Par ailleurs, une baisse des niveaux d'eau dans un contexte de connaissances limitées sur la bathymétrie au Nunavik peut accroître les **risques d'échouage**. L'échouement d'un navire couplé aux difficultés pour les services d'urgence de se rendre sur les lieux augmente les **risques de conséquences environnementales et de sécurité de l'équipage** (Seube, 2014).

Il importe de souligner toutefois que le rehaussement du niveau moyen des océans aura un impact minime sur la variation des niveaux d'eau par rapport aux marées existantes en raison du relèvement isostatique observé partout au Nunavik (baie d'Hudson, détroit d'Hudson et baie d'Ungava) (Allard et al, 1989; Hillaire-Marcel, 2005; Aubé-Michaud, 2013).

8. ÉVOLUTION DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES PASSÉES ET FUTURES: DONNÉES DISPONIBLES POUR CHAQUE PARAMÈTRE IDENTIFIÉ

La mobilité, l'efficacité et la sécurité des différentes opérations de transport maritime des différents types de fret et des personnes ainsi que les conditions d'accès aux infrastructures maritimes pour l'approvisionnement des villages nordiques et des sites d'exploitation des ressources naturelles au Nunavik, sont étroitement liées aux conditions climatiques et environnementales. Ces conditions, combinées à l'offre et la demande de transport maritime, sous-tendent la distribution de tous les types de fret au Nunavik. Elles peuvent ou pourraient affecter les opérations et le développement futur des réseaux maritimes vers les villages et les sites miniers du Nunavik incluant le transport de fret et les croisiéristes (Dawson et al, 2014). Les changements climatiques pourraient engendrer d'importantes modifications des conditions climatiques et environnementales dans l'Arctique québécois. Dans ce contexte, pour chaque paramètre et leur seuil limite identifié au chapitre 7, il importe de documenter leur évolution spécifique afin d'évaluer d'abord les risques potentiels et ensuite les vulnérabilités liés aux changements climatiques pour chaque composante du transport maritime au Nunavik dans le but d'identifier les solutions d'adaptation potentielles.

8.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à évaluer l'évolution des changements climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futurs (2017-2040) au Nunavik.

8.2. Méthodologie

La réalisation de l'analyse comporte quatre étapes méthodologiques:

1. Présenter les données et connaissances disponibles sur les conditions climatiques et environnementales en fonction des paramètres retenus;
2. Introduire la méthode d'analyse des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux;
3. Synthétiser l'analyse des conditions climatiques et environnementales en fonction des 1) seuils limites; 2) tendances historiques (1990-2016) et futures (2017-2040); 3) probabilités d'occurrence; et 4) différences saisonnières (été-automne et hiver-printemps) passées et futures;
4. Identifier les sites (villages nordiques et sites miniers) où les paramètres climatiques et environnementaux présentent des seuils limites supérieurs aux seuils limites moyens historiques et futurs.

8.3. Données climatiques et environnementales disponibles

Les données statistiques sur les probabilités d'occurrence historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik ont été estimées sur la base d'inventaire de données et/ou de simulation du climat en fonction de différents scénarios, le tout appuyé par les résultats de travaux scientifiques (**Annexes 1 et 2**).

Les principales sources de données sur les conditions des changements climatiques et environnementaux proviennent de cinq bases de données: 1) base de données météorologiques horaires au Nunavik (BD horaires); 2) base de données météorologiques journalières au Nunavik (BD journalières); 3) base de données sur l'évolution future du climat au Nunavik (BD Scénarios climatiques); 4) base de données sur l'évolution des glaces au Nunavik (BD glaces) et 5) base de données sur les niveaux d'eau (BD Niveaux d'eau). Les détails concernant les bases de données de chaque paramètre climatique et environnemental incluant l'évolution des conditions météorologiques, des conditions de glace, des niveaux d'eau ainsi que les données sur les scénarios climatiques futurs au Nunavik se trouvent à l'**Annexe 1**.

8.4. Méthode d'analyse des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futures (2017-2040)

La méthode pour l'analyse de la probabilité d'occurrence des seuils limites de chaque paramètre climatique et environnemental consiste à associer un indice de probabilité variant de 0 à 7 à différentes plages d'occurrences annuelles. Elles sont évaluées sur une base qualitative (de négligeable/non applicable à certaine) incluant une évaluation quantitative (0 à plus de 90 fois par saison de navigation) correspondant au nombre annuel d'occurrence du seuil limite de chaque paramètre climatique et environnemental (Tableau 35). L'établissement de l'échelle de probabilité d'occurrence a été effectué sur la base d'une revue de la littérature sur les échelles de Likert et de consultations auprès de différents experts incluant des climatologues et des transporteurs maritimes (Péto-Nav du Groupe Desgagnés, Fednav et NEAS). Ainsi, par exemple, le pourcentage d'occurrence d'un événement survenant une fois par année durant la saison de navigation été-automne = $((1/168 \text{ jours}) \times 100 = 0,596\%)$

Pour chaque paramètre climatique et environnemental, l'analyse des données historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) a permis de calculer:

1. La fréquence historique moyenne en termes de pourcentage de jours durant une saison (été-automne et hiver-printemps) ou annuellement le cas échéant, où le seuil limite d'un paramètre climatique ou environnemental est atteint pour la période entre 1990 et 2016;

2. Le niveau d'occurrence historique du seuil limite d'un paramètre climatique ou environnemental au sein de l'échelle de probabilité pour la période entre 1990 et 2016;
3. Le niveau d'occurrence historique du seuil limite d'un paramètre climatique ou environnemental, au sein de l'échelle de probabilité, exprimé en termes de variabilité spatiale entre les villages et sites miniers du Nunavik où les valeurs climatiques historiques enregistrées se situent entre le 10^e et le 90^e percentile (probabilité d'occurrence minimum et maximum du seuil limite) pour la période entre 1990 et 2016;
4. La tendance des changements historiques observés pour la période entre 1990 et 2016 en fonction d'une régression linéaire (lorsque significatif car l'absence de certaines données ne permet pas de définir un niveau de signification statistiquement valable);
5. Les probabilités d'occurrence future des seuils limites en termes de pourcentage de jours durant une saison (été-automne et hiver-printemps) ou annuellement, où un seuil limite est atteint pour la période entre 2017 et 2040 en fonction du calcul de la moyenne de six modèles climatiques;
6. Le niveau d'occurrence future des seuils limites au sein de l'échelle de probabilité pour la période entre 2017 et 2040.

Tableau 35. Niveau des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux

Niveau	Probabilité d'occurrence	Description	Nombre d'occurrences par saison de navigation	Pourcentage d'occurrence durant la saison de navigation été-automne (168 jours) (15 juin au 30 novembre)	Pourcentage d'occurrence durant la saison de navigation hiver-printemps (197 jours) (1 ^{er} décembre au 14 juin)
0	Négligeable/non applicable	L'événement ne s'est jamais produit	0	0%	0%
1	Improbable/très improbable	Événement se produisant moins d'une fois aux 20 ans	plus de 0 à moins de 0,05	0% à 0,0297%	0% à 0,0253%
2	Faible	Événement se produisant entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans	0,05 à 0,1	0,0298% à 0,0595%	0,0254% à 0,0507%
3	Occasionnelle	Événement se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an	Plus de 0,1 à moins de 1	0,0596% à 0,595%	0,0508% à 0,507%
4	Probable	Événement se produisant entre une fois par an et une fois par mois	1 à 6	0,596% à 3,57%	0,508% à 3,04%
5	Très probable	Événement se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours	> 6.1 à 45	3,58% à 26,78%	3,05% à 22,84%
6	Habituelle	Événement se produisant entre une fois aux trois jours et une fois aux deux jours	> 45.1 à 90	26,79% à 53,57%	22,85% à 45,68%
7	Certaine	Événement se produisant entre une fois aux deux jours et chaque jour	Plus de 90	53,58% à 100%	45,69% à 100%

8.5. Synthèse de l'analyse des probabilités d'occurrence historique (1990-2016) et future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux sur l'ensemble du territoire du Nunavik

Les informations détaillées des fréquences historiques (1990-2016) et des probabilités futures (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux figurent à l'**Annexe 2**. Afin de simplifier la présentation de l'analyse de l'évolution historique et future de l'occurrence de 22 paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik, une synthèse des résultats est suggérée.

8.5.1. Température de l'air

Les valeurs actuelles de température de l'air confirment la tendance générale de réchauffement de l'Arctique (Tableau 36). Les températures moyennes tant en été qu'en hiver ont augmenté au cours de la période où les observations réelles ont été enregistrées (1990-2016). Les scénarios climatiques prévoient que cette tendance devrait continuer à l'horizon 2040. Bien que la fréquence d'occurrences de température de l'air >20°C durant les saisons été-automne et hiver-printemps devrait s'accroître, on ne prévoit pas que le changement sera suffisamment élevé pour modifier le niveau des probabilités d'occurrence par saison de navigation: «très probable» durant la saison été-automne et «occasionnelle» durant la saison hiver-printemps. Par ailleurs, les données historiques démontrent que le nombre de jours avec une température <-35°C tend à diminuer et que les scénarios climatiques à l'horizon 2040 prévoient que la hausse des températures se maintiendra.

Les changements sont plus importants eu égard aux deux autres paramètres de la température de l'air : vague de froid (Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours) et variabilité importante de la température (25°C en une journée). Une vague de froid est un événement qui survient durant la saison hivernale. L'analyse des données historiques et futures démontre que les probabilités d'occurrence de vagues de froid devrait diminuer à l'horizon 2040, mais que l'échelle de probabilité devrait varier de «très probable» à «habituelle». Dans le cas de la variabilité importante de la température, les tendances historiques et futures varient en fonction de la saison de navigation. Durant la saison été-automne, la fréquence qui était de 0,0038% pour la période 1990-2016, pourrait atteindre 0,10% à l'horizon 2040. Mais durant la saison hiver-printemps, la fréquence d'occurrence future (2017-2040) (0,05%-0,24%) devrait être similaire à la fréquence d'occurrence de 0,0516% observée durant la période 1990-2016.

Il importe de souligner que dans tous les cas, **les évolutions de la température de l'air tendent à révéler un changement des conditions climatiques, mais que ces changements ne sont pas suffisants pour modifier de façon importante les niveaux des probabilités d'occurrence.**

Tableau 36. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air au Nunavik

	Indicateurs de la température de l'air	Seuil limite	Saison de navigation	Fréquence historique (1990-2016) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité historique (1990-2016) (0 à 7)	Tendance observée (1990-2016) (jours/année)	Probabilité d'occurrence future (2017-2040) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité future (2017-2040) (0 à 7)	Projections à l'horizon 2040
1	Température maximale	> 20°C	Été-automne	7,68%	5	Augmentation	3,04% à 7,10%	5	Augmentation progressive
			Hiver-printemps	0,41%	3	Légère augmentation	0,02% à 0,41%	3	Légère augmentation
2	Température minimale	< -35°C	Été-automne	0,00%	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	2,45%	4	Diminution	0,94% à 6,75%	5	Diminution progressive
3	Vague de froid	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	Été-automne	0,00%	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	20,64%	5	Diminution	11,26% à 31,59%	6	Diminution progressive
4	Variabilité importante de la température	25°C en une journée	Été-automne	0,0038%	1	Non significatif	0,00% à 0,10%	3	Peu de changement
			Hiver-printemps	0,0516%	3	Non significatif	0,05% à 0,24%	3	Peu de changement

8.5.2. Régime de précipitations

Le Nunavik affiche des précipitations liquides et solides (Tableau 37). Les données sur les épisodes de fortes pluies (50 mm / 24 heures) révèlent **une relative stabilité de ces événements météorologiques tant pour les périodes historiques que futures**. Globalement, les fréquences d'occurrences sont relativement faibles et qualifiées «d'improbable». Eu égard aux épisodes de fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours), la probabilité d'occurrence entre la période observée (1990-2016) et celle projetée (2017-2040) pour la saison été-automne devrait changer «d'improbable» à «occasionnelle». Les jours de précipitations très intenses (plus intenses que le 95^e percentile) qui sont qualifiés de «très probables» pour la saison été-automne et «probables» pour la saison hiver-printemps pour la période historique (1990-2016) devraient maintenir leur probabilité d'occurrence à l'horizon 2040 avec une légère augmentation des probabilités d'occurrence pour la saison hiver-printemps. Les jours de précipitations extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) dont l'échelle de probabilité historique (1990-2016) est de 4 (probable) pour la saison été-automne et de 3 (occasionnelle) pour la saison hiver-printemps, devraient connaître une augmentation progressive de leur probabilité d'occurrence pour la période 2017-2040. La fréquence historique des pluies d'hiver (25 mm) en termes de nombre de jours par année était de 0,01% pour la période 1990-2016. Le nombre de jours de pluies d'hiver devrait afficher peu de changement pour la période 2017-2040 alors que les probabilités d'occurrence future devraient varier de 0,01% à 0,09%. Les probabilités d'occurrence historique (1990-2016) des épisodes de fortes neige (25 cm) sont qualifiées «d'improbable» durant la saison été-automne et «d'occasionnelle» pour la saison hiver-printemps. Les scénarios climatiques

prévoient peu de changement à l'horizon 2040. Le nombre d'occurrence se produirait entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans. Les fréquences historiques de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm entre 1990 et 2016. Cette couverture de neige représente une probabilité de 5 (très probable, se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours). Les tendances observées indiquent une diminution de l'accumulation de neige au sol. Les données historiques (1990-2016) indiquent que les épisodes de pluies verglacantes ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) sont occasionnelles au Nunavik. Malheureusement, les modèles climatiques ne sont pas en mesure de simuler les pluies verglacantes ou le niveau d'accumulation de neige au Nunavik sur un horizon de 25 ans.

Tableau 37. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations au Nunavik

	Indicateurs du régime de précipitations	Seuil limite	Saison de navigation	Fréquence historique (1990-2016) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité historique (1990-2016) (0 à 7)	Tendance observée (1990-2016) (jours/année)	Probabilité d'occurrence future (2017-2040) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité future (2017-2040) (0 à 7)	Projections à l'horizon 2040
5	Fortes pluies	50 mm / 24 heures	Été-automne	0,0181%	1	Non significatif	0,00% à 0,06%	1	Peu de changement
			Hiver-printemps	0,0014%	1	Non significatif	0,00% à 0,01%	1	Peu de changement
6	Fortes pluies prolongées	100 mm / 5 jours	Été-automne	0,01%	1	Non significatif	0,00% à 0,12%	3	Peu de changement
			Hiver-printemps	0,00%	0	n.a.	n.a.	n.a.	Peu de changement
7	Précipitations très intenses	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Été-automne	7,22%	5	Augmentation	8,45% à 10,55%	5	Augmentation progressive
			Hiver-printemps	3,01%	4	Augmentation	2,48% à 3,93%	5	Légère augmentation
8	Précipitations extrêmes	Plus intenses que le 99 ^e percentile	Été-automne	1,61%	4	Augmentation	1,67% à 2,69%	4	Augmentation progressive
			Hiver-printemps	0,49%	3	Augmentation	0,30% à 0,64%	4	Peu de changement
9	Pluie d'hiver	25 mm	Hiver-printemps	0,01%	1	Stable	0,01% à 0,09%	3	Peu de changement
10	Proxy de pluie verglaçante	$T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$	Été-automne	0,22%	3	Stable	n.a.	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	0,29%	3	Augmentation	n.a.	n.a.	n.a.
11	Forte neige	25 cm	Été-automne	0,02%	1	Non significatif	0,00% à 0,04%	2	Très peu de changement
			Hiver-printemps	0,06%	3	Augmentation	0,00% à 0,05%	2	Diminution progressive
12	Accumulation de neige au sol	90 cm	Hiver-printemps	4,49%	5	Diminution	n.a.	n.a.	n.a.

8.5.3. Brouillard, vents et tempêtes

L'incidence du brouillard associée à une visibilité maximale en mer de 2 kilomètres affiche une fréquence historique moyenne de 20,06% durant la saison été-automne ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 5 (très probable), soit entre une fois par mois et une fois aux trois jours. La fréquence historique moyenne pour la saison hiver-printemps est pratiquement identique (21,12%). La principale différence entre les saisons concerne la visibilité durant la saison été-automne qui semble demeurer stable alors qu'on observe une légère diminution de la fréquence pour la saison hiver-printemps.

Le brouillard associé à une visibilité maximale en mer de 550 mètres **affiche une faible incidence: 8,84% pour la saison été-automne et 7,59% pour la saison hiver-printemps**. Les tendances les plus récentes divergent avec une augmentation générale durant la saison été-automne, mais un déclin durant la saison hiver-printemps (Tableau 38).

La vitesse du vent a été examinée en appliquant quatre degrés différents sur l'échelle de Beaufort: Force 5 (≥ 29 km/h); Force 6 (≥ 39 km/h); Force 8 (≥ 62 km/h); et Force 10 (≥ 89 km/h). L'analyse des données historiques (1990-2016) démontre une diminution des probabilités d'occurrence des seuils limites en fonction de la force des vents. Ainsi la fréquence des jours qui affichent de forts vents (59,33%) pour la Force 5, diminue à 21,60% jours pour la Force 6, puis à 2,96% jours pour la force 8, et à 0,05% jours pour la Force 10 (tous des relevés été-automne). Il convient de noter que les pourcentages pour la saison hiver-printemps sont pratiquement identiques à ceux de la saison été-automne. La fréquence des jours avec des vents de Force 5 et 6 est un peu moins élevée, alors que la fréquence des jours avec des vents de Force 8 et 10 est légèrement plus élevée. Les différences donnent lieu à un déclin de la fréquence d'occurrences de chaque catégorie de 7 à 5 et de 5 à 2 respectivement. **Globalement, les tendances enregistrées concernant les vitesses de vent sont stables, malgré d'importantes variations annuelles entre les vents de Force 5 durant la saison été-automne et les vents de Force 8 durant la saison hiver-printemps. Les vents de Force 10 peuvent survenir toute l'année.**

Les scénarios climatiques utilisés ne permettent pas de mesurer, sur la base d'une évaluation numérique formelle et détaillée, les probabilités de conditions futures pour le brouillard, le vent et les tempêtes. Mais Ouranos émet l'hypothèse que **les vents ne devraient pas changer de façon significative à l'horizon 2040, à l'exception d'une légère augmentation du nombre de tempêtes** (Savard et al, 2014).

Tableau 38. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes au Nunavik

	Indicateurs du brouillard, des vents et des tempêtes	Seuil limite	Saison de navigation	Fréquence historique (1990-2016) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité historique (1990-2016) (0 à 7)	Tendance observée (1990-2016) (jours/année)	Probabilité d'occurrence future (2017-2040) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité future (2017-2040) (0 à 7)
13	Brouillard léger	Visibilité maximale 2 km	Été-automne	20,06%	5	Stable	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	21,12%	5	Diminution	n.a.	n.a.
14	Brouillard dense	Visibilité maximale 550 m	Été-automne	8,84%	5	Stable	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	7,59%	5	Diminution	n.a.	n.a.
15	Jours de vents	≥ 29 km/h	Été-automne	59,33%	7	Augmentation	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	56,09%	7	Stable	n.a.	n.a.
16	Jours de grands vents	≥ 39 km/h	Été-automne	21,60%	5	Stable	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	21,21%	5	Stable	n.a.	n.a.
17	Jours de très grands vents	≥ 62 km/h	Été-automne	2,96%	4	Diminution	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	3,60%	5	Stable	n.a.	n.a.
18	Tempête	≥ 89 km/h	Été-automne	0,05%	2	Stable	n.a.	n.a.
			Hiver-printemps	0,07%	3	Diminution	n.a.	n.a.

8.5.4. Conditions de glace

Les conditions de glace sont plus difficiles à mesurer que la plupart des autres paramètres climatiques et environnementaux. Les conditions de glace dépendent non seulement de la température mais également du vent, de la marée, des courants océaniques et de la présence de glace des années antérieures. Trois indicateurs sont présentés: la concentration de glace, le nombre de jours englacés et le cycle de gel et dégel (Tableau 39).

L'étendue de la concentration de glace indique que les dates au printemps, lorsque moins de 50% des eaux sont couvertes de glace, demeurent relativement stables durant la période observée (1990-2016). Mais le retour de 50% de la concentration de glace à l'automne tend à être repoussé d'une semaine ou plus. La durée de la saison lorsque la concentration de glace est moins de 50% indique peu de changement dans chacune des différentes zones maritimes. La variation inter-annuelle est importante. Il est important de noter qu'aucune considération n'a été accordée à l'épaisseur de la glace. **Les estimations eu égard aux conditions futures dans la baie d'Hudson prévoient que la saison libre de glace s'allongera de deux mois à l'horizon 2070.**

Les observations historiques (1990-2016) démontrent que la fréquence moyenne des jours englacés ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) au Nunavik est de 23,34% durant la saison de navigation été-automne. Ceci représente une probabilité de 5, très probable. **La tendance historique pointe vers une légère diminution du nombre de jours englacés.** Durant la saison hiver-printemps, la fréquence moyenne des jours englacés au Nunavik est de 80,65%, soit une probabilité de 7, certaine. La tendance historique demeure inchangée. **Les scénarios climatiques prédisent un déclin du nombre de jours englacés durant les saisons été-automne et hiver-printemps à l'horizon 2040. Mais les changements ne sont pas d'une ampleur suffisante pour justifier une modification des niveaux de probabilité d'occurrence.**

Eu égard au cycle de gel et dégel ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$), les tendances historiques tant pour les saisons été-automne et hiver-printemps révèlent une diminution de cette incidence. Les modèles climatiques suggèrent que ces tendances seront essentiellement stables avec une suggestion d'une légère augmentation.

Tableau 39. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace au Nunavik

	Indicateur des conditions de glace	Seuil limite	Saison de navigation	Fréquence historique (1990-2016) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité historique (1990-2016) (0 à 7)	Tendance observée (1990-2016) (jours/année)	Probabilité d'occurrence future (2017-2040) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité future (2017-2040) (0 à 7)	Projections à l'horizon 2040
19	Concentration de glace	Première semaine < 5/10	annuel	Semaine 21 juin	n.a.	Stable	n.a.	n.a.	n.a.
		Première semaine > 5/10	annuel	Semaine 29 novembre	n.a.	Plus tardif	n.a.	n.a.	n.a.
		Nb semaines > 5/10	Été-automne	9,95%	5	Stable	n.a.	n.a.	n.a.
20	Jours englacés	$T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$	Été-automne	23,34%	5	Diminution	17,91 % à 23,97%	5	Diminution progressive
			Hiver-printemps	80,65%	7	Stable	70,32% à 79,06%	7	Peu de changement
21	Gel et dégel	$T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$	Été-automne	9,79%	5	Diminution	12,58% à 19,24%	5	Diminution progressive
			Hiver-printemps	11,07%	5	Stable	14,44% à 18,67%	5	Diminution progressive

8.5.5. Niveaux d'eau

L'analyse des données historiques ne suggère aucun changement significatif dans le cycle ou l'amplitude des marées au Nunavik (Tableau 40). Par ailleurs, il n'existe pas présentement d'éléments de preuve démontrant que le cycle des marées pourrait être affecté par les changements climatiques. L'amplitude moyenne de la marée au Nunavik est de 5,7 mètres et l'amplitude maximum de 13,5 mètres. Les projections de variation du niveau relatif de la mer sur les côtes du Nunavik élaborées par Ouranos (2015) suggèrent que les côtes du Nunavik pourraient être marquées par une baisse de niveau d'eau pouvant atteindre 1,2 mètres à l'horizon 2100.

Tableau 40. Évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres environnementaux des niveaux d'eau au Nunavik

	Indicateur du niveau d'eau	Seuil limite	Saison de navigation	Fréquence historique (1990-2016) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité historique (1990-2016) (0 à 7)	Tendance observée (1990-2016) (jours/année)	Probabilité d'occurrence future (2017-2040) (jours/année) (0% à 100%)	Échelle de probabilité future (2017-2040) (0 à 7)
22	Baisse des niveaux d'eau	0,40 à 13,50 m	Quotidien	n.a.	n.a.	n.a.	- 0,30 à - 1,2 m	n.a.

Les côtes du Nunavik pourraient être affectées par une hausse des niveaux d'eau et des surcotes générées par des tempêtes (vents ≥ 89 km/h). Toutefois, il importe de souligner que les données historiques (1990-2016) démontrent que les journées qui affichent des vents ≥ 89 km/h au Nunavik ont une fréquence historique moyenne de 0,05% durant la saison été-automne. Ce seuil représente une probabilité de 2 (faible). Les jours de tempête se produisent entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans au Nunavik. Les tendances observées pointent vers le maintien du nombre de jours où les vents soufflent à plus de 89 km/h durant l'été et l'automne. On note une fréquence historique moyenne de 0,07% durant la saison hiver-printemps. Ce seuil représente une probabilité de 3 (occasionnelle, entre une fois aux dix ans et une fois par année). En comparant les tempêtes modélisées aux observations disponibles, Savard et al (2014) suggèrent que les changements climatiques pourraient entraîner une hausse moyenne de 2 à 4 du nombre de centres cycloniques au-dessus de la baie d'Hudson à l'horizon 2070.

8.6. Synthèse de l'analyse des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour les villages nordiques et sites miniers au Nunavik

Il est important de reconnaître que l'analyse des paramètres climatiques et environnementaux est fondée sur des données enregistrées et des prévisions futures pour l'ensemble du Nunavik. Bien que l'analyse indique qu'un changement significatif est en cours, la preuve objective repose sur des valeurs moyennes. Il existe des différences dans les fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux entre les villages et les sites miniers au Nunavik. Certains villages et sites miniers affichent des écarts plus importants des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux passés et futurs que la moyenne générale. Les **différences** concernent les fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des **seuils limites** des paramètres climatiques et environnementaux qui se situent **au-dessus de la moyenne** ou à un niveau **inférieur à la moyenne** pour chacun des paramètres climatiques et environnementaux.

8.6.1. Température de l'air

Les résultats sur différents paramètres climatiques en lien avec la température de l'air révèlent un système très complexe et permettent néanmoins de dégager quelques constats:

Fréquences d'occurrence historique (1990-2016)

- Considérant que la latitude est un facteur déterminant de la température de l'air, on se serait attendu à ce que les villages du Nunavik situés dans la partie méridionale de la baie d'Hudson affichent une température maximale ($> 20^{\circ}\text{C}$) au-dessus de la moyenne générale. Ce n'est pas le cas, tel que démontré par les fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison été-automne) pour les villages situés dans la baie d'Ungava et le détroit d'Hudson (Tableau 41). Ces données suggèrent que d'autres facteurs géographiques dont les conditions du site jouent un rôle important.
- Kuujuaq et Kuujuarapik sont les seuls villages qui se démarquent par des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne sur le plan de la variabilité de la température (25°C en une journée) pour les saisons été-automne et hiver-printemps bien qu'ils soient localisés dans différentes parties du Nunavik et occupent des sites géographiques très différents (Tableaux 41 et 42)

- Les villages d'Akulivik, Inukjuak, Kuujjuaq, Kuujjuarapik et Puvirnituk se distinguent par des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne générale eu égard aux températures minimales ($< -35^{\circ}\text{C}$) pour la saison hiver-printemps (Tableau 42).
- Plus de 50% des villages nordiques sont affectés par des fréquences d'occurrence d'épisodes de vagues de froid supérieures à la moyenne générale durant la saison hiver-printemps (Tableau 42).

Probabilités d'occurrence future (2017-2040)

- À l'horizon 2040, ce sont les villages de Kangiqsualujjuaq, Kuujjuaq, Kuujjuarapik, Tasiujaq et Umiujaq qui seraient affectés par des probabilités d'occurrence de températures maximales ($> 20^{\circ}\text{C}$) supérieures à la moyenne durant les saisons été-automne et hiver-printemps (Tableaux 43 et 44).
- Plus de 45% des villages nordiques seront affectés par des probabilités d'occurrence de variations de température (25°C en une journée) supérieures à la moyenne tant pour la saison été-automne que la saison hiver-printemps (Tableaux 43 et 44).
- Les villages d'Ivujivik, Kangiqsujuaq et Salluit ainsi que Baie Déception se démarqueraient avec des probabilités d'occurrence supérieures à la moyenne pour les vagues de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours) durant la saison été-automne (Tableau 43) et plus de 40% des villages et sites miniers seraient affectés par des probabilités d'occurrence de vagues de froid supérieures à la moyenne durant la saison hiver-printemps (Tableau 44).
- Baie Déception afficherait les écarts les plus élevés par rapport à la moyenne en termes de probabilités d'occurrence des températures minimales ($< -35^{\circ}\text{C}$) durant la saison hiver-printemps (Tableau 44).
- Les villages d'Aupaluk, Inukjuak et Quaqtuaq se démarqueraient avec des probabilités d'occurrence inférieures aux moyennes générales pour la température maximale ($> 20^{\circ}\text{C}$), la température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$) et la variabilité importante de la température (25°C en une journée) tant pour la saison été-automne que pour la saison hiver-printemps (Tableaux 43 et 44).

Tableau 41. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs de la température de l'air	Température maximale	Température minimale	Vague de froid	Variabilité importante de la température
Seuil limite	> 20°C	< -35°C	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	25°C en une journée
Moyenne des probabilités d'occurrence	7,68%	0,00%	0,00%	0,004%
Villages nordiques et site minier				
Akulivik	2,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aupaluk	4,07%	0,00%	0,00%	0,00%
Baie Déception	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Inukjuak	3,74%	0,00%	0,00%	0,00%
Ivujivik	1,41%	0,00%	0,00%	0,00%
Kangiqsualujuaq	6,28%	0,00%	0,00%	0,00%
Kangiqsujaq	1,71%	0,00%	0,00%	0,00%
Kangirsuk	2,56%	0,00%	0,00%	0,00%
Kuujuaq	10,73%	0,00%	0,00%	0,02%
Kuujuarapik	11,70%	0,00%	0,00%	0,02%
Puvinituk	5,63%	0,00%	0,00%	0,00%
Quaqtaq	17,25%	0,00%	0,00%	0,00%
Salluit	24,68%	0,00%	0,00%	0,00%
Tasiujaq	7,61%	0,00%	0,00%	0,00%
Umiujaq	8,24%	0,00%	0,00%	0,00%

Tableau 42. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs de la température de l'air	Température maximale	Température minimale	Vague de froid	Variabilité importante de la température
Seuil limite	> 20°C	< -35°C	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	25°C en une journée
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,41%	2,45%	20,64%	0,05%
Villages nordiques et site minier				
Akulivik	0,03%	3,36%	24,36%	0,00%
Aupaluk	0,06%	1,69%	15,94%	0,00%
Baie Déception	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Inukjuak	0,17%	4,91%	31,32%	0,04%
Ivujivik	0,00%	0,47%	22,77%	0,00%
Kangiqsualujuaq	0,30%	0,32%	11,66%	0,02%
Kangiqsujaq	0,02%	0,12%	14,54%	0,02%
Kangirsuk	0,03%	1,97%	21,43%	0,00%
Kuujuaq	0,70%	5,87%	29,42%	0,19%
Kuujuarapik	1,41%	5,12%	24,41%	0,14%
Puvinituk	0,19%	5,45%	29,60%	0,00%
Quaqtaq	0,26%	1,64%	16,30%	0,01%
Salluit	0,86%	1,48%	23,71%	0,00%
Tasiujaq	0,40%	1,54%	15,80%	0,00%
Umiujaq	1,37%	0,38%	7,69%	0,00%

Tableau 43. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques de la température de l'air (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs de la température de l'air	Température maximale	Température minimale	Vague de froid	Variabilité importante de la température
Seuil limite	> 20°C	< -35°C	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	25°C en une journée
Moyenne des probabilités d'occurrence	5,17%	0,00%	0,004%	0,02%
Villages nordiques et site minier				
Akulivik	0,94%	0,00%	0,000%	0,000%
Aupaluk	5,11%	0,00%	0,000%	0,000%
Baie Déception	2,69%	0,00%	0,016%	0,016%
Inukjuak	3,63%	0,00%	0,000%	0,008%
Ivujivik	2,07%	0,00%	0,016%	0,008%
Kangiqsualujuaq	8,21%	0,00%	0,000%	0,033%
Kangiqsujaq	1,11%	0,00%	0,012%	0,000%
Kangirsuk	3,60%	0,00%	0,000%	0,049%
Kuujuaq	13,09%	0,00%	0,000%	0,033%
Kuujuarapik	11,60%	0,00%	0,000%	0,004%
Puvirnituq	3,67%	0,00%	0,000%	0,008%
Quaqtaq	0,17%	0,00%	0,000%	0,000%
Salluit	2,50%	0,00%	0,016%	0,025%
Tasiujaq	8,46%	0,00%	0,000%	0,086%
Umiujaq	10,76%	0,00%	0,000%	0,037%

Tableau 44. Probabilité d'occurrence future (2017-2040) des paramètres climatiques de la température de l'air (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs de la température de l'air	Température maximale	Température minimale	Vague de froid	Variabilité importante de la température
Seul limite	> 20°C	< -35°C	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	25°C en une journée
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,14%	2,57%	18,24%	0,13%
Villages nordiques et site minier				
Akulivik	0,00%	1,84%	19,81%	0,02%
Aupaluk	0,09%	1,35%	14,99%	0,10%
Baie Déception	0,02%	4,06%	23,00%	0,08%
Inukjuak	0,03%	2,20%	17,15%	0,07%
Ivujivik	0,00%	4,01%	22,42%	0,04%
Kangiqsualujuaq	0,18%	2,40%	13,97%	0,34%
Kangiqsujaq	0,00%	1,78%	20,58%	0,05%
Kangirsuk	0,05%	2,53%	18,27%	0,22%
Kuujuaq	0,44%	3,12%	17,41%	0,31%
Kuujuarapik	0,59%	1,85%	13,67%	0,19%
Puvirnituq	0,02%	3,31%	20,22%	0,07%
Quaqtaq	0,00%	1,39%	17,41%	0,02%
Salluit	0,01%	3,73%	22,97%	0,05%
Tasiujaq	0,21%	2,34%	16,88%	0,21%
Umiujaq	0,47%	2,63%	14,79%	0,18%

8.6.2. Régime de précipitations

Fréquences d'occurrence historique (1990-2016)

- Les villages d'Ivujivik, Kangiqsualujjuaq, Kangirsuk, Kuujjuarapik, Puvirnituk et Umiujaq présentent des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les épisodes de fortes pluies (50 mm / 24 heures) pour la saison été-automne (Tableau 45).
- Seuls les villages de Kuujjuarapik et Umiujaq affichent des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les épisodes de pluies prolongées (100 mm / 5 jours) pour la saison été-automne (Tableau 45).
- Les villages d'Aupaluk, Kangiqsualujjuaq, Kangirsuk, Kuujjuarapik et Umiujaq sont affectés par des fréquences d'occurrence de précipitations très intenses (plus intenses que le 95^e percentile) et de précipitations extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) supérieures à la moyenne pour la saison été-automne (Tableau 45).
- Les villages de Kuujjuarapik, Kuujjuarapik, Puvirnituk et Quaqtaq sont affectés par des fréquences d'occurrence d'épisodes de pluies verglaçantes ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) supérieures à la moyenne pour la saison été-automne (Tableau 45). Seulement 30% des villages sont affectés par des fréquences d'occurrence d'épisodes de pluies verglaçantes durant la saison hiver-printemps (Tableau 46).
- Six villages et Baie Déception sont affectés par des fréquences d'occurrence d'épisodes de fortes neiges (25 cm) durant la saison été-automne (Tableau 45).
- Durant la saison hiver-printemps, environ 40% des villages du Nunavik sont affectés par des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les précipitations très intenses (plus intenses que le 95^e percentile) (Tableau 46).
- Ce sont les villages de Kangiqsualujjuaq, Kangirsuk, Kuujjuarapik et Kuujjuarapik qui sont affectés par des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les précipitations extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) durant la saison hiver-printemps (Tableau 46).
- Les villages de Kangiqsualujjuaq, Kuujjuarapik, Kuujjuarapik, Quaqtaq et Tasiujaq affichent des fréquences d'occurrence pour les épisodes de pluies d'hiver (25 mm) supérieures à la moyenne (Tableau 46).

- Les fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne d'épisodes de fortes neiges durant la saison hiver-printemps se situent essentiellement à Kangiqsualujjuaq, Kuujjuaq et Quaqtaq (Tableau 46).

Probabilités d'occurrence future (2017-2040)

- Aucun contraste géographique marquant entre les différentes façades maritimes du Nunavik ne semble se dessiner pour chacun des indicateurs du régime de précipitations (Tableaux 47 et 48).
- Ivujivik et Puvirnituk sont les seuls villages qui présentent des probabilités d'occurrence inférieures à la moyenne pour tous les types de précipitations toute l'année (Tableaux 47 et 48).
- À l'horizon 2040, six villages nordiques ainsi que Baie Déception seront affectés par des probabilités d'occurrence de fortes pluies (50 mm / 24 heures) et pluies prolongées (100 mm / 5 jours) supérieures à la moyenne durant la saison été-automne (Tableau 47).
- Les villages de Kangiqsualujjuaq, Kuujjuarapik et Umiujaq seront affectés par des probabilités d'occurrence supérieures à la moyenne pour les précipitations très intenses (plus intenses que le 95^e percentile) et les précipitations extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) durant la saison été-automne (Tableau 47).
- A l'horizon 2040, le site minier de Baie Déception et les villages de Kangiqsualujjuaq, Kangiqsujaq, Quataq et Salluit seront marqués par des probabilités d'occurrence d'épisodes de forte neige (25 cm) supérieures à la moyenne durant la saison été-automne (Tableau 47).
- Environ 60% des villages seront affectés par des probabilités d'occurrence de précipitations extrêmes (plus intenses que le 99^e percentile) supérieures à la moyenne durant la saison hiver-printemps à l'horizon 2040 (Tableau 48).
- Environ 30% des villages et sites miniers seront affectés par des probabilités d'occurrence d'épisodes de fortes neiges (25 cm) supérieures à la moyenne durant la saison été-automne et hiver-printemps (Tableaux 47 et 48).
- Seuls les villages de Kuujjuarapik et Umiujaq seront affectés par des probabilités d'occurrence supérieures à la moyenne pour les pluies d'hiver (25 mm) à l'horizon 2040 (Tableau 48).

Tableau 45. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateur du régime de précipitations	Fortes pluies	Pluies prolongées	Précipitations très intenses	Précipitations Extrêmes	Proxy de pluies verglaçantes	Fortes neiges
Seuil limite	50 mm / 24 heures	100 mm / 5 jours	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Plus intenses que le 99 ^e percentile	Tmin < 0°C et Tmax > 0°C	25 cm
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,018%	0,01%	7,22%	1,61%	0,22%	0,017%
Villages nordiques et site minier						
Akulivik	0,00%	0,00%	5,20%	0,72%	0,22%	0,000%
Aupaluk	0,00%	0,00%	8,33%	1,76%	0,10%	0,024%
Baie Déception	0,00%	0,00%	4,94%	0,79%	S.D.	0,024%
Inukjuak	0,00%	0,00%	7,98%	1,36%	0,18%	0,012%
Ivujivik	0,04%	0,00%	5,72%	0,96%	0,09%	0,000%
Kangiqsualujuaq	0,06%	0,00%	10,32%	3,03%	0,16%	0,047%
Kangiqsujuaq	0,02%	0,00%	6,52%	1,57%	0,20%	0,000%
Kangirsuk	0,00%	0,00%	7,36%	1,83%	0,12%	0,024%
Kuujuaq	0,01%	0,00%	8,94%	1,93%	0,29%	0,047%
Kuujuarapik	0,07%	0,06%	11,83%	3,67%	0,31%	0,024%
Puvirnituq	0,02%	0,00%	6,39%	1,29%	0,40%	0,000%
Quaqtaq	0,00%	0,00%	3,76%	0,43%	0,26%	0,000%
Salluit	0,00%	0,00%	5,01%	0,72%	0,16%	0,036%
Tasiujaq	0,00%	0,00%	8,86%	1,59%	0,15%	0,012%
Umiujaq	0,05%	0,06%	10,78%	2,47%	0,12%	0,000%

Tableau 46. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs du régime de précipitations	Fortes pluies	Pluies prolongées	Précipitations très intenses	Précipitations Extrêmes	Pluies d'hiver	Proxy de pluies verglaçantes	Fortes neiges	Accumulation de neige au sol
Seuil limite	50 mm / 24 heures	100 mm / 5 jours	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Plus intenses que le 99 ^e percentile	25 mm	Tmin < 0°C et Tmax > 0°C	25 cm	90 cm
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,001%	0,00%	3,01%	0,49%	0,01%	0,29%	0,06%	4,49%
Villages nordiques et site minier								
Akulivik	0,00%	0,00%	1,77%	0,23%	0,00%	0,12%	0,03%	S.D.
Aupaluk	0,00%	0,00%	3,17%	0,42%	0,01%	0,29%	0,04%	S.D.
Baie Déception	0,00%	0,00%	2,42%	0,40%	0,00%	S.D.	0,02%	S.D.
Inukjuak	0,00%	0,00%	2,19%	0,21%	0,00%	0,35%	0,03%	3,46%
Ivujivik	0,00%	0,00%	2,35%	0,36%	0,01%	0,17%	0,02%	S.D.
Kangiqsualujuaq	0,01%	0,00%	5,79%	1,41%	0,02%	0,00%	0,23%	S.D.
Kangiqsujuaq	0,00%	0,00%	2,65%	0,39%	0,00%	0,23%	0,04%	S.D.
Kangirsuk	0,00%	0,00%	2,91%	0,53%	0,00%	0,27%	0,03%	S.D.
Kuujuaq	0,01%	0,00%	4,40%	0,87%	0,04%	0,47%	0,12%	2,36%
Kuujuarapik	0,00%	0,00%	3,78%	0,63%	0,02%	0,42%	0,04%	2,10%
Puvirnituq	0,00%	0,00%	2,14%	0,26%	0,00%	0,42%	0,02%	S.D.
Quaqtaq	0,00%	0,00%	2,33%	0,43%	0,02%	0,27%	0,07%	10,08%
Salluit	0,00%	0,00%	2,59%	0,32%	0,00%	0,09%	0,04%	S.D.
Tasiujaq	0,00%	0,00%	3,60%	0,40%	0,02%	0,18%	0,03%	S.D.
Umiujaq	0,00%	0,00%	3,05%	0,48%	0,01%	0,21%	0,05%	S.D.

Tableau 47. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs du régime de précipitations	Fortes pluies	Pluies prolongées	Précipitations très intenses	Précipitations Extrêmes	Forte neige
Seuil limite	50 mm / 24 heures	100 mm / 5 jours	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Plus intenses que le 99 ^e percentile	25 cm
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,0271%	0,03%	9,80%	2,27%	0,010%
Villages nordiques et site minier					
Akulivik	0,03%	0,02%	7,25%	1,75%	0,004%
Aupaluk	0,02%	0,00%	7,40%	1,97%	0,008%
Baie Déception	0,03%	0,02%	7,20%	1,88%	0,021%
Inukjuak	0,03%	0,07%	8,86%	2,17%	0,008%
Ivujivik	0,02%	0,00%	7,70%	1,77%	0,004%
Kangiqsualuujuaq	0,01%	0,07%	12,75%	3,20%	0,021%
Kangiqsujuaq	0,04%	0,06%	8,04%	2,52%	0,033%
Kangirsuk	0,02%	0,00%	7,35%	2,10%	0,008%
Kuujuaq	0,04%	0,05%	8,58%	2,23%	0,008%
Kuujuarapik	0,07%	0,03%	12,27%	3,32%	0,000%
Puvirnituq	0,01%	0,02%	8,01%	2,07%	0,000%
Quaqtaq	0,02%	0,02%	7,22%	2,13%	0,012%
Salluit	0,02%	0,05%	7,07%	1,75%	0,012%
Tasiujaq	0,01%	0,02%	7,97%	1,99%	0,008%
Umiujaq	0,04%	0,05%	11,96%	3,16%	0,004%

Tableau 48. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques du régime de précipitations (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateur du régime de précipitations	Fortes pluies	Pluies prolongées	Précipitations très intenses	Précipitations Extrêmes	Pluies d'hiver	Forte neige
Seuil limite	50 mm / 24 heures	100 mm / 5 jours	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Plus intenses que le 99 ^e percentile	25 mm	25 cm
Moyenne des probabilités d'occurrence	0,002%	0%	3,23%	0,47%	0,04%	0,015%
Villages nordiques et site minier						
Akulivik	0,000%	0,00%	1,92%	0,30%	0,03%	0,007%
Aupaluk	0,003%	0,00%	2,91%	0,48%	0,02%	0,018%
Baie Déception	0,000%	0,00%	1,82%	0,27%	0,02%	0,011%
Inukjuak	0,007%	0,00%	2,53%	0,40%	0,03%	0,000%
Ivujivik	0,000%	0,00%	1,79%	0,29%	0,01%	0,000%
Kangiqsualuujuaq	0,000%	0,00%	4,58%	0,71%	0,03%	0,021%
Kangiqsujuaq	0,000%	0,00%	3,21%	0,67%	0,01%	0,035%
Kangirsuk	0,003%	0,00%	2,78%	0,44%	0,02%	0,014%
Kuujuaq	0,003%	0,00%	3,35%	0,57%	0,03%	0,035%
Kuujuarapik	0,007%	0,00%	4,06%	0,70%	0,08%	0,011%
Puvirnituq	0,000%	0,00%	2,11%	0,33%	0,02%	0,011%
Quaqtaq	0,000%	0,00%	3,17%	0,50%	0,00%	0,028%
Salluit	0,000%	0,00%	1,76%	0,28%	0,02%	0,014%
Tasiujaq	0,000%	0,00%	3,02%	0,48%	0,03%	0,004%
Umiujaq	0,000%	0,00%	3,72%	0,68%	0,07%	0,011%

8.6.3. Brouillard, vents et tempêtes

Fréquences d'occurrence historique (1990-2016)

- Les villages d'Inukjuak, Kangiqsujaq, Kangirsuk, Kuujuarapik et Quaqtaq affichent des fréquences d'occurrence d'épisodes de brouillard dense (visibilité maximale 550 m) supérieures à la moyenne d'épisodes pour les saisons été-automne et hiver-printemps (Tableaux 49 et 50).
- Trois villages du Nunavik (Kangiqsujaq, Quaqtaq et Tasiujaq) présentent des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les jours de vent (≥ 29 km/h), jours de grands vents (≥ 39 km/h) et jours de très grands vents (≥ 62 km/h) durant toutes les saisons de navigation (Tableaux 49 et 50).
- Les villages de Kangiqsujaq, Quaqtaq et Umiujaq présentent des fréquences d'occurrence supérieures à la moyenne pour les jours de tempête (vent ≥ 89 km/h) durant la saison de navigation été-automne (Tableau 49). Durant la saison hiver-printemps, ce sont les villages de Kangiqsujaq, Kangirsuk, Quaqtaq et Umiujaq qui affichent des fréquences d'occurrence de jours de tempête supérieures à la moyenne.

Tableau 49. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs du brouillard, des vents et des tempêtes	Jours de brouillard léger	Jours de brouillard dense	Jours de vent	Jours de grand vent	Jours de très grand vent	Jours de tempête
Seuil limite	Visibilité maximale 2 km	Visibilité maximale 550 m	≥ 29 km/h	≥ 39 km/h	≥ 62 km/h	≥ 89 km/h
Moyenne des probabilités d'occurrence	20,06%	8,84%	59,33%	21,60%	2,96%	0,05%
Villages nordiques et site minier						
Akulivik	16,86%	2,15%	66,27%	22,50%	1,77%	0,00%
Aupaluk	10,77%	4,53%	60,45%	17,30%	1,06%	0,00%
Baie Déception	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Inukjuak	31,48%	14,75%	65,60%	30,12%	2,17%	0,03%
Ivujivik	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Kangiqsuajuaq	13,02%	5,15%	24,77%	5,22%	0,31%	0,00%
Kangiqsujaq	19,15%	10,96%	61,20%	26,20%	4,60%	0,15%
Kangirsuk	19,00%	10,83%	63,80%	12,85%	1,38%	0,03%
Kuujuaq	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Kuujuarapik	34,33%	14,27%	56,75%	21,14%	1,10%	0,01%
Puvinituk	19,68%	7,75%	66,34%	28,32%	2,46%	0,05%
Quaqtaq	26,61%	12,74%	62,00%	28,92%	9,45%	0,10%
Salluit	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Tasiujaq	6,27%	0,74%	61,45%	23,71%	5,40%	0,00%
Umiujaq	25,87%	12,17%	63,99%	21,29%	2,87%	0,18%

Tableau 50. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres climatiques du brouillard, des vents et des tempêtes (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs du brouillard, des vents et des tempêtes	Jours de brouillard léger	Jours de brouillard dense	Jours de vent	Jours de grand vent	Jours de très grand vent	Jours de tempête
Seuil limite	Visibilité maximale 2 km	Visibilité maximale 550 m	≥ 29 km/h	≥ 39 km/h	≥ 62 km/h	≥ 89 km/h
Moyenne des probabilités d'occurrence	21,12%	7,59%	56,09%	21,21%	3,60%	0,07%
Villages nordiques et site minier						
Akulivik	16,65%	3,04%	60,50%	21,59%	1,34%	0,00%
Aupaluk	15,49%	5,36%	53,65%	15,04%	1,27%	0,00%
Baie Déception	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Inukjuak	33,73%	14,11%	59,59%	28,02%	2,33%	0,05%
Ivujivik	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Kangiqsualuujuaq	16,95%	6,98%	28,65%	5,57%	0,29%	0,03%
Kangiqsujuaq	15,66%	8,18%	56,92%	25,20%	5,22%	0,18%
Kangirsuk	21,32%	9,22%	64,93%	16,95%	2,26%	0,08%
Kuujuaq	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Kuujuarapik	31,67%	11,00%	49,47%	16,08%	0,58%	0,00%
Puvirnituk	26,41%	9,50%	52,91%	22,77%	1,78%	0,00%
Quaqtaq	22,17%	9,22%	57,17%	24,73%	7,30%	0,10%
Salluit	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.	S.D.
Tasiujaq	15,03%	2,81%	69,59%	31,79%	11,76%	0,06%
Umiujaq	22,36%	6,37%	63,55%	25,59%	5,46%	0,24%

8.6.4. Conditions de glace

Fréquences d'occurrence historique (1990-2016)

- Les **conditions de glace** révèlent une situation particulièrement intéressante eu égard au bris des glaces au printemps et à la formation de glace à l'automne. Certains des villages nordiques qui connaissent la débâcle de glace la plus tardive sont situés soit sur le détroit d'Hudson, soit à l'extrême nord-est de la côte de la baie d'Hudson. Certains villages du Nunavik affichent une plus longue présence de glace.
- Six villages (Akulivik, Ivujivik, Kangiqsujuaq, Puvirnituk, Quaqtaq et Salluit) ainsi que Baie Déception présentent une fréquence d'occurrence supérieure à la moyenne générale d'une première semaine avec une concentration totale de glace inférieure à 5/10. Cette semaine si situant entre le 28 juin et le 11 juillet (Tableaux 51 et 52).
- Les villages qui affichent une fréquence d'occurrence supérieure à la moyenne générale de **premières prises de glace à l'automne** incluent les villages d'Inukjuak, Ivujivik, Kangiqsujuaq, Kuujuarapik, Quaqtaq et Umiujaq (Tableaux 51 et 52). Les données historiques démontrent que la première semaine de concentration de glace supérieure à 5/10 se situe autour du 22 novembre.

- Le nombre de semaines où **la couverture de glace est supérieure à 50%** s'est très peu modifié depuis 1990, mais il existe des différences entre les villages et sites miniers. Les villages d'Akulivik, Aupaluk, Ivujivik, Kangiqsujaq, Puvirnituk, Quaqtaq, Salluit ainsi que Baie Déception continuent de présenter des périodes de 3 à 4 semaines de concentration de glace supérieure à 5/10 durant la saison été-automne (Tableau 51).
- Eu égard aux **cycles de gel et de dégel** ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$), il existe peu d'éléments de preuve d'une relation en raison de la situation côtière des villages. Il semble plutôt qu'il y aurait une relation possible avec la latitude puisque les villages d'Inukjuak, Kuujuaq et Kuujuarapik présentent des fréquences d'occurrence de cycle de gel et dégel supérieures à la moyenne pour les saisons été-automne et hiver-printemps. Ces villages sont situés dans la partie la plus méridionale du Nunavik entre le 55^e et 58^e parallèle nord.
- L'analyse des **jours englacés** ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) révèle que plus de 40% des villages nordiques affichent une fréquence d'occurrence de jours englacés supérieure à la moyenne toute l'année. Baie Déception présente les écarts les plus élevés par rapport à la moyenne en termes de fréquence d'occurrence de jours englacés tant pour la saison été-automne que la saison hiver-printemps (Tableaux 51 et 52).

Tableau 51. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison été-automne) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs des conditions de glace	Première semaine avec glace de moins de 5/10 de concentration	Première semaine avec glace de plus de 5/10 de concentration	Nombre de semaines avec glace de plus de 5/10 de concentration	Cycle de gel et de dégel	Jours englacés
Seuil limite	Première semaine < 5/10	Première semaine > 5/10	Nb semaines > 5/10	$T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$	$T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$
Moyenne des probabilités d'occurrence	25,05	47,88	2,39	9,79%	23,34%
Villages nordiques et site minier					
Akulivik	26,63	47,59	3,11	6,60%	23,41%
Aupaluk	24,89	46,81	2,44	7,68%	21,17%
Baie Déception	25,48	47,37	3,00	S.D.	30,77%
Inukjuak	24,81	48,93	1,26	12,10%	19,30%
Ivujivik	25,11	48,00	2,85	6,26%	27,56%
Kangiqsualujuaq	23,48	47,56	0,93	8,60%	22,30%
Kangiqsujaq	27,04	47,89	3,59	6,60%	28,58%
Kangirsuk	24,52	47,41	2,19	6,70%	24,40%
Kuujuaq	21,74	46,78	1,07	15,09%	19,99%
Kuujuarapik	24,11	48,96	1,44	12,63%	14,97%
Puvirnituk	26,93	46,81	3,67	8,73%	23,14%
Quaqtaq	27,19	48,00	4,04	8,20%	26,43%
Salluit	25,67	47,74	3,00	7,91%	30,17%
Tasiujaq	24,74	47,41	1,93	7,38%	20,95%
Umiujaq	23,37	49,30	1,30	6,49%	16,92%

Tableau 52. Fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Indicateurs des conditions de glace	Première semaine avec glace de moins de 5/10 de concentration	Première semaine avec glace de plus de 5/10 de concentration	Nombre de semaines avec glace de plus de 5/10 de concentration	Cycle de gel et de dégel	Jours englacés
Seuil limite	Première semaine < 5/10	Première semaine > 5/10	Nb semaines > 5/10	Tmax > 0°C et Tmin < 0°C	Tmax < 0°C
Moyenne des probabilités d'occurrence	25,05	47,88	2,39	11,07%	80,65%
Villages nordiques et site minier					
Akulivik	26,63	47,59	3,11	5,84%	83,42%
Aupaluk	24,89	46,81	2,44	7,55%	77,37%
Baie Déception	25,48	47,37	3,00	S.D.	88,39%
Inukjuak	24,81	48,93	1,26	13,20%	78,74%
Ivujivik	25,11	48,00	2,85	6,38%	86,26%
Kangiqsualuujuaq	23,48	47,56	0,93	9,19%	76,46%
Kangiqsujaq	27,04	47,89	3,59	6,67%	86,43%
Kangirsuk	24,52	47,41	2,19	7,52%	82,21%
Kuujuaq	21,74	46,78	1,07	16,90%	74,40%
Kuujuarapik	24,11	48,96	1,44	18,91%	71,17%
Puvinituk	26,93	46,81	3,67	8,26%	83,26%
Quaqtaq	27,19	48,00	4,04	8,46%	83,55%
Salluit	25,67	47,74	3,00	6,02%	88,18%
Tasiujaq	24,74	47,41	1,93	7,78%	76,43%
Umiujaq	23,37	49,30	1,30	8,91%	73,48%

Probabilités d'occurrence future (2017-2040)

- À l'horizon 2040, environ 60% des villages nordiques auront des probabilités d'occurrence de **cycles de gel et de dégel** (Tmax > 0°C et Tmin < 0°C) supérieures à la moyenne générale pour les saisons été-automne et hiver-printemps (Tableau 53).
- Baie Déception afficherait des probabilités d'occurrence de **cycles de gel et de dégel** (Tmax > 0°C et Tmin < 0°C) inférieures à la moyenne générale pour les saisons été-automne et hiver-printemps (Tableau 53).
- Tous les villages nordiques et Baie Déception situés au nord du 60^e parallèle nord afficheront une probabilité d'occurrence de **jours englacés** (Tmax < 0°C) supérieure à la moyenne durant la saison hiver-printemps (Tableau 53).

Tableau 53. Probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres environnementaux des conditions de glace (saison été-automne et hiver-printemps) des villages et sites miniers du Nunavik

Saison de navigation	Saison été-automne		Saison hiver-printemps	
Indicateurs des conditions de glace	Cycle de gel et de dégel	Jours englacés	Cycle de gel et de dégel	Jours englacés
Seuil limite	$T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$	$T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$	$T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$	$T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$
Moyenne des probabilités d'occurrence	16,02%	20,88%	16,50%	75,98%
Villages nordiques et site minier				
Akulivik	16,81%	20,66%	16,28%	78,08%
Aupaluk	16,42%	18,39%	18,70%	72,23%
Baie Déception	15,65%	28,65%	10,82%	84,44%
Inukjuak	15,79%	16,60%	18,34%	74,01%
Ivujivik	16,97%	25,34%	12,13%	83,28%
Kangiqsualujuaq	17,94%	20,21%	19,41%	70,20%
Kangiqsujaq	17,01%	26,35%	13,78%	82,79%
Kangirsuk	17,64%	21,73%	17,31%	75,85%
Kuujuaq	16,70%	17,35%	19,13%	69,25%
Kuujuarapik	14,33%	12,73%	22,06%	66,81%
Puvirnituq	15,50%	20,33%	14,79%	78,27%
Quaqtaq	12,48%	24,64%	15,43%	80,24%
Salluit	15,96%	28,25%	10,87%	84,62%
Tasiujaq	16,07%	17,68%	18,35%	70,39%
Umiujaq	14,99%	14,26%	20,08%	69,31%

8.6.5. Bilan

L'analyse des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour les villages nordiques et sites miniers au Nunavik témoigne que chaque village et site minier affiche des caractéristiques différentes. Néanmoins, l'évolution des paramètres climatiques et environnementaux semble confirmer que le Nunavik est confronté à une nouvelle réalité climatique. Il importe de souligner qu'il n'y a pas évidemment une explication commune à tous ces changements ou différences climatiques. On peut évoquer pêle-mêle les conditions de localisation, les effets corélés des paramètres climatiques, l'emballement des températures, la diminution de la taille des glaciers plus vite que prévu, la dynamique erratique de certains courants marins, le rythme inouï de certains phénomènes météorologiques extrêmes.

9. ANALYSE DE RISQUES DES COMPOSANTES DU TRANSPORT MARITIME ET DE L'ACCÈS MARITIME AU NUNAVIK DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX À L'HORIZON 2040

L'analyse précédente a permis d'évaluer les fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et les probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik.

9.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à réaliser une analyse de risques en fonction des seuils limites établis pour les 22 paramètres climatiques et environnementaux qui peuvent contraindre le transport maritime au Nunavik à l'horizon 2040.

9.2. Méthodologie

L'analyse de risque comporte trois étapes méthodologiques:

1. Présenter la méthode d'analyse de risques des paramètres climatiques et environnementaux sur les composantes du transport maritime pour les villages nordiques et sites miniers du Nunavik (**Section 7.4**);
2. Présenter les indicateurs d'accessibilité retenus pour le transport maritime au Nunavik afin de mesurer les impacts des changements climatiques et environnementaux sur les composantes du transport maritime;
3. Évaluer les risques du transport maritime aux changements climatiques au Nunavik.

9.3. Processus d'analyse de risques des composantes du transport maritime au Nunavik en fonction des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futurs (2017-2040)

Le risque désigne la probabilité ou possibilité qu'un événement exerce un impact généralement calculé par rapport à l'ampleur de l'exposition.

Il existe une littérature émergente sur les changements climatiques en lien avec les infrastructures maritimes ou portuaires (Thornes et al, 2012; Ryley & Chapman, 2012; Ng et al, 2013). Plusieurs modèles d'évaluation du risque pour les infrastructures des changements climatiques sont également disponibles (Burgess et al, 2016). Mais aucun de ces modèles n'aborde les enjeux de cette étude: le transport et la desserte maritime.

Nous avons donc dû mettre au point une méthodologie à cette fin. Certains éléments de cette méthodologie se retrouvent dans d'autres méthodes ou modèles, bien que ceux-ci ne soient pas applicables au sujet de l'étude sur la desserte maritime au Nunavik. Ces méthodes incluent les modèles d'évaluation des ports et systèmes de transport maritime aux changements climatiques (Nurse-Bray et al, 2013; Berle et al, 2011), les modèles quantitatifs d'évaluation des infrastructures aux changements climatiques (ATSE, 2008; McEvoy et al, 2013; Protocole CVIIP d'Ingénieurs Canada, 2016), les modèles qualitatifs d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur la chaîne de transport maritime (Cahoon et al, 2016; Stenek et al, 2016) et les méthodes d'analyse de risque des infrastructures portuaires aux catastrophes naturelles (Pitikalas et al, 2007; Lam & Lassa, 2017; Yang et al, 2016).

Dans le cadre de la présente étude, le processus d'analyse et de quantification des risques consiste à évaluer le degré de risque (R) pour chaque interaction entre une composante du transport maritime et un paramètre climatique et environnemental au Nunavik.

Le degré de risque (R) est la probabilité d'occurrence d'un événement climatique ou environnemental (P) multipliée à la gravité des conséquences sur les composantes du transport maritime (G). Plus précisément $R = P * G$.

Les probabilités d'occurrence (P) historique (1990-2016) et future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux sont déterminées en fonction des fréquences d'occurrence historique et des probabilités d'occurrence future (**Chapitre 8**).

La gravité des conséquences (G) repose sur un indice de gravité variant de 0 (aucun/non applicable) à 7 (perte de ressources aux conséquences extrêmes, catastrophiques et permanentes) qui est mesuré en fonction de six indicateurs d'accessibilité pour le transport maritime du Nunavik (Tableau 54).

1. Desserte et accès aux infrastructures maritimes;
2. État du navire et de ses équipements;
3. État de la marchandise;
4. Sécurité du personnel;
5. Environnement;
6. Temps de transport.

Ces indicateurs d'accessibilité ont été sélectionnés à partir de différentes considérations relatives aux standards de performance du transport maritime (Cariou, 2008; Comtois et Slack, 2009; Transport Canada, 2012; Brooks, 2016).

1. **La desserte et l'accès aux infrastructures maritimes.** Cet indicateur réfère à la facilité de circulation des navires incluant les conditions et les dangers de navigation à proximité des littoraux et entre les villages et les

sites miniers au Nunavik ainsi que la qualité d'utilisation sûre, sans danger et efficace des installations d'amarrage, de quayage et de transfert de la marchandise dans les villages et sites miniers au Nunavik.

2. **L'état du navire et de ses équipements.** Cet indicateur s'applique aux conditions de navigabilité du navire incluant la structure du navire, des machines, des instruments de communication, des équipements et de l'outillage de chargement/déchargement lors des opérations de desserte et de transport maritime au Nunavik.
3. **L'état de la marchandise.** Cet indicateur concerne l'état et le conditionnement apparent des biens et de l'emballage, des conteneurs, du nombre de colis de marchandises générales, de l'état et du volume de marchandises liquides et solides en vrac, de l'état des marchandises dangereuses lors du chargement par le transporteur maritime, du transport en mer et au moment de la livraison au Nunavik.
4. **La sécurité du personnel.** Cet indicateur s'adresse à la sécurité des membres de l'équipage à bord du navire et des manutentionnaires dans la réalisation des tâches et fonctions nécessaires pendant le voyage en mer, l'opération des machines, la manutention des équipements et lors des activités de transbordement de marchandises générales, liquides et solides en vrac, dangereuses et de conteneurs incluant des services de secourisme et de premiers soins médicaux dans les villages et sites miniers au Nunavik.
5. **L'environnement.** Cet indicateur réfère à l'environnement naturel du Nunavik (air, eau, sol et biodiversité) et l'ensemble des interactions et interdépendances qui s'y déploient incluant les conséquences des incidents de pollution sur l'environnement terrestre et marin provenant des navires lors du transport en mer, au mouillage et lors de la manutention des marchandises générales, liquides et solides en vrac, dangereuses et de conteneurs.
6. **Le temps de transport.** Cet indicateur réfère à la durée où se déroule les différentes activités de desserte maritime incluant le temps nécessaire aux transporteurs pour atteindre les villages et sites miniers au Nunavik, le temps de mouillage, d'amarrage, de quayage et des opérations de chargement/déchargement de marchandises générales, liquides et solides en vrac, dangereuses et de conteneurs. Cet indicateur inclut également le temps de déchargement sur les barges et le transport jusqu'à l'infrastructure maritime des villages nordiques

Tableau 54. Niveau de gravité des conséquences par indicateur d'accessibilité maritime pour le Nunavik

Indicateur d'accessibilité		La desserte et l'accès aux infrastructures maritimes	L'état du navire et de ses équipements	L'état de la marchandise	La sécurité du personnel	L'environnement	Le temps de transport
Niveau de gravité							
0	Aucun	Non applicable	Non applicable	Non applicable	Non applicable	Non applicable	Non applicable
1	Très faible/peu probable/rare	Aucune interruption des opérations de navigation et des activités d'ancrage ou d'accostage	Aucune interruption des principales opérations du navire ou des activités de chargement/déchargement	Aucun impact significatif	Possible exposition du personnel à des blessures	Possible dommage mineur à l'environnement	Possible délais temporaire d'une activité
2	Faible/rare/limitée	Ralentissement des opérations de navigation et des activités d'ancrage ou d'accostage	Brève interruption d'une opération de transbordement	Endommagement de contenants et certains emballages	Individu exposé à des blessures très légères	Dommage marginal à l'environnement	Délais temporaire d'une activité
3	Modéré	Difficulté de manoeuvrabilité du navire	Perte temporaire d'une certaine capacité du navire ou des équipements	Exposition d'une partie du cargo à des agents extérieurs, perte de produits périssables	Quelques personnes exposées à des blessures légères	Dommage mineur et réparable à l'environnement	Interruption d'une activité ou d'un service pendant <u>quelques heures</u>
4	Substantiel	Limite d'accès temporaire aux infrastructures maritimes, dommages aux infrastructures maritimes qui augmentent les frais d'entretien	Perte modérée d'une certaine capacité du navire ou des équipements	Bris de certaines marchandises	Individu exposé à des blessures importantes	Dommage important à l'environnement qui nécessitent des mesures d'atténuation des parties prenantes	Panne d'une activité pendant <u>plusieurs heures</u>
5	Sérieux	Accès restreint aux infrastructures, augmentation des frais de réparation d'infrastructures	Perte de capacité du navire et des équipements, impact sérieux sur l'efficacité des opérations	Perte de 20%-50% de la cargaison	Plusieurs personnes exposées à des blessures sévères	Dommages significatifs sur les écosystèmes qui nécessitent des interventions sur le terrain par les parties prenantes	Perte d'une certaine fonction pendant <u>plusieurs jours</u>
6	Probable/critique	Impact sévère sur les infrastructures et aides à la navigation qui doivent être remplacées, limite d'accès maritime à long terme	Dommages au navire et aux équipements, perte de plusieurs fonctions importantes	Perte de 50%-75% de la cargaison	Événements isolés d'individu exposé à des blessures sérieuses et/ou perte de vie	Dommage majeur à l'environnement et les écosystèmes fragiles qui requièrent des mesures d'adaptation et/ou compensation environnementale (intervention acteurs extérieurs)	Interruption des activités de navigation, de chargement/déchargement pendant <u>plusieurs semaines</u>
7	Extrême/catastrophique/permanent	Accès maritime impossible, nécessaire reconstruction des installations et aides à la navigation	Perte du navire	Perte de 100% de la cargaison	Plusieurs pertes de vie et/ou plusieurs blessures sérieuses	Dommage irréparable à l'environnement et modification permanente des écosystèmes	Arrêt total des opérations de navigation et de chargement/déchargement pour <u>plusieurs mois</u>

Ces indicateurs d'accessibilité permettent d'évaluer les impacts positifs et négatifs des changements climatiques et environnementaux sur le façonnement des chaînes d'approvisionnement, de transport, de logistique et de distribution de fret pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik sur le plan 1) du mouvement des navires en mer; 2) de la durée de la saison de navigation; 3) des opérations de chargement/déchargement; 4) de la manutention du vrac liquide; 5) de la manutention du vrac sec; 6) de la manutention des marchandises générales; 7) du fonctionnement des équipements à bord des navires; et 8) de l'accès aux infrastructures et équipements maritimes (**Chapitre 7**).

Les risques associés à chaque interaction entre chaque composante du transport maritime et chaque paramètre climatique et environnemental sont ensuite quantifiés en fonction d'une matrice d'évaluation comportant les indicateurs d'accessibilité pour le transport maritime au Nunavik. Cette évaluation s'est effectuée en atelier de travail réunissant un comité de dix experts. L'atelier réunissait des experts en transport maritime, opérations de navigation, environnement, changement climatique, glace, climat nordique, géographie, études portuaires, logistique et gestion de risque (**Annexe 3**).

La rencontre s'est tenue le 27 juillet 2017 à l'Université de Montréal. Les participants devaient compléter un questionnaire et s'engager pour la journée à discuter des problèmes en lien avec les changements climatiques et environnementaux, le transport maritime, l'accès maritime aux infrastructures des villages nordiques et des sites miniers au Nunavik. L'éventail d'expertises présentes a mené à une grande diversité de points de vue et d'idées concernant les niveaux de gravité des conséquences associés à chaque interaction entre les principales composantes du transport maritime et les seuils des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik.

Les participants disposaient d'information en lien avec 1) les fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et les probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux; 2) les impacts répertoriés du transport maritime aux paramètres climatiques et environnementaux; et 3) les indicateurs d'accessibilité pour le transport maritime au Nunavik.

Dans le but de faciliter l'interprétation de la gravité des conséquences des changements de chaque paramètre climatique et environnemental sur les composantes du transport maritime pour les villages et sites miniers du Nunavik, il fut décidé de sélectionner la borne supérieure des pourcentages d'occurrence saisonniers associés aux conditions historiques et futures.

Par ailleurs, en raison de l'absence de données scientifiques, les participants devaient estimer les probabilités d'occurrence future (2017-2040) de la pluie verglaçante ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$), de la neige au sol (90 cm), des paramètres environnementaux en lien avec le brouillard (visibilité maximale 2 km;

visibilité maximale 550 m), le vent (≥ 29 km/h; ≥ 39 km/h; ≥ 62 km/h), les tempêtes (≥ 89 km/h) et la concentration de glace de première année $> 5/10$ pendant moins de 2,39 semaines.

L'application de la méthode d'analyse de risque permet d'évaluer le degré de risques associé à chaque interaction entre un paramètre climatique et environnemental et une composante du transport maritime au Nunavik sur une échelle variant de 0 à 49. Cette méthode permet de dégager trois seuils de risque (Tableau 55).

Tableau 55. Échelle de risque des composantes du transport maritime en fonction des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux dans un contexte de changement climatique et environnemental au Nunavik

Échelle de risque	Niveau	Code couleur	Mesure requise
< 12	Faible		Surveillance requise
12-36	Moyen		Mesures requises
> 36	Élevé		Mesures immédiates requises

Note: Il importe de souligner que l'analyse permet d'évaluer le degré de risque pour chaque paramètre climatique et environnemental, mais elle comporte néanmoins certaines limites. Les changements climatiques et environnementaux peuvent être le résultat de croisement entre différents paramètres créant des effets de synergies (i.e. niveau d'eau qui se combine avec de très forts vents, vagues de froid et très forts vents, glace et très forts vents, décotes prononcées et fortes vagues). La combinaison de plusieurs paramètres peut aggraver les risques. Par ailleurs, certains événements majeurs, comme les tempêtes, peuvent représenter un risque rare mais causer des impacts importants.

La démarche permet ainsi d'évaluer le degré de risque de chaque composante du transport maritime en fonction 1) des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et 2) des probabilités d'occurrence future (2017-2040) des paramètres climatiques et environnementaux.

Le degré de risque de chaque composante du transport maritime en fonction des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) des paramètres climatiques et environnementaux représente le risque existant ou actuel (Re). Le degré de risque de chaque composante du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence future (2017-2040) des paramètres climatiques et environnementaux représente le risque futur ou potentiel (Rf) à l'horizon 2040.

L'analyse consiste ensuite à comparer les risques existants (Re) aux risques futurs (Rf) afin de déterminer les changements du degré de risque (Chgt) pour chaque composante du transport maritime en fonction de l'évolution des conditions climatiques et environnementales anticipés.

9.4. Évaluation des risques des composantes du transport maritime en fonction des seuils limites des fréquences historiques et des probabilités d'occurrence future des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik

9.4.1. Résultats des interactions entre paramètres climatiques et environnementaux et composantes du transport maritime

L'analyse de risque a permis d'élaborer plusieurs matrices de risque des composantes du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux en lien avec la température de l'air (Tableau 56), le régime de précipitations (Tableaux 57 et 58), le brouillard, le vent et les tempêtes (Tableau 59) et les conditions de glace (Tableau 60) au Nunavik.

Chaque tableau indique que tous les indicateurs d'accessibilité ont été considérés par les experts réunis en atelier de travail lors de l'évaluation du niveau de gravité des conséquences associés à chaque interaction entre les principales composantes du transport maritime et les seuils des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik. Les couleurs affichées pour chaque tableau réfèrent au code couleur présenté au Tableau 55.

9.4.1.1. Faits saillants généraux

- Au total, 168 interactions entre paramètres climatiques et environnementaux et composantes du transport maritime au Nunavik ont été identifiées pour les conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 142 interactions (85%) affichent un potentiel de risque et 26 interactions (15%) ne présentent pas de risque;
- Aucune interaction n'a été jugée à risque élevé (> 36).

9.4.1.2. Température de l'air

- 7 interactions entre la température de l'air et les composantes du transport maritime au Nunavik ne présentent aucun risque aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 13 interactions sont jugées à faible risque (< 12) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 11 interactions ont été jugées à risque moyen (12-36) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 8 interactions en lien avec les «températures minimales» et les «vagues de froid» ont vu leur degré de risque augmenter en raison des changements climatiques;
- Les risques les plus élevés concernant la température de l'air sont attribués au paramètre «vagues de froid»;
- Aucune interaction entre paramètres associés à la température de l'air et les composantes du transport maritime au Nunavik n'a vu son degré de risque diminuer par suite des changements climatiques.

Tableau 56. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites de la température de l'air au Nunavik

Composantes du transport maritime	Indicateurs d'accessibilité						Température de l'air (conditions historiques 1990-2016)												Température de l'air (conditions futures 2017-2040)											
	Accès maritime	Navire	Marchandise	Sécurité	Environnement	Temps de transport	1			2			3			4			1			2			3			4		
							Température maximale			Température minimale			Vague de froid			Variabilité des températures			Température maximale			Température minimale			Vague de froid			Variabilité des températures		
							% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison		
							> 20°C			< -35°C			Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours			Variabilité des températures quotidienne 25°C			> 20°C			< -35°C			Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours			Variabilité des températures quotidienne 25°C		
							P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R
Mouvement des navires en mer	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	2	8	5	3	15	3	2	6	5	0	0	5	2	10	6	3	18	3	2	6
Durée de la saison de navigation	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	1	4	5	1	5	3	0	0	5	0	0	5	1	5	6	1	6	3	0	0
Opérations de chargement/déchargement	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	3	12	5	3	15	3	2	6	5	0	0	5	3	15	6	3	18	3	2	6
Manutention de vrac sec	x	x	x	x	x	x	5	1	5	4	3	12	5	3	15	3	2	6	5	1	5	5	3	15	6	3	18	3	2	6
Manutention de vrac liquide	x	x	x	x	x	x	5	1	5	4	4	16	5	4	20	3	4	12	5	1	5	5	4	20	6	4	24	3	4	12
Manutention de la marchandise	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	4	16	5	3	15	3	3	9	5	0	0	5	4	20	6	3	18	3	3	9
Fonctionnement des équipements à bord des navires	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	3	12	5	2	10	3	2	6	5	0	0	5	3	15	6	2	12	3	2	6
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	x	x	x	x	x	x	5	0	0	4	1	4	5	1	5	3	1	3	5	0	0	5	1	5	6	1	6	3	1	3

9.4.1.3. Régime de précipitations

- 10 interactions entre le régime de précipitation et les composantes du transport maritime au Nunavik ne présentent aucun risque aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 39 interactions sont jugées à faible risque (< 12) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 7 interactions ont été jugées à risque moyen (12-36) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 14 interactions en lien avec les «fortes pluies prolongées» et les «pluies d'hiver» ont vu leur degré de risque augmenter en raison des changements climatiques;
- 8 interactions associées aux «fortes neiges» et à «l'accumulation de neige au sol» ont été jugées à risque moyen aux conditions historiques (1990-2016) mais à risque faible aux conditions climatiques futures (2017-2040).

Tableau 57. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) des seuils limites du régime de précipitations au Nunavik

	Indicateurs d'accessibilité						Régime de précipitation (conditions historiques 1990-2016)																							
Composantes du transport maritime	Accès maritime	Navire	Marchandise	Sécurité	Environnement	Temps de transport	5			6			7			8			9			10			11			12		
							Fortes pluies			Fortes pluies prolongées			Précipitations très intenses			Précipitations extrêmes			Pluies d'hiver			Pluies verglaçantes			Forte neige			Accumulation de neige au sol		
							% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison					
							50 mm en 24 heures			100 mm / 5 jours			Précipitations plus intenses que le 95° percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			Précipitations plus intenses que le 99° percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			25 mm de précipitations et Tmin > 0°C			Tmin < 0°C et Tmax > 0°C			25 cm			90 cm		
							P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R			
Mouvement des navires en mer	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	0	5	1	5	4	1	4	1	1	1	3	1	3	3	3	9	5	0	0
Durée de la saison de navigation	x	x	x	x	x	x	1	0	0	1	0	0	5	0	0	4	0	0	1	0	0	3	0	0	3	3	9	5	0	0
Opérations de chargement/déchargement	x	x	x	x	x	x	1	2	2	1	2	2	5	2	10	4	2	8	1	1	1	3	4	12	3	4	12	5	0	0
Manutention de vrac sec	x	x	x	x	x	x	1	3	3	1	3	3	5	3	15	4	3	12	1	3	3	3	4	12	3	4	12	5	4	20
Manutention de vrac liquide	x	x	x	x	x	x	1	2	2	1	2	2	5	2	10	4	2	8	1	2	2	3	4	12	3	4	12	5	4	20
Manutention de la marchandise	x	x	x	x	x	x	1	2	2	1	2	2	5	2	10	4	2	8	1	2	2	3	4	12	3	4	12	5	4	20
Fonctionnement des équipements à bord des navires	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	5	1	5	4	1	4	1	1	1	3	4	12	3	4	12	5	0	0
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	5	1	5	4	1	4	1	1	1	3	3	9	3	1	3	5	1	5

Tableau 58. Analyse de risque du transport maritime aux conditions futures (2017-2040) des seuils limites du régime de précipitations au Nunavik

	Indicateurs d'accessibilité						Régime de précipitations (conditions futures 2017-2040)																										
Composantes du transport maritime	Accès maritime	Navire	Marchandise	Sécurité	Environnement	Temps de transport	5			6			7			8			9			10			11			12					
							Fortes pluies			Fortes pluies prolongées			Précipitations très intenses			Précipitations extrêmes			Pluies d'hiver			Pluies verglaçantes			Forte neige			Accumulation de neige au sol					
							% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison					
							50 mm en 24 heures			100 mm / 5 jours			Précipitations plus intenses que le 95 ^e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			Précipitations plus intenses que le 99 ^e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			25 mm de précipitations et Tmin > 0°C			Tmin < 0°C et Tmax > 0°C			25 cm			90 cm					
							P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R						
Mouvement des navires en mer	x	x	x	x	x	x	1	1	1	3	1	3	5	1	5	4	1	4	3	1	3	3	1	3	2	3	6	2	0	0			
Durée de la saison de navigation	x	x	x	x	x	x	1	0	0	3	0	0	5	0	0	4	0	0	3	0	0	3	0	0	2	3	6	2	0	0			
Opérations de chargement/déchargement	x	x	x	x	x	x	1	2	2	3	2	6	5	2	10	4	2	8	3	1	3	3	4	12	2	4	8	2	0	0			
Manutention de vrac sec	x	x	x	x	x	x	1	3	3	3	3	9	5	3	15	4	3	12	3	3	9	3	4	12	2	4	8	2	4	8			
Manutention de vrac liquide	x	x	x	x	x	x	1	2	2	3	2	6	5	2	10	4	2	8	3	2	6	3	4	12	2	4	8	2	4	8			
Manutention de la marchandise	x	x	x	x	x	x	1	2	2	3	2	6	5	2	10	4	2	8	3	2	6	3	4	12	2	4	8	2	4	8			
Fonctionnement des équipements à bord des navires	x	x	x	x	x	x	1	1	1	3	1	3	5	1	5	4	1	4	3	1	3	3	4	12	2	4	8	2	0	0			
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	x	x	x	x	x	x	1	1	1	3	1	3	5	1	5	4	1	4	3	1	3	3	3	9	2	1	2	2	1	2			

9.4.1.4. Brouillard, vents et tempêtes

- 6 interactions entre les paramètres de brouillard, de vents et de tempêtes et les composantes du transport maritime au Nunavik ne présentent aucun risque aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 28 interactions sont jugées à faible risque (< 12) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 13 interactions ont été jugées à risque moyen (12-36) aux conditions climatiques historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- Aucune interaction entre paramètres associés au brouillard, vents et tempêtes et les composantes du transport maritime au Nunavik n'a vu son degré de risque diminuer par suite des changements climatiques;
- Les risques les plus élevés concernant le brouillard et les vents sont attribués au paramètre «jours de très grands vents ≥ 62 km/h»;
- 7 interactions associées au paramètre «tempêtes» (vents ≥ 89 km/h) ont vu leur degré de risque augmenter en raison des changements climatiques.

Tableau 59. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites du brouillard, des vents et des tempêtes au Nunavik

	Indicateurs d'accessibilité						Brouillard, vents et tempêtes (conditions historiques 1990-2016)																		Brouillard, vents et tempêtes (conditions futures 2017-2040)																	
Composantes du transport maritime	Accès maritime	Navie	Marchandise	Sécurité	Environnement	Temps de transport	16			17			18			19			20			21			16			17			18			19			20			21		
							Brouillard léger			Brouillard dense			Jours de vents			Jours de grands vents			Jours de très grands vents			Tempête			Brouillard léger			Brouillard dense			Jours de vents			Jours de grands vents			Jours de très grands vents			Tempête		
							% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison		
							Visibilité maximale 2 km			Visibilité maximale 550 m			Vents ≥ 29 km/h			Vents ≥ 39 km/h			Vents ≥ 62 km/h			Vents ≥ 89 km/h			Visibilité maximale 2 km			Visibilité maximale 550 m			Vents ≥ 29 km/h			Vents ≥ 39 km/h			Vents ≥ 62 km/h			Vents ≥ 89 km/h		
							P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R						
Mouvement des navires en mer	x	x	x	x	x	x	5	1	5	5	3	15	7	1	7	5	2	10	5	2	10	3	2	6	5	1	5	5	3	15	7	1	7	5	2	10	5	2	10	4	2	8
Durée de la saison de navigation	x	x	x	x	x	x	5	0	0	5	0	0	7	0	0	5	0	0	5	0	0	3	0	0	5	0	0	5	0	0	7	0	0	5	0	0	5	0	0	4	0	0
Opérations de chargement/déchargement	x	x	x	x	x	x	5	2	10	5	2	10	7	1	7	5	3	15	5	4	20	3	5	15	5	2	10	5	2	10	7	1	7	5	3	15	5	4	20	4	5	20
Manutention de vrac sec	x	x	x	x	x	x	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	2	10	5	3	15	3	4	12	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	2	10	5	3	15	4	4	16
Manutention de vrac liquide	x	x	x	x	x	x	5	2	10	5	3	15	7	1	7	5	3	15	5	4	20	3	5	15	5	2	10	5	3	15	7	1	7	5	3	15	5	4	20	4	5	20
Manutention de la marchandise	x	x	x	x	x	x	5	2	10	5	2	10	7	1	7	5	3	15	5	4	20	3	5	15	5	2	10	5	2	10	7	1	7	5	3	15	5	4	20	4	5	20
Fonctionnement des équipements à bord des navires	x	x	x	x	x	x	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	1	5	5	2	10	3	2	6	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	1	5	5	2	10	4	2	8
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	x	x	x	x	x	x	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	1	5	5	1	5	3	3	9	5	1	5	5	1	5	7	1	7	5	1	5	5	1	5	4	3	12

9.4.1.5. Conditions de glace

- 3 interactions entre les conditions de la glace et les composantes du transport maritime au Nunavik ne présentent aucun risque aux conditions environnementales historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 9 interactions sont jugées à faible risque (< 12) aux conditions environnementales historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- 11 interactions ont été jugées à risque moyen (12-36) aux conditions environnementales historiques (1990-2016) et futures (2017-2040);
- Aucune interaction entre paramètres associés aux conditions de la glace et les composantes du transport maritime au Nunavik n'a vu son degré de risque diminuer par suite des changements environnementaux;
- Les risques les plus élevés concernant les conditions de glace sont attribués au paramètre «jours englacés» qui, avec une valeur de 28, affiche la valeur la plus élevée résultant de l'ensemble de l'évaluation des conditions environnementales historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) au Nunavik.

Tableau 60. Analyse de risque du transport maritime aux conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des seuils limites des conditions de glace au Nunavik

Composantes du transport maritime	Indicateurs d'accessibilité						Conditions de glace (conditions historiques 1990-2016)									Conditions de glace (conditions futures 2017-2040)								
	Accès maritime	Navire	Marchandise	Sécurité	Environnement	Temps de transport	13			14			15			13			14			15		
							Concentration des glaces			Jours englacés			Cycle de gel et dégel			Concentration des glaces			Jours englacés			Cycle de gel et dégel		
							Nombre de semaines pendant la saison été-automne			Nombre de jours			% de jours par saison			Nombre de semaines pendant la saison été-automne			Nombre de jours			% de jours par saison		
							Concentration de glace de première année > 5/10 pendant moins de 2,39 semaines			Tmax < 0°C			Tmax > 0°C et Tmin < 0°C			Concentration de glace de première année > 5/10 pendant moins de 2,39 semaines			Tmax < 0°C			Tmax > 0°C et Tmin < 0°C		
							P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R
Mouvement des navires en mer	x	x	x	x	x	x	5	4	20	7	2	14	5	2	10	5	4	20	7	2	14	5	2	10
Durée de la saison de navigation	x	x	x	x	x	x	5	3	15	7	0	0	5	0	0	5	3	15	7	0	0	5	0	0
Opérations de chargement/déchargement	x	x	x	x	x	x	5	4	20	7	3	21	5	2	10	5	4	20	7	3	21	5	2	10
Manutention de vrac sec	x	x	x	x	x	x	5	1	5	7	3	21	5	0	0	5	1	5	7	3	21	5	0	0
Manutention de vrac liquide	x	x	x	x	x	x	5	4	20	7	4	28	5	2	10	5	4	20	7	4	28	5	2	10
Manutention de la marchandise	x	x	x	x	x	x	5	3	15	7	4	28	5	3	15	5	3	15	7	4	28	5	3	15
Fonctionnement des équipements à bord des navires	x	x	x	x	x	x	5	1	5	7	1	7	5	0	0	5	1	5	7	1	7	5	0	0
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	x	x	x	x	x	x	5	2	10	7	1	7	5	1	5	5	2	10	7	1	7	5	1	5

9.4.2. Évaluation des risques des changements climatiques et environnementaux pour les composantes du transport maritime au Nunavik à l'horizon 2040

Un sommaire de la comparaison et de l'évolution des risques des composantes du transport maritime au Nunavik pour les conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux est présentée au Tableau 61 pour la température de l'air, au Tableau 62 pour le régime de précipitations, au Tableau 63 pour le brouillard, les vents et les tempêtes et au Tableau 64 pour les conditions de glace. **Les couleurs affichées pour chaque tableau réfèrent au code couleur présenté au Tableau 55.**

L'analyse de risques du transport maritime au Nunavik aux changements climatiques révèle plusieurs caractéristiques sur l'impact de l'évolution des paramètres climatiques et environnementaux sur les composantes du transport maritime.

9.4.2.1. Mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier

Le mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier au Nunavik semble peu affecté par le régime de précipitations actuel ou futur. Les risques au mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier sont principalement associés aux paramètres climatiques et environnementaux «concentration de glace de première année», «jours englacés», «vague de froid» et le «brouillard dense». À l'horizon 2040, le degré de risque pour le mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier attribué à la «concentration de glace», aux «jours englacés» et au «brouillard dense» devrait demeurer inchangé, mais celui associé aux «vagues de froid» devrait augmenter.

9.4.2.2. Durée de la saison de navigation

Le risque associé à la durée de la saison de navigation au Nunavik semble peu affecté par la température de l'air, le régime de précipitation, le brouillard ou les vents tant pour les conditions climatiques historiques (1990-2016) que futures (2017-2040). Mais le risque associé à la «concentration de glace» et la durée de la saison de navigation devrait se maintenir au seuil de risque moyen (entre 12 et 36) à l'horizon 2040.

Tableau 61. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour la température de l'air au Nunavik

Composantes du transport maritime	1			2			3			4		
	Température maximale			Température minimale			Vague de froid			Variabilité des températures		
	% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison		
	>20°C			<-35°C			Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours			Variabilité des températures quotidiennes 25°C		
	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt
Mouvement des navires en mer	0	0	0	8	10	+ 2	15	18	+ 3	6	6	0
Durée de la saison de navigation	0	0	0	4	5	+ 1	5	6	+ 1	0	0	0
Opérations de chargement/ déchargement	0	0	0	12	15	+ 3	15	18	+ 3	6	6	0
Manutention de vrac sec	5	5	0	12	15	+ 3	15	18	+ 3	6	6	0
Manutention de vrac liquide	5	5	0	16	20	+ 4	20	24	+ 4	12	12	0
Manutention de la marchandise	0	0	0	16	20	+ 4	15	18	+ 3	9	9	0
Fonctionnement des équipements à bord des navires	0	0	0	12	15	+ 3	10	12	+ 2	6	6	0
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	0	0	0	4	5	+ 1	5	6	+ 1	3	3	0

Re: Risque existant ou actuel (1990-2016)

Rf: Risque futur ou potentiel à l'horizon 2040 (2017-2040)

Chgt: Changement du risque à l'horizon 2040 (2017-2040)

Tableau 62. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour le régime de précipitations au Nunavik

Composantes du transport maritime	5			6			7			8			9			10			11			12		
	Fortes pluies			Fortes pluies prolongées			Précipitations très intenses			Précipitations extrêmes			Pluies d'hiver			Pluies verglaçantes			Forte neige			Accumulation de neige au sol		
	% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison		
	50 mm en 24 heures			100 mm / 5 jours			Précipitations plus intenses que le 95 ^e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			Précipitations plus intenses que le 99 ^e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			25 mm de précipitations et Tmin > 0°C			Tmin < 0°C et Tmax > 0°C			25 cm			90 cm		
	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt
Mouvement des navires en mer	1	1	0	1	3	+ 2	5	5	0	4	4	0	1	3	+ 2	3	3	0	9	6	- 3	0	0	0
Durée de la saison de navigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	- 3	0	0	0
Opérations de chargement/déchargement	2	2	0	2	6	+ 4	10	10	0	8	8	0	1	3	+ 2	12	12	0	12	8	- 4	0	0	0
Manutention de vrac sec	3	3	0	3	9	+ 6	15	15	0	12	12	0	3	9	+ 6	12	12	0	12	8	- 4	20	8	- 12
Manutention de vrac liquide	2	2	0	2	6	+ 4	10	10	0	8	8	0	2	6	+ 4	12	12	0	12	8	- 4	20	8	- 12
Manutention de la marchandise	2	2	0	2	6	+ 4	10	10	0	8	8	0	2	6	+ 4	12	12	0	12	8	- 4	12	8	- 4
Fonctionnement des équipements à bord des navires	1	1	0	1	3	+ 2	5	5	0	4	4	0	1	3	+ 2	12	12	0	12	8	- 4	0	0	0
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	1	1	0	1	3	+ 2	5	5	0	4	4	0	1	3	+ 2	9	9	0	3	2	- 1	5	2	- 3

Re: Risque existant ou actuel (1990-2016)

Rf: Risque futur ou potentiel à l'horizon 2040 (2017-2040)

Chgt: Changement du risque à l'horizon 2040 (2017-2040)

Tableau 63. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres climatiques pour le brouillard, les vents et les tempêtes au Nunavik

Composantes du transport maritime	13			14			15			16			17			18		
	Brouillard léger			Brouillard dense			Jours de vents			Jours de grands vents			Jours de très grands vents			Tempête		
	% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison			% de jours par saison		
	Visibilité maximale 2 km			Visibilité maximale 550 m			Vents ≥ 29 km/h			Vents ≥ 39 km/h			Vents ≥ 62 km/h			Vents ≥ 89 km/h		
	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt
Mouvement des navires en mer	5	5	0	15	15	0	7	7	0	10	10	0	10	10	0	6	8	+ 2
Durée de la saison de navigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opérations de chargement/déchargement	10	10	0	10	10	0	7	7	0	15	15	0	20	20	0	15	20	+ 5
Manutention de vrac sec	5	5	0	5	5	0	7	7	0	10	10	0	15	15	0	12	16	+ 4
Manutention de vrac liquide	10	10	0	15	15	0	7	7	0	15	15	0	20	20	0	15	20	+ 5
Manutention de la marchandise	10	10	0	10	10	0	7	7	0	15	15	0	20	20	0	15	20	+ 5
Fonctionnement des équipements à bord des navires	5	5	0	5	5	0	7	7	0	5	5	0	10	10	0	6	8	+ 2
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	5	5	0	5	5	0	7	7	0	5	5	0	5	5	0	9	12	+ 3

Re: Risque existant ou actuel (1990-2016)

Rf: Risque futur ou potentiel à l'horizon 2040 (2017-2040)

Chgt: Changement du risque à l'horizon 2040 (2017-2040)

Tableau 64. Comparaison et évolution des risques des composantes du transport maritime en fonction des probabilités d'occurrence des seuils limites des conditions historiques (1990-2016) et futures (2017-2040) des paramètres environnementaux pour les conditions de glace au Nunavik

Composantes du transport maritime	19			20			21		
	Concentration des glaces			Jours englacés			Cycle de gel et degel		
	Nombre de semaines pendant la saison été-automne			Nombre de jours			% de jours par saison		
	Concentration de glace de première année > 5/10 pendant moins de 2,39 semaines			Tmax < 0°C			Tmax > 0°C et Tmin < 0°C		
	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt	Re	Rf	Chgt
Mouvement des navires en mer	20	20	0	14	14	0	10	10	0
Durée de la saison de navigation	15	15	0	0	0	0	0	0	0
Opérations de chargement/déchargement	20	20	0	21	21	0	10	10	0
Manutention de vrac sec	5	5	0	21	21	0	0	0	0
Manutention de vrac liquide	20	20	0	28	28	0	10	10	0
Manutention de la marchandise	15	15	0	28	28	0	15	15	0
Fonctionnement des équipements à bord des navires	5	5	0	7	7	0	0	0	0
Accès aux infrastructures et équipements maritimes	10	10	0	7	7	0	5	5	0

Re: Risque existant ou actuel (1990-2016)
Rf: Risque futur ou potentiel à l'horizon 2040 (2017-2040)
Chgt: Changement du risque à l'horizon 2040 (2017-2040)

9.4.2.3. Opérations de chargement/déchargement

À l'horizon 2040, les risques attribués aux interactions entre les opérations de chargement/déchargement au Nunavik et les paramètres climatiques «concentration de glace», «jours englacés», «vents ≥ 39 km/h», «vents ≥ 62 km/h» devraient demeurer inchangés et se maintenir au seuil de risque moyen (entre 12 et 36). Les interactions associées entre les opérations de chargement/déchargement et les «fortes neiges» devraient afficher une diminution de leur niveau de risque. Les interactions entre les opérations de chargement/déchargement et les paramètres climatiques «température minimale», «vague de froid» et «tempête» (vents ≥ 89 km/h) devraient voir leur degré de risque augmenter par suite des changements climatiques.

9.4.2.4. Manutention de vrac liquide (produits pétroliers et chimiques)

Le degré de risque jugé moyen (entre 12 et 36) associé aux interactions entre la manutention de vrac liquide et les paramètres «concentration de glace», «jours englacés», «brouillard dense», «vents ≥ 39 km/h» et «vents ≥ 62 km/h » devrait demeurer inchangé aux conditions climatiques futures au Nunavik. Les interactions entre la manutention de vrac liquide et les paramètres «fortes neiges» et «accumulation de neige au sol» devraient afficher une diminution de leur niveau de risque à l'horizon 2040. Les plus fortes augmentations de degré de risque dans la manutention de vrac liquide en lien avec les changements climatiques sont attribuées aux interactions associées aux paramètres «température minimale», «vague de froid» «fortes pluies prolongées», «pluies d'hiver» et «tempête» (vents ≥ 89 km/h).

9.4.2.5. Manutention du vrac sec (concentré de minerai)

Les interactions jugées à risque moyen (entre 12 et 36) pour la manutention de vrac sec devraient se maintenir pour les paramètres «précipitations très intenses», «jours englacés», et «vents ≥ 62 km/h» à l'horizon 2040. Les changements climatiques au Nunavik devraient entraîner une diminution du risque dans la manutention du vrac sec eu égard aux paramètres «fortes neiges» et «accumulation de neige au sol». La plus forte augmentation de risque pour la manutention de vrac sec aux conditions climatiques futures est associée aux paramètres «pluies d'hiver», «température minimale», «vague de froid» et «tempête» (vents ≥ 89 km/h).

9.4.2.6. Manutention de marchandises générales

La manutention de marchandises générales apparaît peu sensible au régime de précipitation existant ou futur au Nunavik. En fort contraste, la manutention de marchandises générales est particulièrement affectée par l'état de la température, les conditions de glace et le vent. Le degré de risque jugé moyen (entre 12 et 36) associé aux interactions entre la manutention de marchandises générales et les paramètres «concentration de glace», «jours englacés», «cycle de gel et dégel», «vents ≥ 39 km/h» et «vents ≥ 62 km/h » devrait demeurer inchangé aux conditions climatiques futures au Nunavik. La plus forte augmentation de risque pour la manutention de marchandises

générales aux conditions climatiques futures est associée aux paramètres «température minimale», «vague de froid» et «tempête» (vents ≥ 89 km/h).

9.4.2.7. Fonctionnement des équipements à bord des navires

Les équipements à bord des navires qui circulent au Nunavik semblent peu affectés par les conditions existantes ou futures de la concentration de glace, des jours englacés, des cycles de gel et de dégel, de la visibilité ou du vent. Ce sont les interactions entre les équipements à bord des navires et les paramètres «température minimale», «vague de froid» «fortes pluies prolongées», «pluies d'hiver» et «tempête» (vents ≥ 89 km/h) qui devraient voir leur degré de risque augmenter par suite des changements climatiques.

9.4.2.8. Accès aux infrastructures et équipements maritimes

Le risque associé à l'accès aux infrastructures maritimes au Nunavik semble peu affecté par les interactions entre l'état de la température et le régime de précipitation tant pour les conditions climatiques existantes que futures. Le degré de risque de 10 associé aux interactions entre accès aux infrastructures maritimes et «concentration de glace de première année $> 5/10$ pendant moins de 2,39 semaines durant la saison été-automne» devrait se maintenir au seuil de risque faible à l'horizon 2040. La plus forte augmentation de risque pour l'accès aux infrastructures maritimes au Nunavik associée aux changements climatiques concerne le paramètre «tempête» (vents ≥ 89 km/h).

10. ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES DU TRANSPORT MARITIME ET DE L'ACCÈS MARITIME DES VILLAGES ET SITES MINIERS DU NUNAVIK DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'HORIZON 2040

L'analyse précédente a permis de mesurer le degré de risque des composantes du transport maritime au Nunavik en fonction des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux historiques (1990-2016) et futurs (2017-2040).

10.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à évaluer la vulnérabilité du transport, de la desserte et de l'accès maritime des villages et sites miniers au Nunavik aux changements climatiques à l'horizon 2040.

10.2. Méthodologie

L'analyse de vulnérabilité comporte sept étapes méthodologiques:

1. Présenter une définition et une analyse des relations conceptuelles entre vulnérabilité et résilience;
2. Présenter la méthode d'analyse de vulnérabilité des composantes du transport maritime au Nunavik ;
3. Présenter la méthode d'analyse de l'accès maritime pour les villages nordiques et sites miniers du Nunavik;
4. Présenter la méthode d'analyse de résilience du transport et de l'accès maritime pour les villages nordiques et sites miniers du Nunavik ;
5. Évaluer la vulnérabilité des composantes du transport maritime aux changements climatiques et environnementaux au Nunavik ;
6. Évaluer la vulnérabilité de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik aux changements climatiques et environnementaux ;
7. Évaluer la résilience des indicateurs d'accessibilité pour l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik aux changements climatiques et environnementaux.

10.3. Vulnérabilité et résilience

L'étude a déjà présenté les différentes composantes du transport maritime (**Section 7.4**) ainsi que les indicateurs d'accessibilité et de desserte maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik (**Section 9.3**).

10.3.1. Vulnérabilité

La vulnérabilité est un concept fondé sur une tradition de recherche éprouvée, mais il n'existe pas de consensus sur sa définition (Kelman, Mercer & Gaillard, 2017).

Dans la présente étude, la vulnérabilité réfère au changement ou à la transformation des composantes du transport maritime lorsque confrontées aux changements climatiques et environnementaux (Gallopín, 2006). La vulnérabilité serait fonction du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques et environnementaux auxquels les composantes du transport maritime sont exposées, de leur sensibilité et de leur capacité de réponse aux effets négatifs des changements climatiques et environnementaux.

Il en résulte que le concept de vulnérabilité est fondamentalement subordonné au niveau de risque lui-même conditionnel aux probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux futurs (2017-2040) au Nunavik.

Dans un contexte qui inclut l'exposition aux perturbations climatiques ou environnementales en tant qu'élément de la vulnérabilité, les composantes du transport maritime, l'accès et la desserte maritime qui ne sont pas exposés aux perturbations seraient définis comme non-vulnérables.

10.3.2. Résilience

La résilience est la mesure de la persistance des composantes du transport maritime et de leur capacité à absorber les perturbations des changements climatiques et environnementaux, à se restructurer et à se réorganiser en phase de mutation, soit pendant une période de transformation de manière à maintenir les mêmes fonctions pour les chaînes d'approvisionnement, de transport, de logistique et de distribution de fret pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik (Walker, 2004; Lautu & Faure, 2016).

10.4. Processus d'analyse de vulnérabilité des composantes du transport maritime au Nunavik dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040

Il n'existe pas de méthode formelle pour évaluer la vulnérabilité des systèmes de transport maritime. Au Nunavik, une telle approche nécessiterait de faire référence à des enjeux sociaux (pauvreté), économiques (niveau de vie, investissement), géographiques (éloignement) et/ou politiques (cadre institutionnel). Une méthode qualitative pour explorer la vulnérabilité pourrait être des diagrammes d'influence montrant les liens réciproques entre exposition, sensibilité et capacité de réponse. Les méthodes quantitatives incluraient arbres de défaillances et d'événements qui décrivent les relations causales entre différentes variables comprenant les barrières qui limitent les conséquences des événements climatiques ou environnementaux indésirables (i.e. réseau bayésien). Ces méthodes reposent toutefois sur une connaissance détaillée des défaillances du système de transport. Une méthode pourrait consister à évaluer la vulnérabilité du transport maritime par une analyse détaillée des accidents maritimes en lien avec des conditions climatiques.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada classe les événements maritimes sous trois volets: accident à bord des navires, accidents maritimes et incidents maritimes. Il a été démontré que cette classification affiche d'importantes lacunes sur le plan de l'analyse (Comtois, 2016). Nonobstant ces limites, il est possible de dénombrer et de localiser certains accidents et incidents maritimes dans l'Arctique. Les données permettent d'élaborer une typologie partielle des événements maritimes sous six volets: 1) immersion; 2) collision; 3) dommages aux navires; 4) feu/explosion; 5) échouage; et 6) dommages à la machinerie. **Toutefois, il n'existe aucune donnée empirique sur le nombre, le type, la fréquence ou la localisation d'accidents maritimes encourus en raison de conditions climatiques ou environnementales dans l'Arctique.**

Considérant que le niveau de vulnérabilité est subordonné au degré de risque, la méthode d'évaluation du niveau de vulnérabilité des composantes du transport maritime au Nunavik à l'horizon 2040 comporte deux étapes.

Premièrement, nous avons extrait les changements du degré de risque à l'horizon 2040 (2017-2040) (Chgt) des paramètres climatiques de la température de l'air (Tableau 61), du régime de précipitations (Tableau 62), du brouillard, des vents et des tempêtes (Tableau 63), des conditions des glaces (Tableau 64). Pour le paramètre environnemental des niveaux d'eau, nous avons utilisé l'évolution historique (1990-2016) et future (2017-2040) des probabilités d'occurrence des seuils limites des paramètres environnementaux des niveaux d'eau au Nunavik (Tableau 40). Les changements du degré de risque à l'horizon 2040 (2017-2040) pour le Nunavik varient de - 12 à +6.

Deuxièmement, nous avons identifié trois niveaux de vulnérabilité au sein duquel les composantes du transport maritime au Nunavik. **Ces niveaux sont qualifiés de faible, modéré et fort** (Tableau 65).

Tableau 65. Niveaux de vulnérabilité des composantes du transport maritime en fonction des changements du risque à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik

Échelle de changement du niveau de risque	Niveau de vulnérabilité des composantes du transport maritime	Code couleur
< 0 à 2	Faible	
3 à 4	Modéré	
5 à 6	Fort	

- **Le niveau de vulnérabilité faible** concerne les changements du degré de risque de 2 ou moins à l'horizon 2040. Ce niveau de vulnérabilité s'applique aux composantes du transport maritime qui sont intrinséquement **moins exposés aux risques liés aux changements climatiques et environnementaux ou qui bénéficient de nouvelles opportunités** sur le plan de la desserte et l'accès aux infrastructures maritimes, les conditions de fonctionnement du navire et de ses équipements, de la sûreté des approvisionnements de marchandises, de la

sécurité du personnel, de la protection de l'environnement et de la réduction des temps de transport.

- **Le niveau de vulnérabilité modéré** réfère à la vulnérabilité des composantes du transport maritime sur le plan technique, organisationnel et opérationnel aux changements de degré de risque lié aux changements climatiques et environnementaux supérieur à 3 ou 4 à l'horizon 2040 (2017-2040).
- **Le niveau de vulnérabilité fort** concerne les changements de degré de risque de 5 à 6 à l'horizon 2040. Ce niveau de vulnérabilité suggère que les changements climatiques exposent les composantes du transport maritime à une plus grande vulnérabilité. Cette situation **nécessite d'importantes transformations** sur le plan de la gestion et des procédures d'opération ou des investissements dans les infrastructures et équipements dans le but de **réduire les impacts** qui sont susceptibles d'influer de façon importantes les composantes du transport maritime **et de réduire l'étendue des dommages causés par les impacts**.

10.5. Processus d'analyse de vulnérabilité de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040

La méthode d'évaluation des vulnérabilités de l'accès et de la desserte maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik repose sur trois composantes: la charge existante (ChE), la variation liée aux changements climatiques et environnementaux (ChC) et la charge totale (ChT). Cette démarche s'inspire partiellement du protocole CVIIP d'Ingénieurs Canada (2016).

La charge existante (ChE) correspond à la fréquence d'occurrence historique (1990-2016) des seuils limites de chaque paramètre climatique et environnemental dans chaque village nordique et site minier au Nunavik tel que précisée à la **Section 8.6. sur la synthèse de l'analyse des fréquences d'occurrence historique (1990-2016) et probabilités d'occurrence future (2017-2040) des seuils limites des paramètres climatiques et environnementaux pour les villages nordiques et sites miniers au Nunavik**. La valeur saisonnière supérieure de chaque paramètre climatique et environnemental est retenue pour chaque village et site minier puisqu'elle représente le diagnostic le plus important (positif ou négatif).

La variation résultant des changements climatiques et environnementaux (ChC) représente la différence entre la valeur supérieure de la probabilité d'occurrence d'un paramètre climatique ou environnemental à l'horizon 2040 et la charge existante (ChE) pour chaque village nordique et site minier au Nunavik.

La charge totale (ChT) correspond à la valeur de la somme arithmétique de la charge existante (ChE) et de la charge (augmentation ou diminution) liée aux changements climatiques et environnementaux (ChC) pour chaque village nordique et site minier au

Nunavik. Compte tenu que nous ne disposons pas d'une évaluation des capacités d'accueil des infrastructures maritimes au Nunavik, le **niveau de vulnérabilité de l'accès et de la desserte maritime de chaque village et site minier au Nunavik prend la forme d'une relation comparative en fonction de la diminution (seuil faible), constance (seuil modéré) ou augmentation (seuil fort) de la charge totale (ChT) par rapport à la charge existante (ChE) (Tableau 66).**

Tableau 66. Niveaux de vulnérabilité de l'accès et de la desserte maritime des villages et sites miniers en fonction des changements du risque à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik

Évolution de la capacité des charges	Niveau de vulnérabilité de l'accès maritime des villages et sites miniers	Code couleur
Charge liée aux changements climatiques et environnementaux < Charge existante	Faible	
Charge liée aux changements climatiques et environnementaux = Charge existante	Modéré	
Charge liée aux changements climatiques et environnementaux > Charge existante	Fort	

La détermination des niveaux de vulnérabilité pour tous les villages nordiques et sites miniers du Nunavik est confrontée à trois difficultés:

- Certaines données sur les seuils limites des paramètres climatiques ou environnementaux futurs (2017-2040) pour chaque village nordique et site minier, soit pluies verglaçantes, accumulation de neige au sol, brouillard, vents, tempêtes et concentration de glace, ne sont pas pris en considération par manque de couverture de tous les villages et sites miniers à l'horizon 2040;
- L'évaluation des charges ne tient pas compte de l'état des infrastructures maritimes et des navires en terme de vieillissement, réhabilitation ou modification;
- Il est difficile d'évaluer les besoins de capacité en termes d'accès et de desserte maritime additionnelle à l'horizon 2040 pour chaque village nordique et site minier sur le plan de la demande de transport maritime.

10.6. Processus d'analyse de résilience pour le transport, l'accès et la desserte maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040

La résilience de l'accès maritime est liée aux analyses de risques et de vulnérabilité. Plusieurs approches peuvent être utilisées pour mesurer la résilience (Davis & Alexander, 2016). Dans la présente étude, la résilience concerne la capacité des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik de maintenir les conditions d'accès maritime, d'éviter les interruptions et de se remettre des perturbations causées par les changements climatiques et environnementaux. La résilience de l'accès maritime des

villages nordiques et des sites miniers du Nunavik aux changements climatiques et environnementaux est mesurée en fonction d'une matrice. Nous avons construit la matrice de résilience de l'accès maritime des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik en fonction d'une synthèse des six indicateurs d'accessibilité appliqués aux vulnérabilités des villages nordiques et sites miniers aux changements climatiques et environnementaux (**Section 9.3**). Cette synthèse fut réalisée sur la base de notre expertise, des résultats des analyses précédentes, de connaissances scientifiques et de données accumulées auprès des transporteurs maritimes. La mesure du niveau de résilience de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers pour chaque indicateur d'accessibilité repose sur quelques déterminants clés.

- La résilience de la desserte et l'accès aux infrastructures maritimes est évaluée en fonction des conditions géographiques actuelles et prévisibles d'approche des navires, de la présence de hauts-fonds, de la localisation des lieux d'ancrage, de l'ampleur de la marée, de la force et de la direction des courants marins, de la vitesse moyenne des vents et des conditions de glace. Ces critères ne devraient pas changer de façon significative à l'horizon 2040 en raison des changements climatiques.
- Les références aux conditions futures de l'état des navires et des équipements proviennent d'une évaluation des avancées technologiques de la flotte maritime mondiale qui permettent une navigation maritime sécuritaire et résiliente en milieu polaire.
- L'évaluation de la résilience future de l'état de la marchandise dans les villages nordiques et sites miniers du Nunavik concerne la manutention des marchandises par rapport à la croissance anticipée de la demande ainsi que des conditions actuelles d'entreposage en fonction des changements de la température de l'air et du régime de précipitations à l'horizon 2040.
- Le niveau de résilience de la sécurité des membres de l'équipage à bord du navire dans la réalisation de leurs tâches dans un contexte de changement climatique et environnemental a été mesuré au moyen d'un classement ordinal des villages nordiques et sites miniers au Nunavik par les transporteurs maritimes compte tenu du travail à réaliser en équipe pour participer à la sécurité du navire lors des opérations de navigation et de chargement/déchargement et transbordement.
- La résilience de l'environnement aux composantes du transport maritime dans un contexte de changement climatique et environnemental est analysée en fonction des impacts environnementaux de la navigation maritime au Nunavik.
- La résilience de l'indicateur d'accessibilité sur le plan du temps de transport est établie en fonction d'un classement par intervalle de la somme des moyennes des temps d'attente des navires et des temps de transbordement dans les

villages nordiques et sites miniers du Nunavik calculés pour la période 2004-2014 (- 36 heures; 36-72 heures; + 72 heures).

La construction de la matrice de résilience de l'accès maritime des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik aux changements climatiques et environnementaux s'est effectuée en fonction de cinq critères déterminants:

1. Les changements climatiques et environnementaux soulèvent des risques et des vulnérabilités à l'accès maritime;
2. Les interruptions liées aux changements climatiques et environnementaux peuvent être interdépendantes et toucher différemment certaines composantes du transport maritime et régions géographiques
3. Il existe des liens étroits entre vulnérabilité et la capacité d'adaptation des composantes du transport et de la desserte maritime à répondre aux conséquences positives et négatives que posent les changements climatiques et environnementaux;
4. La résilience s'accroît à mesure que la capacité d'adaptation des composantes du transport et de la desserte maritime augmente et que la vulnérabilité diminue ;
5. Certaines pratiques et infrastructures liées aux composantes du transport et de la desserte maritime permettent d'améliorer la performance des activités de transport et de la desserte maritime.

Trois niveaux de résilience de l'accès maritime des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik peuvent se présenter (Tableau 67):

- Un haut degré de vulnérabilité aux changements climatiques et environnementaux et des capacités d'accès maritime limitées pour y faire face;
- Des capacités d'accès maritime existantes appropriées et correspondantes aux vulnérabilités des perturbations liées aux changements climatiques et environnementaux;
- Une surcapacité d'accès maritime compte tenu du faible degré de vulnérabilité aux perturbations liées aux changements climatiques et environnementaux.

Tableau 67. Niveaux de résilience des indicateurs d'accessibilité pour l'accès maritime des villages et sites miniers en fonction des changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040 (2017-2040) au Nunavik

Cadre de résilience	Niveau de résilience de l'accès maritime des villages et sites miniers	Code couleur
Vulnérabilités < Capacités	Fort	
Vulnérabilités = Capacités	Modéré	
Vulnérabilités > Capacités	Faible	

10.7. Évaluation des vulnérabilités des composantes du transport maritime en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040

L'analyse de l'évolution des seuils limites de 22 paramètres et indicateurs climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040 permet de mettre en évidence trois constats.

- Certaines composantes du transport maritime continueront d'être influencées par la pérennité de certaines conditions climatiques et environnementales du Nunavik (i.e. vent, glace, brouillard).
- Les changements de la température de l'air, du régime de précipitation, du brouillard, des vents et des tempêtes, des conditions de glace et des conditions hydrologiques en lien avec les changements climatiques devraient accroître la vulnérabilité de certaines composantes du transport maritime.
- En fort contraste, le réchauffement climatique pourrait mener à l'émergence de nouvelles opportunités pour le transport maritime au Nunavik.

Le Tableau 68 résume les **faits saillants des niveaux de vulnérabilité des composantes du transport maritime en fonction des changements de chaque paramètre climatique et environnemental et de leur effet combiné produit par les changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040.**

10.7.1. Mouvement des navires et des barges en mer et en milieu côtier

L'analyse de l'impact des changements climatiques et environnementaux sur le mouvement des navires et des barges suggère peu de changement des niveaux de vulnérabilité de cette composante du transport maritime à l'horizon 2040 dans les villages du Nunavik (Tableau 68). À l'heure actuelle, les villages nordiques du Nunavik ne disposent pas d'installations portuaires et le mouvement des navires et des barges s'effectue essentiellement durant la saison de navigation été-automne. Les conditions d'accès des navires aux infrastructures maritimes, les opérations d'ancrage des navires à proximité des villages nordiques permettant le déchargement de marchandises sur des barges ou leur transport vers les sites d'infrastructures en eaux peu profondes ne sont pas susceptibles d'être plus vulnérables qu'actuellement à l'horizon 2040.

Par contre, l'augmentation des vagues de froid ($T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\min} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours) durant la saison de navigation hiver-printemps à l'horizon 2040 (Tableau 36) devrait accroître le niveau de vulnérabilité du mouvement des navires aux sites miniers à Baie Déception. Les vagues de froid pourraient mener à une présence accrue de glaces dans les eaux rendant la navigation difficile. L'augmentation du niveau de vulnérabilité pourrait entraîner des délais supplémentaires et modifier certaines procédures opérationnelles en lien avec le mouvement des navires.

Tableau 68. Niveaux de vulnérabilité des composantes du transport maritime aux changements climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Indicateur climatique et environnemental	Température maximale	Température minimale	Vague de froid	Variabilité importante de la température	Fortes pluies	Fortes pluies prolongées	Précipitations très intenses	Précipitations extrêmes	Pluies d'hiver	Pluie verglaçante	Forte neige	Accumulation de neige au sol	Brouillard léger	Brouillard dense	Jours de vents	Jours de grands vents	Jours de très grands vents	Tempête	Concentration de glace	Jours englacés	Gel et dégel	Baisse des niveaux d'eau
Seuil limite de l'indicateur	> 20°C	< -35°C	Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours	25°C	50 mm /24 heures	100 mm / 5 jours	Plus intenses que le 95 ^e percentile	Plus intenses que le 99 ^e percentile	25 mm	Tmin < 0°C et Tmax > 0°C	25 cm	90 cm	Visibilité maximale 2 km	Visibilité maximale 550 m	Vents ≥ 29 km/h	Vents ≥ 39 km/h	Vents ≥ 62 km/h	Vents ≥ 89 km/h	Concentration de glace de première année > 5/10 pendant moins de 2,39 semaines	Tmax < 0°C	Tmax > 0°C et Tmin < 0°C	0,40 à 13,50 m
Composante du transport maritime																						
Mouvement des navires en mer																						
Durée de la saison de navigation																						
Opérations de chargement/déchargement																						
Manutention de vrac sec																						
Manutention de vrac liquide																						
Manutention de la marchandise																						
Fonctionnement des équipements à bord des navires																						
Accès aux infrastructures et équipements maritimes																						

Niveau de vulnérabilité	Faible		Modéré		Fort	

10.7.2. Durée de la saison de navigation

L'augmentation des températures de l'air durant la saison été-automne (Tableau 36) pourrait permettre de prolonger la durée potentielle de la saison de navigation d'une vingtaine de jours à l'horizon 2040 en raison d'une diminution de la période d'englacement. Ces changements climatiques et environnementaux pourraient offrir une fenêtre élargie d'accès maritime aux villages nordiques du Nunavik et accentuer le potentiel de commerce dans les eaux de l'Arctique plus tôt au printemps et plus tard à l'automne si la demande de transport maritime était justifiée. Pour les sites miniers, une prolongation de la saison de navigation pourrait réduire les coûts logistiques des opérations de transport maritime de concentré de minerai à Baie Déception.

Mais les changements climatiques en lien avec la température de l'air, le régime de précipitations, le brouillard, les vents, les tempêtes et les conditions de glace ne devraient pas modifier de façon significative le niveau de vulnérabilité du calendrier de navigation maritime à l'horizon 2040 au Nunavik (Tableau 68). Malgré l'augmentation potentielle de l'aire géographique de service de transport maritime au Nunavik et la possibilité de prolonger les distances à parcourir dans les eaux de l'Arctique, les navires continueront d'être confrontés à la présence de glace pluriannuelle et annuelle durant la fenêtre de navigation de la saison été-automne.

10.7.3. Opérations de chargement/déchargement

À l'horizon 2040, les niveaux de vulnérabilité des opérations de chargement/déchargement du matériel de manutention à partir des navires au Nunavik devraient demeurer faibles pour l'ensemble des indicateurs climatiques et environnementaux à l'exception des niveaux de vulnérabilité des opérations maritimes en eaux libres pour les indicateurs climatiques de température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$), vague de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours), fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours) et tempêtes (vents ≥ 89 km/h) qui devraient augmenter (Tableau 68).

L'augmentation modérée du niveau de vulnérabilité en lien avec les températures minimales et les vagues de froid ne devrait affecter que les opérations de chargement/déchargement du matériel de manutention aux sites miniers à Baie Déception durant la saison hivernale. Cette augmentation du niveau de vulnérabilité devrait également affecter le personnel responsable des opérations en raison de risque d'hypothermie. Il pourrait en résulter une réduction des heures de travail à l'extérieur, des problèmes à l'utilisation des équipements de manutention et des retards dans les opérations de chargement/déchargement.

Les opérations maritimes en eaux libres dans les villages nordiques et les sites miniers du Nunavik devraient être confrontés à une augmentation modérée des niveaux de vulnérabilité en lien avec les fortes pluies prolongées durant la saison de navigation été-automne à l'horizon 2040 (Tableau 68). Cette hausse du niveau de vulnérabilité se traduirait par une augmentation des difficultés d'opération de

chargement/déchargement de grues hydrauliques, remorqueurs, barges et tuyaux flottants en raison d'une visibilité réduite et d'une baisse de productivité de la main-d'œuvre.

Le Tableau 68 démontre que les opérations de chargement/déchargement dans les villages et sites miniers du Nunavik seront fortement vulnérables aux tempêtes durant la saison été-automne à l'horizon 2040. Cette progression du niveau de vulnérabilité pourrait s'exprimer par des retards et une modification de l'agenda de planification des opérations maritimes. L'augmentation du niveau de vulnérabilité pourrait également accroître les problèmes de sécurité pour le personnel et même endommager les équipements de manutention.

10.7.4. Manutention de vrac liquide (produits pétroliers et chimiques)

Le Tableau 68 démontre que l'évolution des indicateurs climatiques de température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$), vague de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours), fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours), pluies d'hiver (25 mm) et tempête (vents ≥ 89 km/h) devrait accroître la vulnérabilité des opérations de manutention de produits pétroliers et chimiques au Nunavik à l'horizon 2040.

Durant la saison hivernale, les températures très froides pourraient accroître les possibilités de rupture et d'éclatement des tuyaux reliant le pétrolier aux réservoirs à Baie Déception pour acheminer le pétrole et augmenter ainsi le risque de déversement de produits dangereux. Les épisodes de vagues de froid pourraient affecter les pompes conventionnelles de déchargement de combustibles des navires aux réservoirs de carburant pour l'approvisionnement des sites miniers. Certaines séquences de défaillance peuvent survenir en raison de la dilatation et de la déformation des tuyaux qui nécessiteront un besoin accru de suivi et d'entretien. Les pluies hivernales pourraient entraîner un ruissellement plus important de l'eau de pluie en raison du sol gelé et augmenter les risques de santé et sécurité des travailleurs à Baie Déception.

Durant la saison été-automne, les activités de manutention de produits pétroliers des villages nordiques et sites miniers du Nunavik devraient être de plus en plus vulnérables aux fortes pluies prolongées. Cette vulnérabilité se traduirait par davantage de retard dans les opérations de déchargement de vrac liquide en raison d'une visibilité réduite.

L'augmentation potentielle de l'intensité, la durée et la fréquence de tempêtes devrait imposer une forte hausse du niveau de vulnérabilité des villages nordiques et sites miniers du Nunavik en entraînant un arrêt des opérations de déchargement de produits pétroliers et chimiques.

10.7.5. Manutention du vrac sec (concentré de minerai)

À l'horizon 2040, les opérations des secteurs de chargement de produits miniers à Baie Déception seront de plus en plus vulnérables aux changements des indicateurs

climatiques en lien avec température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$), vague de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours), fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours), pluies d'hiver (25 mm) et tempête (vents ≥ 89 km/h).

Durant la saison hivernale, le refroidissement extrême des températures de l'air pourrait accroître le niveau de vulnérabilité des opérations de chargement du concentré de minerai dans les navires à l'aide de convoyeur. Cette hausse modérée du niveau de vulnérabilité pourrait également avoir une incidence sur le transport terrestre par camion en raison d'une augmentation du risque de bris des véhicules. Par ailleurs les opérations de manutention de concentré de minerai dans un environnement glacial peuvent présenter des risques pour la santé et la sécurité humaine et mener à des interruptions de travail.

Le Tableau 68 démontre que les opérations de chargement de concentré de minerai seront fortement vulnérables aux fortes pluies prolongées durant la saison été-automne ainsi qu'aux pluies hivernales. Ces changements dans le régime de précipitations pourraient provoquer des inondations terrestres et une submersion des quais à Baie Déception imposant un important ralentissement des activités de transport terrestre des sites miniers ainsi qu'un frein à la fonctionnalité et l'efficacité des équipements de chargement de concentré de minerai. Les fortes pluies prolongées et les pluies d'hiver augmentent les risques de liquéfaction du concentré de minerai et entraînent un arrêt des opérations de chargement.

Les changements dans le régime des tempêtes avec des vents ≥ 89 km/h devraient accroître le niveau de vulnérabilité des activités de chargement de concentré de minerai en raison du risque potentiel de renversements des véhicules sur les voies d'accès terrestre, des possibilités de détérioration des infrastructures maritimes à Baie Déception et des restrictions imposées aux opérations de chargement.

10.7.6. Manutention de marchandises générales

À l'horizon 2040, la manutention de marchandises générales devrait afficher une hausse modérée du niveau de vulnérabilité en lien avec les indicateurs climatiques de température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$), vague de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours), fortes pluies prolongées (100 mm / 5 jours) et pluies d'hiver (25 mm). En outre, les entreprises minières et la population des villages nordiques qui dépendent totalement ou partiellement du transport maritime pour l'acheminement ou l'approvisionnement en marchandises générales devraient connaître une forte hausse de leur niveau de vulnérabilité en raison de changement dans le régime de tempêtes.

Ce ne sont que les opérations de manutention de marchandises générales à Baie Déception qui seront plus vulnérables par les températures très froides, les vagues de froid et les pluies d'hiver durant la saison de navigation hiver-printemps. Cette hausse modérée du niveau de vulnérabilité pourrait se traduire par des pannes plus fréquentes des équipements de manutention entraînant des délais supplémentaires dans les opérations de déchargement de marchandises générales. L'augmentation du nombre

de jours de pluies d'hiver pourrait entraîner une baisse de la visibilité pour les opérations de manutention de marchandises générales, accroître l'inconfort du personnel, augmenter le risque de chutes et d'accident. Ces changements des indicateurs de température et de précipitations pourraient mener à une hausse du niveau de vulnérabilité sur le plan de la productivité de la main-d'œuvre qui opère à Baie Déception.

Durant la saison de navigation été-automne, les opérations de manutention de marchandises générales seront plus vulnérables à de fortes pluies prolongées. Le mouvement par barge dans les villages nordiques sera davantage affecté par une visibilité réduite. À l'horizon 2040, ces changements climatiques pourraient mener à des séjours plus prolongés au sein des villages nordiques du Nunavik. Cette hausse du niveau de vulnérabilité devrait également retarder les opérations de déchargement de marchandises générales à Baie Déception en raison d'une hausse des risques de submersion des quais.

Ce sont les changements dans le régime de tempête qui imposeront la plus forte hausse de vulnérabilité dans la manutention de marchandises générales dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik durant la saison de navigation été-automne. Ces impacts pourraient mener à des arrêts complets plus fréquents des activités d'opérations de déchargement à l'horizon 2040.

10.7.7. Fonctionnement des équipements à bord des navires

Le Tableau 68 démontre que les changements climatiques et environnementaux ne devraient pas modifier de façon significative le niveau de vulnérabilité des équipements à bord des navires incluant les équipements de navigation et de communication, la salle des machines et les équipements en cas d'urgence des navires qui circulent au Nunavik à l'horizon 2040. Le niveau de vulnérabilité des équipements à bord des navires demeurera faible à l'exception de l'indicateur climatique de température minimale ($< -35^{\circ}\text{C}$) durant la saison de navigation hiver-printemps.

Les changements climatiques et environnementaux sont globaux. Mais l'industrie maritime renforce sa capacité d'exploitation des navires qui circulent sur les océans du globe incluant dans les eaux nordiques en adaptant les équipements à bord des navires à toutes les conditions climatiques. Il en résulte que l'impact des changements climatiques sur la vulnérabilité des équipements à bord des navires est relativement faible en raison d'avancées technologiques dans la construction navale.

Les températures extrêmes à Baie Déception durant la saison de navigation hiver-printemps, pourraient toutefois avoir le potentiel de créer des incidences sur le fonctionnement des équipements à bord des navires. Les canalisations des navires pourraient être sujettes à une plus grande possibilité de ruptures. Les turbines, moteurs et chaudières pourraient afficher un risque plus élevé de bris mécaniques. Ces changements des conditions de température de l'air pourraient exposer les navires à

des difficultés opérationnelles et une augmentation des frais d'entretien et de remplacement des équipements.

10.7.8. Accès aux infrastructures et équipements maritimes

Les villages nordiques du Nunavik disposent de brise-lames de protection, de rampes d'accès pour la desserte maritime, d'aires de services et d'entreposage, de pontons flottants, de chemins d'accès ainsi que différents équipements d'aides à la navigation. Baie Déception dispose en plus de quais.

L'analyse démontre que les changements climatiques et environnementaux ne devraient pas engendrer une hausse du niveau de vulnérabilité de l'accès aux infrastructures et équipements maritimes pour les villages et sites miniers au Nunavik à l'horizon 2040 (Tableau 68) à l'exception d'une augmentation du régime de tempêtes durant la saison été-automne.

Les changements en lien avec les tempêtes devraient hausser le niveau de vulnérabilité de l'accès aux infrastructures maritimes. Cette situation se traduirait par une modification de la planification des trajets de navigation et un risque accru de dérive des navires et d'accidents maritimes. Les capacités d'accès maritime des villages nordiques et sites miniers à Baie Déception pourraient également être limitées en raison d'endommagement accru des infrastructures maritimes causé par les surcotes et du dysfonctionnement des aides à la navigation (i.e. alignement lumineux) causé par des pannes de courant.

10.8. Évaluation des vulnérabilités d'accès maritime des villages nordiques et sites miniers en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040

Nos analyses démontrent qu'il existe une variation significative des niveaux de vulnérabilité évalués pour les composantes du transport maritime à l'échelle du territoire du Nunavik. Mais la grande variabilité des changements climatiques et environnementaux à l'échelle régionale et locale nécessite de raffiner l'analyse des niveaux de vulnérabilité pour l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik à l'horizon 2040.

10.8.1. Température de l'air

Eu égard aux **changements de la température de l'air**, le Tableau 69 montre que les changements climatiques en lien avec la température maximale (> 20°C) pourraient réduire le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques **d'Akulivik, Inukjuak, Kangiqsujuaq, Kuujjuarapik, Puvirnituk, Quaqtuq et Salluit** durant la saison de navigation été-automne à l'horizon 2040. Le tableau 69 indique que les charges futures résultants des changements climatiques en lien avec la température maximale seront moindres que les charges existantes. La hausse des températures

permettrait une plus grande facilité d'accès maritime à ces villages et pourrait faciliter les opérations de transport maritime.

Le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux sites miniers de **Baie Déception** devrait demeurer inchangé à l'horizon 2040.

Par contre, le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages **d'Aupaluk, Ivujivik, Kangiqsualujjuaq, Kangirsuk, Kuujjuaq, Tasiujaq et Umiujaq** devrait augmenter. Certaines procédures d'accès maritime devront sans doute être modifiées en raison d'une hausse des températures maximales durant la saison été-automne. Ce changement climatique pourrait poser des problèmes d'adaptabilité des transporteurs maritimes notamment pour la manutention de produits pétroliers.

Compte tenu de l'absence de quais et de services de transport maritime dans les villages nordiques du Nunavik durant la saison hiver-printemps, les changements climatiques en lien avec les températures minimales ($< -35^{\circ}\text{C}$) et les vagues de froid ($T_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < -25^{\circ}\text{C}$ pendant 3 jours) ne concernent que **Baie Déception**. La présence accrue de glace pourrait rendre la navigation et les opérations de chargement plus difficiles. Ces températures extrêmes pourraient accroître les dépenses énergétiques. Néanmoins, le niveau de vulnérabilité est qualifié de modéré (Tableau 69) en raison de l'utilisation de navires construits pour circuler dans les zones couvertes de glaces.

À l'horizon 2040, le Tableau 69 démontre que l'accès maritime de tous les villages nordiques du Nunavik sera confronté à une hausse du niveau de vulnérabilité en lien avec les changements climatiques associés aux variabilités importantes de la température (25°C en une journée). Cette vulnérabilité pourrait affecter la manoeuvrabilité des navires et accroître les risques des opérations de déchargement de produits pétroliers.

Tableau 69. Niveaux de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements de la température de l'air au Nunavik à l'horizon 2040

TEMPÉRATURE DE L'AIR												
	Température maximale			Température minimale			Vague de froid			Variabilité importante de la température		
	> 20°C			< -35°C			Tmax < -10°C et Tmin < -25°C pendant 3 jours			25°C		
	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT
Akulivik	2,00	- 1,06	0,94	3,36	- 1,52	1,84	24,36	- 4,55	19,81	0,00	0,02	0,02
Aupaluk	4,07	1,04	5,11	1,69	- 0,34	1,35	15,94	- 0,95	14,99	0,00	0,10	0,10
Baie Déception	--	- 2,69	2,69	--	- 4,06	4,06	--	23,00	23,00	--	0,08	0,08
Inukjuak	3,74	- 0,11	3,63	4,91	- 2,71	2,20	31,32	- 14,17	17,15	0,04	0,03	0,07
Ivujivik	1,41	0,66	2,07	0,47	3,54	4,01	22,77	- 0,35	22,42	0,00	0,04	0,04
Kangiqsualujuaq	6,28	1,93	8,21	0,32	2,08	2,40	11,66	2,31	13,97	0,02	0,32	0,34
Kangiqsujaq	1,71	- 0,60	1,11	0,12	1,66	1,78	14,54	6,04	20,58	0,02	0,03	0,05
Kangirsuk	2,56	1,04	3,60	1,97	0,56	2,53	21,43	- 3,16	18,27	0,00	0,22	0,22
Kuujuuaq	10,73	2,36	13,09	5,87	- 2,75	3,12	29,42	- 12,01	17,41	0,19	0,12	0,31
Kuujuarapik	11,70	- 0,10	11,60	5,12	- 3,27	1,85	24,41	- 10,74	13,67	0,14	0,05	0,19
Puvirnituk	5,63	- 1,96	3,67	5,45	- 2,14	3,31	29,60	- 9,38	20,22	0,00	0,07	0,07
Quaqtaq	17,25	- 17,08	0,17	1,64	- 0,25	1,39	16,30	1,11	17,41	0,01	0,01	0,02
Salluit	24,68	- 22,18	2,05	1,48	2,25	3,73	23,71	- 0,74	22,97	0,00	0,05	0,05
Tasiujaq	7,61	0,85	8,46	1,54	0,80	2,38	15,80	1,08	16,88	0,00	0,21	0,21
Umiujaq	8,24	2,52	10,76	0,38	2,25	2,63	7,69	7,10	14,79	0,00	0,18	0,18

ChE: Charge existante (1990-2016)

ChC: Charge liée aux changements climatiques (2017-2040)

Ch T: Charge totale

Niveau de vulnérabilité	Faible		Modéré		Fort	

10.8.2. Régime de précipitations

L'analyse du niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers du Nunavik associée aux **changements du régime de précipitations** à l'horizon 2040 permettent d'établir différents niveaux de vulnérabilité, en tenant compte du rapport entre charge existante (ChE) et charge totale (ChT) résultant des changements climatiques (ChC) (Tableau 70).

L'accès maritime durant la saison de navigation été-automne aux villages nordiques **d'Akulivik, Inukjuaq, Kangiqsujaq, Quaqtuaq, Salluit** et aux sites miniers à **Baie Déception** sera fortement vulnérable aux fortes pluies (50 mm en 24 heures), fortes pluies prolongées (100mm / 5 jours), précipitations très intenses et précipitations extrêmes à l'horizon 2040. Le mouvement des navires et des barges sera affecté par une visibilité réduite, des opérations de navigation seront plus difficiles et l'accès maritime pourrait être davantage affecté par des risques accrus d'inondations des quais et des aires de manutention du fret.

Les autres villages nordiques du Nunavik présentent différents niveaux de vulnérabilité d'accès maritime en lien avec l'évolution distincte des indicateurs du régime de précipitations durant la saison de navigation été-automne à l'horizon 2040 (Tableau 70). Ainsi, l'accès maritime du village d'**Aupaluk** serait soumis à une forte vulnérabilité aux fortes pluies et précipitations extrêmes. Mais Aupaluk afficherait un niveau de vulnérabilité modéré pour les épisodes de fortes pluies prolongées et un faible niveau de vulnérabilité pour les pluies très intenses. L'accès maritime au village d'**Ivujivik** serait peu vulnérable aux fortes pluies et aux pluies prolongées facilitant ainsi le mouvement des navires et des barges. Mais l'accès maritime à Ivujivik serait très vulnérable aux précipitations très intenses et aux précipitations extrêmes. L'accès maritime au village de **Kangiqsualujjuaq** serait très peu vulnérable aux fortes pluies, mais afficherait un fort niveau de vulnérabilité pour les fortes pluies prolongées, précipitations très intenses et précipitations extrêmes. L'analyse comparative de la charge existante et charge totale suggère que l'accès maritime au village de **Kangirsuk** serait fortement vulnérable aux fortes pluies et aux précipitations extrêmes mais faiblement impacté par les pluies prolongées et les précipitations très intenses. Le niveau de vulnérabilité du village de **Kuuujuaq** serait très élevé lors de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes.

Tableau 70. Niveaux de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements du régime de précipitations au Nunavik à l'horizon 2040

RÉGIME DE PRÉCIPITATION																		
	Fortes pluies			Pluies prolongées			Précipitations très intenses			Précipitations Extrêmes			Pluies d'hiver			Forte neige		
	50 mm en 24 heures			100 mm / 5 jours			Plus intenses que le 95e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			Plus intenses que le 99e percentile de la distribution des jours humides (+ 1 mm)			25 mm de précipitations et Tmin > 0°C			25 cm		
	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT
Akulivik	0,00	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02	5,20	2,05	7,25	0,72	1,03	1,75	0,00	0,03	0,03	0,03	- 0,023	0,007
Aupaluk	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	8,33	- 0,93	7,40	1,76	0,21	1,97	0,01	0,01	0,02	0,04	- 0,022	0,018
Baie Déception	0,00	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02	4,94	2,26	7,20	0,79	1,09	1,88	0,00	0,02	0,02	0,02	0,001	0,021
Inukjuak	0,00	0,03	0,03	0,00	0,07	0,07	7,98	0,88	8,86	1,36	0,81	2,17	0,00	0,03	0,03	0,03	- 0,022	0,008
Ivujivik	0,04	- 0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	5,72	1,98	7,70	0,96	0,81	1,77	0,01	0,00	0,01	0,02	- 0,016	0,004
Kangiqsualujuaq	0,06	- 0,05	0,01	0,00	0,07	0,07	10,32	2,43	12,75	3,03	0,17	3,20	0,02	0,01	0,03	0,23	- 0,209	0,021
Kangiqsujuaq	0,02	0,02	0,04	0,00	0,06	0,06	6,52	1,52	8,04	1,57	0,95	2,52	0,00	0,01	0,01	0,04	- 0,005	0,035
Kangirsuk	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	7,36	- 0,01	7,35	1,83	0,27	2,10	0,00	0,02	0,02	0,03	- 0,016	0,014
Kuujuuaq	0,01	0,03	0,04	0,00	0,05	0,05	8,94	- 0,36	8,58	1,93	0,30	2,23	0,04	- 0,01	0,03	0,12	- 0,085	0,035
Kuujuarapik	0,07	0,00	0,07	0,06	- 0,03	0,03	11,83	0,44	12,27	3,67	- 0,35	3,32	0,02	0,06	0,08	0,04	- 0,029	0,011
Puvirnituk	0,02	- 0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	6,39	1,62	8,01	1,29	0,78	2,07	0,00	0,02	0,02	0,02	- 0,009	0,011
Quaqtaq	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	3,76	3,46	7,22	0,43	1,70	2,13	0,02	- 0,02	0,00	0,07	- 0,042	0,028
Salluit	0,00	0,02	0,02	0,00	0,05	0,05	5,01	2,06	7,07	0,72	1,03	1,75	0,00	0,02	0,02	0,04	- 0,026	0,014
Tasiujaq	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	8,86	- 0,89	7,97	1,59	0,40	1,99	0,02	0,01	0,03	0,03	- 0,022	0,008
Umiujaq	0,05	- 0,01	0,04	0,06	- 0,01	0,05	10,78	1,18	11,96	2,47	0,69	3,16	0,01	0,06	0,07	0,05	- 0,039	0,011

ChE: Charge existante (1990-2016)

ChC: Charge liée aux changements climatiques (2017-2040)

ChT: Charge totale

Niveau de vulnérabilité	Faible		Modéré		Fort	

Mais les changements climatiques suggèrent peu de modification du niveau de vulnérabilité pour les précipitations très intenses. À l'horizon 2040, l'accès maritime au village de **Kuujuarapik** ne devrait pas être modifié de façon significative par les changements climatiques en lien avec les épisodes de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes. Mais Kuujuarapik devrait afficher une hausse du niveau de vulnérabilité de son accès maritime lors des périodes de précipitations très intenses. L'accès maritime du village de **Puvirnituk** serait faiblement vulnérable aux changements des épisodes de fortes pluies, mais serait très vulnérable aux changements en lien avec les pluies prolongées, les précipitations très intenses et les précipitations extrêmes. L'accès maritime au village de **Tasiujaq** serait fortement impacté lors des épisodes de fortes pluies, pluies prolongées et précipitations extrêmes. Mais l'analyse de l'évolution des changements climatiques en lien avec les précipitations très intenses suggère peu de vulnérabilité d'accès maritime pour le village de Tasiujaq. La comparaison entre la charge existante et la charge totale résultant des changements climatiques indique que l'accès maritime au village d'**Umiujaq** serait peu vulnérable aux périodes de fortes pluies et pluies prolongées, mais serait fortement vulnérable aux précipitations très intenses et précipitations extrêmes.

Les changements climatiques en lien avec les pluies d'hiver (25 mm de précipitations et $T_{min} > 0^{\circ}\text{C}$) et les fortes neiges (25 cm) n'affectent que l'accès maritime aux sites miniers à **Baie Déception** durant la saison hiver-printemps. Le Tableau 70 suggère que l'accès maritime à Baie Déception serait fortement vulnérable à ces changements climatiques en raison d'une baisse d'une visibilité réduite et de l'augmentation du risque lié à l'alourdissement de la neige et du besoin accru d'entretien des navires, des routes et aires de services.

10.8.3. Conditions de glace

Les deux paramètres environnementaux en lien avec les **conditions de glace** devraient affecter le niveau de vulnérabilité de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik (Tableau 71). Sur le plan négatif, en raison de l'absence de quai, tous les villages nordiques du Nunavik devraient afficher une hausse du niveau de vulnérabilité d'accès maritime en lien avec le cycle de gel et de dégel ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$). En effet, les villages devront adapter les pratiques de travail et les procédures d'entretien des infrastructures d'accès maritime. Ces changements climatiques devraient accroître les risques aux activités de déchargement de carburant et de marchandises générales et pourraient poser des problèmes de sécurité pour les travailleurs par la présence de glace sur les rampes d'accès. Seul **Baie Déception** apparaît peu vulnérable au cycle de gel et de dégel. Sur le plan positif, la charge totale souligne que la réduction du nombre de jours englacés ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) pourrait faciliter l'accès maritime de tous les villages nordiques et sites miniers du Nunavik durant la saison de navigation plus tôt au printemps et plus tard à l'automne. Il en résultera une plus grande efficacité dans les opérations liées aux mouvements des navires et des barges et aux activités de déchargement du fret.

Tableau 71. Niveau de vulnérabilité de l'accès maritime aux villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changements des conditions de glace au Nunavik à l'horizon 2040

CONDITIONS DE GLACE						
	Cycle de gel et de dégel			Jours englacés		
	Tmax > 0°C et Tmin < 0°C			Tmax < 0°C		
	ChE	ChC	ChT	ChE	ChC	ChT
Akulivik	6,60	10,21	16,81	83,42	- 5,34	78,08
Aupaluk	7,68	11,02	18,70	77,37	- 5,14	72,23
Baie Déception	--	15,65	15,65	88,39	- 3,95	84,44
Inukjuak	13,20	5,14	18,34	78,74	- 4,73	74,01
Ivujivik	6,38	10,59	16,97	86,26	- 2,98	83,28
Kangiqsualujuaq	9,19	10,22	19,41	76,46	- 6,26	70,20
Kangiqsujaq	8,60	8,41	17,01	86,43	- 3,64	82,79
Kangirsuk	7,52	10,12	17,64	82,21	- 6,36	75,85
Kuujuaq	16,90	2,23	19,13	74,40	- 5,15	69,25
Kuujuarapik	18,91	3,15	22,06	71,17	- 4,36	66,81
Puvirnituq	8,73	6,77	15,50	83,26	- 4,99	78,27
Quaqtaq	8,46	6,97	15,43	83,55	- 3,31	80,24
Salluit	7,91	8,05	15,96	88,18	- 3,56	84,62
Tasiujaq	7,78	10,57	18,35	76,43	- 6,04	70,39
Umiujaq	8,91	11,17	20,08	73,48	- 4,17	69,31

ChE: Charge existante (1990-2016)

ChC: Charge liée aux changements climatiques (2017-2040)

ChT: Charge totale

Niveau de vulnérabilité	Faible	Modéré	Fort

10.9. Évaluation de la résilience de l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers en fonction des paramètres climatiques et environnementaux au Nunavik à l'horizon 2040

La synthèse de l'effet combiné produit par les changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040 permet d'évaluer la résilience de l'accès maritime des villages et sites miniers du Nunavik en fonction de six indicateurs d'accessibilité (Tableau 72).

Tableau 72. Résilience des indicateurs d'accessibilité pour l'accès maritime des villages nordiques et des sites miniers du Nunavik en fonction des changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040

Villages nordiques	Desserte et accès aux infrastructures maritimes	État du navire et de ses équipements	État de la marchandise	Sécurité du personnel	Environnement	Temps de transport
Baie d'Hudson						
Akulivik						
Inukjuak						
Ivujivik						
Kuujuarapik						
Puvirnituq						
Umiujaq						
Détroit d'Hudson						
Kangiqsuaq						
Quaqtaq						
Salluit						
Baie d'Ungava						
Aupaluk						
Kangiqsualuq						
Kangirsuk						
Kuujuaq						
Tasiujaq						
Sites miniers						
Baie Déception						

Niveau de résilience	Faible vulnérabilité et Forte capacité d'adaptation	Équilibre entre vulnérabilité et capacité d'adaptation	Haute vulnérabilité et Faible capacité d'adaptation

10.9.1. Desserte et l'accès aux infrastructures maritimes

Les trafics maritimes au Nunavik évoluent selon les conditions démographiques locales et la conjoncture des marchés nationaux et internationaux des produits miniers. Certains villages affichent un espace restreint pour accueillir des navires. **Les villages nordiques du Nunavik affichent des limites sur les lieux de mouillage et d'amarrage.** Les bassins sont parfois trop petits et les chenaux d'accès maritime trop étroits, une situation qui pourrait accroître les dangers de navigation à proximité des

littoraux dans un contexte de changement climatique. **À l'exception du site minier de Baie Déception**, les villages nordiques ne disposent d'aucun quai en eaux profondes qui permet l'accostage de navires et n'ont pas les capacités d'accueil des navires en charge de plus de 35 000 tjb toute l'année. Les conditions d'ancrage des navires au lieu d'ancrage à proximité des villages sont variées en raison de différence dans la présence de haut-fond, direction et vitesse des vents, force des courants et conditions de la glace.

Notre synthèse suggère que les conditions actuelles de manœuvre d'approche des navires et la localisation des lieux d'ancrage pour **les villages d'Umiujaq, Kangiqsujaq, Salluit, Aupaluk et Tasiujaq** semblent les plus adéquates parmi tous les villages nordiques du Nunavik pour le mouvement des navires et des barges et le transfert de la marchandise dans un contexte de changements environnementaux liés à la variation des niveaux d'eau et conditions de glace. Bien que les infrastructures maritimes présentes répondent aux besoins des transporteurs maritimes et des communautés, l'absence d'infrastructures maritimes en eaux profondes ne permet pas d'offrir des services maritimes optimaux. Par ailleurs, aucun village ne dispose de vocation intermodale reliant le transport maritime à des moyens de transport terrestre entre villages. Il en résulte que **les villages nordiques et sites miniers qui disposeraient de surcapacité sur le plan de l'accès maritime ne sont pas en mesure d'absorber les problèmes d'accès et de desserte maritime d'autres villages du Nunavik dans un contexte de changement climatique et environnemental.**

10.9.2. État du navire et de ses équipements

À l'horizon 2040, les navires devraient grandement améliorer leur résilience aux changements climatiques et environnementaux grâce à la mise en place de nouvelles technologies incluant des systèmes de navigation électronique. **L'amélioration continue de la structure des navires, des machines et des équipements de manutention des marchandises devrait permettre aux navires de répondre aux modifications des conditions de navigabilité résultant des changements climatiques.** Cependant, le retour sur investissement dans un navire est d'environ 25 ans, durée de vie généralement acceptée d'un navire. Il en résulte que dans un contexte de changements climatiques et environnementaux, les transporteurs devront mettre en service de nouveaux navires ou modifier les navires existants.

Des éléments de preuve démontrent que l'industrie maritime adopte déjà ces mesures afin d'obtenir les gains estimés de résilience pour assurer une croissance soutenue et suffisante des activités de transport et desserte maritime au Nunavik dans un contexte de changement climatique. Ainsi le transporteur Fednav fait usage de drones aériens à bord de sa flotte pour connaître les conditions de glace. Par ailleurs, Enfotech, filiale de Fednav, a développé le système embarqué d'aide à la navigation Icenav. Ce logiciel permet la réception, l'affichage, la manipulation et le partage d'information sur les glaces incluant une image du radar marin pour une meilleure détection des conditions de glace.

10.9.3. État de la marchandise

La conteneurisation accrue devrait donner lieu à des améliorations du conditionnement des biens, des colis de marchandises générales et des produits dangereux. En outre, le transport maritime de marchandise conteneurisée devrait permettre de réduire la vulnérabilité de la marchandise lors du chargement par le transporteur maritime, du transport en mer et au moment de la livraison dans un contexte de changement climatique au Nunavik à l'horizon 2040. Cependant, l'évolution de la desserte maritime au Nunavik devra tenir compte d'une augmentation du trafic de marchandises liquides et solides en vrac, de marchandises générales et de produits dangereux. La capacité de certains équipements de manutention ou des tuyaux de déchargement pourrait être insuffisante.

Par ailleurs, les villages nordiques ne possèdent pas des espaces suffisants de qualité pour l'entreposage intérieur et extérieur permettant de protéger l'état de la marchandise dans un contexte de changement climatique. Considérant que les villages nordiques n'accueillent que de 2 à 4 navires par année, les marchandises doivent souvent être entreposées à l'extérieur. **Mais les villages nordiques ne disposent pas de conditions d'entreposage qui minimisent les risques qui peuvent altérer les produits en raison de changement de température, d'humidité ou de précipitations.** Les produits ne sont pas entreposés dans des bâtiments réservés exclusivement à cet usage fait de matériaux résistants sur une plate-forme de béton conforme à la réglementation applicable. Notre synthèse suggère que **les villages d'Akulivik, Inukjuak, Kangiqsualujuaq, Kangiqsujaq, Puvirnituk, Quaqtac et Salluit auraient des capacités insuffisantes** notamment en ce qui concerne la disponibilité d'aire d'entreposage **en fonction des seuils élevés de vulnérabilité** dans un contexte de changements du régime de précipitation (pluies prolongées, précipitations très intenses, précipitations extrêmes et pluies d'hiver). En outre, les **villages de Kangiqsualujuaq, Tasiujaq et Umiujaq afficheraient des capacités d'entreposage insuffisantes en raison de fort niveau de vulnérabilité des changements climatiques en lien avec les paramètres de température maximale, température minimale et vague de froid.**

10.9.4. Sécurité du personnel

Le système de sécurité du transport et de la desserte maritime au Nunavik présente un environnement de travail en mesure de réaliser les différentes fonctions durant le voyage en mer et des opérations de transbordement dans les villages nordiques et les sites miniers. Les changements climatiques en lien avec la température de l'air, le régime de précipitation, les tempêtes et les conditions de glace pourraient compliquer la sécurité des opérations de navigation et de transbordement, réduire la visibilité et accroître les risques d'accidents des membres d'équipage.

Les opérations liées à la navigation maritime représentent environ 10% des tâches d'un équipage au sein d'un navire commercial. L'organisation du travail à bord des navires est complexe. Outre les opérations de navigation, les tâches à bord

des navires sont multiples et liées à différentes opérations incluant l'inspection des câbles et cordages, l'entretien et le ravitaillement du navire, les manœuvres d'appareillage et de mouillage, le chargement/déchargement de marchandises, de vrac sec et de vrac liquide, le transbordement des remorqueurs et des barges ainsi que le maintien et l'exploitation de la salle des machines. Le travail d'équipe est un élément critique des opérations de transport maritime. Mais les villages nordiques du Nunavik affichent des caractéristiques différentes sur le plan des capacités d'accueil. Cette situation modifie les conditions de travail. Les transporteurs rencontrés ont indiqué que les changements climatiques pourraient être des facteurs de risques à bord des navires. Plus précisément, l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers du Nunavik dans un contexte de changements climatiques et environnementaux à l'horizon 2040 suggère que **le personnel sur les navires sera davantage exposé à des risques dans les villages d'Inukjuak, Kuujjuarapik, Puvirnituk, Quaqtaq, Kangisualujjuaq, Kangirsuk et Tasiujaq.**

10.9.5. Environnement

Le Nunavik affiche une très grande diversité sur le plan de l'environnement naturel (air, eau, sol et biodiversité). Il est démontré que les changements climatiques affectent la distribution des oiseaux côtiers, des mammifères marins, des ressources halieutiques ainsi que la communauté des plantes et la dynamique de succession au sein de l'écologie forestière au Nunavik.

La présente étude porte sur l'impact des changements climatiques sur les composantes du transport et de l'accès maritime dans les villages nordiques et les sites miniers du Nunavik. Une analyse systématique de la résilience de la biodiversité aux activités du transport maritime dans un contexte de changement climatique et environnemental s'inscrit bien au-delà du cadre de cette étude. Une telle analyse reposerait sur trois étapes méthodologiques: 1) sélectionner les composantes de l'environnement naturel (i.e. air, eau, sol, ressources, etc) et biologique (faune, flore); 2) analyser les interactions entre les composantes de l'environnement naturel et biologique et celles du transport maritime; et 3) évaluer comment ces interactions seront affectées par les changements climatiques et par les liens de causalité à travers laquelle toutes modifications de celles-ci peuvent menacer les processus de développement durable et accroître la vulnérabilité du transport maritime au Nunavik. Cependant il est possible de démontrer que **le mouvement des navires lors du transport en mer, au mouillage et lors de la manutention des marchandises au Nunavik pourrait soulever quelques enjeux environnementaux importants sur le plan de la qualité de l'air, de l'eau, de la gestion des ordures, des émissions de poussières, du déversement d'hydrocarbures et du transport de marchandises dangereuses qui pourraient affecter la résilience de l'environnement dans un contexte d'augmentation des activités de transport maritime et de changement climatique.**

10.9.5.1. Qualité de l'air

Les activités de l'industrie maritime produisent plusieurs millions de tonnes de polluants dans l'atmosphère chaque année. Il existe des preuves scientifiques suggérant que les activités de transport maritime contribuent à augmenter la température moyenne à la surface terrestre, bien que cette contribution soit moindre que celle des autres modes de transport. Ces activités libèrent des gaz à effet de serre (GES) tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitrique (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Ces gaz empêchent une certaine quantité de chaleur en provenance de la surface terrestre de s'échapper dans l'espace pour contribuer au réchauffement climatique et de façon concomitante à une modification des niveaux d'eau.

Les navires polluent l'atmosphère par l'émission d'oxydes de soufre (SO_x), d'oxydes d'azote (NO_x), de chlorofluorocarbones (CFC) et de halons (dérivés fluorés, chlorés et bromés des hydrocarbures employés comme liquides frigorigènes). Sur certains navires, les CFC sont utilisés pour la réfrigération des espaces à cargaisons, ainsi que pour l'isolation des cales, la climatisation et le refroidissement des compartiments à provisions alimentaires. Les halons sont utilisés dans les extincteurs portatifs et les systèmes fixes de protection contre les incendies. Les incinérateurs à bord des navires peuvent également contribuer à l'émission de polluants toxiques.

Les émissions de carbone en haute latitude ont un impact plus important sur la modification des paramètres géophysiques environnants. La présence de carbone noir sur la glace et la neige réduit l'albédo de la glace et de la neige, ce qui augmente l'absorption de radiations solaires et accélère la fonte des zones affectées. Les émissions de carbone par le transport maritime dans l'Arctique pourraient croître de 1% à 2,5% pour la période 2004-2050. Il est important de souligner toutefois que le trafic maritime commercial ne porte pas la responsabilité complète des émissions. En 2012, les bateaux de pêche produisaient entre 30%-45% des émissions de carbone dans l'Arctique. Force est d'admettre que l'impact du transport maritime sur la qualité de l'air au Nunavik sera marginal en raison du faible nombre de navires en circulation.

10.9.5.2. Qualité de l'eau

Un large éventail d'activités maritimes peut affecter la qualité de l'eau. Les principaux problèmes sont reliés aux eaux de lest et aux eaux usées des navires. Tous les navires utilisent des eaux de lest. Ces dernières sont pompées à bord du navire pour assurer son équilibre sur l'eau. Cette charge est requise pour contrôler la stabilité et le tirant d'eau des navires et modifier leur centre de gravité en fonction du poids du cargo transporté et de la répartition longitudinale des charges. Les eaux de lest sont donc nécessaires pour la sécurité de l'équipage, de la marchandise et des navires.

Pour les navires, les eaux de lest acquises dans une région peuvent contenir des espèces aquatiques indigènes. Si ces eaux de lest sont déchargées dans un autre milieu de réception propice, ces espèces aquatiques peuvent se reproduire, coloniser

de nouveaux milieux marins et bouleverser l'équilibre écologique des plans d'eau. Elles deviennent alors des espèces exotiques envahissantes nuisibles. C'est ainsi que furent introduites la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), la moule quagga (*Dreissena bugensis*), le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*) et même des plantes exotiques (la salicaire pourpre et le myriophylle à épi) qui sont devenues des espèces envahissantes et ont bouleversé la vie aquatique de plusieurs régions du monde. Le rythme d'invasion biologique est étroitement associé au volume de trafic maritime d'une région.

Les eaux usées sont les eaux d'égout des toilettes, des cuisines, les eaux provenant des locaux réservés aux soins médicaux, les eaux provenant des espaces où sont transportés des animaux, les eaux de cale de la salle des machines et les eaux de rinçage de cale. La vie marine peut être affectée ou détruite par le rejet des eaux sales des navires qui peuvent être biologiquement et chimiquement actives.

Un problème majeur persiste au Nunavik. Les navires domestiques canadiens ne sont pas assujettis aux réglementations sur les eaux de lest, ce qui leur permet de décharger et recharger sans surveillance. Les navires domestiques parcourent de plus courtes distances. Il en résulte une augmentation de la capacité de survie des espèces invasives dans les eaux de lest. Les eaux de lest traitées et stérilisées peuvent contenir des résidus de chlore. Ce risque de contamination est plus important dans la Baie d'Hudson. Entre 2005 et 2008, la Baie d'Hudson affiche une décharge d'eaux de lest estimée à 9 500 m³, soit la plus importante en termes de volume sur le territoire canadien.

10.9.5.3. Gestion des ordures

La croissance du commerce maritime entraîne une augmentation de la quantité d'ordures générées par les opérations quotidiennes sur les navires. Les déchets représentent un coût en termes de gestion et surtout de stockage ou d'enfouissement que doit supporter l'industrie. L'enjeu consiste donc pour l'industrie à identifier une façon de recycler les déchets, ou à produire des ordures qui soient biodégradables. Les ordures générées par les opérations de navires en mer ou à quai (i.e. ordures organiques, matières plastiques) posent de sérieux problèmes environnementaux, car elles peuvent contenir un très haut niveau de bactéries ou d'espèces propagateurs de maladies qui peuvent être dangereuses pour les écosystèmes marins lorsque rejetées dans l'eau. En outre, les ordures de plastique, de bois ou de métal qui persistent en surface, parfois pendant des années, peuvent entraver la navigation maritime en mer et peuvent également affecter les opérations à quai.

Les compagnies de navigation qui circulent au Nunavik ont mis en œuvre des systèmes de gestion environnementale. Mais les communautés nordiques ne disposent pas toujours des installations à quai adaptées à leurs exigences en matière de gestion des déchets.

10.9.5.4. Émissions de poussières

Les zones minières sont d'importants générateurs de revenus pour les économies régionales. Elles permettent d'attirer des entreprises variées, des activités de distribution liées au transport maritime ainsi que des services industriels complémentaires (entrepasage, logistique, etc.). Mais ces activités de circulation inhérentes aux opérations minières génèrent des émissions de poussière.

L'Organisation Maritime Internationale (OMI) a élaboré des codes et des pratiques dont certaines dispositions peuvent concerner les nuisances en matière de poussière. Mais les mesures d'atténuation de la poussière au Nunavik relèvent surtout des entreprises. Ces entreprises qui peuvent être sources de nuisances en matière de poussière doivent mettre en place, à leurs frais, des mesures d'atténuation appropriées lors du chargement ou déchargement des navires de vrac.

Au Nunavik, les émissions de poussière peuvent exercer un impact sur la qualité de l'écosystème par le rejet dans l'air de nuisances visuelles, physiques ou chimiques qui peuvent perturber les écosystèmes. La poussière peut être générée par l'entrepasage de sols ou d'agréats à ciel ouvert, les opérations de construction, le transport de matériaux, la manutention et le déversement de cargo en vrac. Les particules les plus fines ne nécessitent que peu de vents pour créer des amas de poussières. Les émissions de poussières transportées par le vent, les courants marins, les précipitations et l'hydrologie peuvent affecter l'alimentation et l'habitat de plusieurs espèces.

10.9.5.5. Déversement d'hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures est l'un des problèmes de pollution les plus sérieux des activités de transport maritime. Les principales sources d'émissions proviennent des activités de transbordement d'hydrocarbures des réservoirs des navires et des activités opérationnelles de la machinerie des navires. Ces émissions contiennent des composés aromatiques polycycliques (HAP), des BTX (benzène, toluène et xylène) et des métaux lourds (zinc, chrome, cuivre et cadmium) connus pour leur toxicité et qui posent un risque pour la santé et l'environnement.

Les côtes du Nunavik ont été relativement épargnées d'un déversement majeur d'hydrocarbures. Le seul incident connu concerne le déversement de 10 000 litres de diesel à Salluit lors d'une opération de ravitaillement par navire le 7 octobre 2015. Mais la croissance de la demande de transport maritime d'hydrocarbures vers le Nunavik s'exprime par l'augmentation de la taille ou du nombre de navires-citernes en circulation.

10.9.5.6. Transport de marchandises dangereuses

Une des activités importantes du commerce maritime concerne le transport de produits chimiques lourds. Parmi ceux-ci, citons l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, l'acide nitrique, la soude caustique, l'acide chlorhydrique, l'ammoniac, les alcools, les graisses

et huiles végétales et animales, les produits pétrochimiques et les produits du goudron et de houille.

L'un des enjeux consiste pour les expéditeurs à éviter les accidents et à répondre aux normes de qualité requises fixées par l'Organisation Maritime Internationale (OMI). En 2013, malgré le faible nombre d'incidents, 43% des navires qui circulaient dans les eaux de l'Arctique du Canada transportaient des marchandises dangereuses selon le code IMDG de l'Organisation Maritime Internationale (OMI).

10.9.5.7. Plans d'urgence

Les villages nordiques, les sites miniers et les navires doivent être en mesure de répondre rapidement à toutes les situations d'urgence résultant de leurs activités ou pouvant affecter leurs opérations au Nunavik. De façon davantage marquée, la capacité des villages nordiques, sites miniers et transporteurs maritimes à réduire les risques et à entreprendre rapidement des actions en réponse à des urgences, représente un incitatif économique. Ceci représente un incitatif auprès d'expéditeurs qui désirent s'associer à des transporteurs en mesure de répondre à des situations de crise.

Les changements climatiques pourraient entraver ou interrompre les activités des transporteurs maritimes au Nunavik pouvant entraîner une variété d'accidents (i.e. déversement de produits toxiques, incendies, explosions) et nécessiter la protection ou l'évacuation de personnes, la protection des produits et équipements et la sécurisation des périmètres. Les compagnies maritimes qui circulent au Nunavik suivent les mesures des Conventions MARPOL et du code international pour la sûreté des navires. Les villages nordiques disposent de bateaux et d'équipes de recherche et de sauvetage. Mais l'Arctique canadien ne dispose d'aucun port refuge afin d'accueillir des navires en cas d'intempéries ou permettant la prise en charge des réparations en cas de panne ou d'accident bénin.

Transport Canada a enregistré 293 accidents maritimes dans l'Arctique entre 1995 et 2004. La capacité d'intervention en cas de déversement ou accident est limitée en région très éloignée. Lorsqu'un incident survient en Arctique, des équipes d'intervention en recherche et sauvetage (SAR) doivent se rendre sur les lieux pour aider à la phase d'intervention. Pour la côte est du Canada, allant jusqu'à la Baie d'Ungava, le Joint Rescue Coordination Centre (JRCC) Halifax coordonne les activités de recherche et de sauvetage, en partenariat avec la Garde Côtière Canadienne, qui assiste dans les opérations. Pour la zone de la Baie d'Hudson et du reste du Détroit d'Hudson, JRCC Trenton est responsable de l'intervention.

10.9.6. Temps de transport

Il faut plusieurs jours, voire des semaines pour acheminer des produits par navire des ports du Saint-Laurent jusqu'à la destination finale au Nunavik. De même, le cadre temporel des séquences des opérations de mouillage, d'amarrage, de quaiage, de déchargement sur les barges et le transport jusqu'à l'infrastructure maritime des villages

nordiques et les sites miniers se compte en jours et non en heures. **Les changements climatiques et environnementaux ne devraient pas modifier le niveau de résilience des villages nordiques et sites miniers sur le plan des temps de transport à l'horizon 2040 en l'absence de quai en eaux profondes ou de modification des conditions d'opération des navires.**

Le quai en eau profonde du site minier de **Baie Déception** offre un fort niveau de résilience aux changements climatiques sur le plan des temps de transport toute l'année. Le village nordique d'**Umiujaq** devrait également afficher une faible vulnérabilité et un fort niveau de capacité avec des temps moyen d'attente et de transbordement de moins de 36 heures. Ce niveau de résilience correspond au haut niveau de résilience des indicateurs d'accessibilité de la desserte et l'accès aux infrastructures maritimes ainsi que la sécurité du personnel.

L'analyse de données pour la période 2005-2014 suggère que les opérations maritimes nécessitent environ 72 heures de travail dans les villages nordiques d'Akulivk, Ivujivik, Salluit, Aupaluk et Tasiujaq. Les changements climatiques et environnementaux ne devraient pas entraîner une réduction des temps d'attente et de déchargement des navires dans ces villages et maintiendront le niveau de résilience du temps de transport à l'horizon 2040.

Les villages d'Inukjuak, Kuujjuarapik, Puvirnituk, Kangiqsujuaq, Quaqtaq, Kangiqsualujjuaq, Kangirsuk et Kuujjuaq affichent un faible niveau de résilience en termes de temps de transport. La durée moyenne est supérieure à 3 jours pour le déroulement des différentes activités de desserte maritime notamment le temps de mouillage et d'amarrage ainsi que pour les opérations de chargement/déchargement de marchandises générales, de liquides en vrac, dangereuses et de conteneurs. L'analyse suggère qu'il n'est pas du tout anticipé que les changements climatiques et environnementaux permettront d'accroître la résilience de ces villages sur le plan du temps de transport à l'horizon 2040. Ce temps pourrait d'ailleurs s'accroître avec une hausse des trafics maritimes.

11. RECOMMANDATIONS DE SOLUTIONS D'ADAPTATION POUR ASSURER LA RÉSILIENCE DES COMPOSANTES DU TRANSPORT ET DE LA DESSERTE MARITIME DES VILLAGES NORDIQUES ET SITES MINIERS AU NUNAVIK

Cette étude a démontré que les composantes du transport et de l'accès maritime au Nunavik sont impactées à des degrés divers par les conditions climatiques et environnementales et prévoit que cette vulnérabilité persistera dans le futur. L'analyse a mesuré les risques pour les composantes du transport maritime ainsi que la vulnérabilité pour le transport, la desserte et l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changements climatiques à l'horizon 2040.

11.1. Objectif

L'objectif de ce chapitre consiste à proposer et évaluer différentes solutions d'adaptation et alternatives pour accroître ou assurer la résilience des activités de transport et de desserte maritime des villages et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changement climatique et environnemental à l'horizon 2040.

11.2. Méthodologie

La réalisation de l'analyse comporte quatre étapes méthodologiques:

1. Présenter une définition des capacités d'adaptation;
2. Identifier et évaluer les solutions d'adaptation des composantes du transport maritime;
3. Identifier et évaluer les solutions d'adaptation pour la desserte maritime des villages nordiques et des sites miniers;
4. Identifier et évaluer de possibles alternatives à l'approvisionnement par transport maritime en termes de prolongement des corridors terrestres, de l'approvisionnement alternatif en source d'énergie et d'utilisation de dirigeables.

11.3. Capacités d'adaptation

Les capacités d'adaptation réfèrent à une série de connaissances, talents, ressources, que les transporteurs maritimes, villages nordiques et sites miniers peuvent prétendre, accéder ou recourir pour remédier aux risques des changements climatiques et environnementaux au Nunavik.

Les capacités d'adaptation doivent être considérées dans un sens plus large que la capacité de réponse (Kelman et al, 2017). Des mesures d'adaptation spécifique peuvent inclure une modification de la sensibilité des composantes du transport maritime aux perturbations climatiques et environnementales, une amélioration de la résilience, une réduction de l'exposition des composantes du transport maritime aux changements climatiques et environnementaux, etc.

Compte tenu des considérations précédentes, les capacités d'adaptation impliquent deux volets: 1) la capacité des composantes du transport maritime de confronter les aléas climatiques et environnementaux; et 2) la capacité d'améliorer les conditions de nature géographique, physique, technique, opérationnelle ou économique qui influencent la capacité des composantes du transport maritime à répondre aux conséquences des changements climatiques et environnementaux incluant de prendre avantage d'opportunités. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), plusieurs types d'adaptation aux changements climatiques et environnementaux progressifs qui créent des problèmes lorsqu'un seuil limite a été franchi sont possibles: adaptation préventive ou réactive, privée ou publique, autonome ou prévue (IPCC, 2001).

La présentation d'un inventaire exhaustif de recommandations de solutions d'adaptation par niveau de risque, de vulnérabilité ou de résilience pour toutes les composantes du transport et de l'accès maritime pour chaque village nordique et site minier au Nunavik dans un contexte de changement climatique et environnemental serait un exercice fastidieux et n'aurait pas de portée significative. Cependant les données collectées et les analyses effectuées au niveau micro (i.e. par village ou composante de transport maritime) sont pertinentes pour définir des solutions d'adaptation simple et robuste à un niveau plus important (i.e. Nunavik).

11.4. Solutions d'adaptation des composantes du transport maritime au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040

Les mesures d'adaptation des composantes du transport maritime au Nunavik en réponse aux changements climatiques doivent être élaborées dans le contexte d'une croissance de la demande de transport sous l'effet de l'accroissement rapide de la population au Nunavik. Les changements climatiques devraient prolonger la saison de navigation et maintenir les impacts de plusieurs paramètres climatiques.

Trois principales solutions d'adaptation sont suggérées:

- Améliorer les connaissances climatiques et environnementales futures pour l'analyse d'impact, l'adaptation et la navigation maritime incluant les prévisions météorologiques et la bathymétrie ;
- Favoriser le renouvellement de la flotte de navires dotés d'équipements de pointe ;
- Construire un port refuge.

11.4.1. Améliorer la prévision météorologique quotidienne pour le Nunavik

Les paramètres climatiques analysés dans cette étude pour évaluer les changements climatiques sont également des éléments météorologiques et les prévisions météorologiques constituent un enjeu majeur pour les transporteurs maritimes. Les prévisions quotidiennes sont particulièrement importantes pour déterminer l'ordre des escales, car les aléas climatiques notamment les conditions de glace, le vent et le

brouillard seront déterminants pour l'ancrage des navires et pour décider si les opérations de transfert de la marchandise du navire sur les barges et le mouvement des barges peuvent s'effectuer en toute sécurité. Malgré une bonne prévision météorologique, les changements des conditions climatiques entraînent des délais et exercent un impact sur la totalité du voyage. Des prévisions inexactes sont des problèmes communs évoqués par les capitaines de navire. Cette préoccupation est particulièrement préoccupante sur le plan de la précision des prévisions météorologiques pour diverses zones maritimes parallèlement avec le besoin de prévisions à long-terme d'Environnement Canada.

Le besoin de prévisions météorologiques précises se maintiendra face au changement climatique au Nunavik. La faiblesse des stations d'observation représente un enjeu majeur à la prévision météorologique du Nord et de l'Arctique. Mais le problème n'est pas seulement une question d'améliorer les modèles en provenance des observations synoptiques, mais de reconnaître les caractéristiques particulières de chaque village et site minier au Nunavik sur les prévisions météorologiques locales. **Les autorités du Nunavik soutenue par Environnement Québec doivent faire des représentations conjointement avec le gouvernement du Nunavut pour affiner la précision et l'étendue des prévisions météorologiques d'Environnement Canada.**

Bien que l'aspect coût du maintien de stations météorologiques officielles par Environnement Canada représente un facteur qui restreint leur distribution à l'ensemble de la zone Arctique, **cette agence gouvernementale n'a encore établi aucun observateur météorologique local au Nunavik comme ailleurs au Canada.** Ceci représente une opportunité pour Environnement Québec et les autorités au Nunavik pour parrainer des citoyens observateurs dans chaque village comme moyen d'assembler et de diffuser de données climatiques. Cela serait particulièrement opportun dans les villages nordiques du Nunavik où les stations météorologiques sont situées à une certaine distance dans les terres aux aéroports. Parallèlement, les observations météorologiques quotidiennes provenant de navires qui circulent à travers les eaux nordiques et font escale dans les villages pour le transfert de marchandises pourraient être transmises à Environnement Canada en tant que contributions locales additionnelles à des fins de prévisions météorologiques.

11.4.2. Améliorer les modèles climatiques pour le Nunavik

Les spécialistes du climat reconnaissent que les prévisions du changement climatique sont limitées en ce qui concerne la question d'échelle. Les prévisions régionales employées dans le cadre de cette étude sont issues de modèles climatiques généraux globaux. **C'est une chose de prédire les caractéristiques du changement climatique sur la base de données d'entrée selon un moyenne établie couvrant de grandes surfaces du globe, c'est un autre défi que de désaggréger les interactions climatiques sur des unités de surface de plus en plus petite.** C'est la raison pour laquelle les prévisions offertes pour cette étude par Ouranos sont générales et affichent des difficultés à prévoir les caractéristiques plus fines du changement climatique au niveau des villages et à fournir des indications sur les tendances futures

de paramètres clés tels que le vent et le brouillard. **Il sera éventuellement important d'effectuer des prévisions des changements climatiques à mesure que de nouveaux modèles régionaux deviennent disponibles. Ouranos doit être mandaté pour mettre à jour régulièrement les prévisions climatiques du Nunavik.**

11.4.3. Développer une meilleure connaissance de la bathymétrie pour le Nunavik

Les informations disponibles sur la bathymétrie nordique sont fragmentées. Environ 10% des eaux de l'Arctique seraient cartographiées. Le gouvernement canadien ne possède pas de données publiques au-delà de 51 degrés de latitude pour la bathymétrie de son territoire. L'Arctic Marine Shipping Assessment (AMSA) et la General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) disposent d'une cartographie des profondeurs de la baie d'Hudson et du détroit d'Hudson entre 200-500 mètres. Le peu de données bathymétriques disponibles dans certaines zones côtières à l'approche des lieux d'ancrage est problématique.

Les transporteurs maritimes collectent de grandes quantités de données numériques, cartographiques et littérales. **Nous estimons que la réduction de la vulnérabilité de la navigation maritime commerciale au Nunavik devrait être effectuée dans le contexte du développement de la navigation intelligente.** La navigation intelligente repose sur l'interconnectivité entre systèmes d'information. En effet, les navires sont une partie intégrante des chaînes logistiques. **Dans un contexte d'augmentation de la résilience de la navigation maritime commerciale au Nunavik, il est recommandé que les initiatives de la navigation intelligente promues par le Conseil national de recherche du Canada devraient 1) colliger et analyser les informations que possèdent les transporteurs maritimes plutôt que simplement le mouvement des navires au Nunavik; et 2) utiliser les modèles d'intelligence artificielle pour améliorer les connaissances sur le vent du large, les vagues, les marées et les courants marins au Nunavik.**

11.4.4. Faciliter l'adoption de nouvelles technologies pour améliorer la sécurité et la performance des navires

Les changements climatiques au Nunavik exigeront que les navires s'adaptent à une plus longue saison de navigation. Paradoxalement, les transporteurs seront tentés de pénétrer dans les eaux Arctiques plus tôt qu'auparavant lorsque les conditions de glace peuvent continuer à présenter un danger. Les transporteurs nécessiteront davantage de dispositifs perfectionnés de navigation pour opérer dans des conditions de vent et de visibilité qui causent présentement des délais opérationnels et devront employer des moteurs plus écoénergétiques dès qu'ils deviennent accessibles. Le changement technologique est la principale mesure d'adaptation que l'industrie maritime doit poursuivre pour répondre aux défis des changements climatiques tout en préservant sa rentabilité commerciale.

Au Nunavik, comme ailleurs au Canada, le trafic côtier est réservé à des navires battant pavillon canadien. Historiquement les navires devaient être construits au Canada,

opérés avec un équipage canadien et être sous propriété canadienne. Inévitablement, ces prescriptions donnèrent lieu à des coûts d'immobilisation et d'exploitation plus élevés pour le transport côtier que les autres trafics commerciaux. Ainsi un navire exportant des marchandises d'un port canadien n'était pas assujéti à cette réglementation et conséquemment bénéficiait d'un avantage économique considérable. Si une compagnie de transport maritime canadienne optait pour l'achat d'un navire construit à l'étranger, un droit d'importation de 25% était applicable.

Pendant plusieurs années, le trafic maritime côtier fut limité non seulement par des coûts élevés, mais également en raison des avancées technologiques qui accentuèrent les différences entre les chantiers navals canadiens et étrangers. Les chantiers navals canadiens n'étaient pas en mesure d'offrir des technologies équivalentes à un prix que les transporteurs maritimes canadiens pouvaient se permettre d'acheter. Le droit d'importation de 25% produisit un effet dissuasif sur l'amélioration technologique.

Le trafic de cabotage dans les eaux Arctiques était davantage limité. D'une part ces navires devaient être plus avancés sur le plan technique que les autres navires canadiens parce qu'ils fréquentent les eaux de l'Arctique (nécessité de résistance à la glace, meilleur système d'aide à la navigation, etc). D'autre part, ils ne peuvent entrer en concurrence ailleurs durant la saison hiver-printemps en raison des coûts intrinséquement plus élevés que les autres types de navire.

En 2013, le droit d'importation de 25% fut aboli et les compagnies maritimes canadiennes peuvent désormais se procurer de nouveaux navires à l'étranger. Ce changement de politique est perçu comme une possibilité de revitaliser le trafic maritime côtier et est exploitée par des compagnies dont Logistec et Oceanex. Néanmoins, les recherches académiques démontrent que des subventions directes sont plus efficaces pour faciliter la transformation technologique de l'industrie maritime du cabotage (Hodgson & Brooks, 2004). À la lumière de cette preuve **il est recommandé que les compagnies impliquées dans le transport maritime Arctique étudient les possibilités d'obtenir un support financier pour faciliter les adaptations technologiques de leurs navires d'agences provinciales et fédérales chargées de promouvoir les innovations technologiques.**

11.4.5. Construire un port refuge au Nunavik

Le potentiel d'accidents dans les eaux Arctiques confirme le bien fondé de mesures et de pratiques pour porter assistance à un navire en difficulté (Transport Canada, 2013; 2014; CCA, 2016). **Le niveau de résilience aux changements climatiques d'un navire, de son équipage et de sa cargaison, des passagers croisiéristes, de l'environnement, des communautés côtières et des équipes de sauvetage peut être atténué par la présence d'un port refuge.** Un tel port fournirait un abri et garantirait la sécurité des navires dans toutes les circonstances climatiques. Un port refuge aurait les capacités nécessaires pour réparer les navires et disposerait des moyens pour lutter contre le déversement d'hydrocarbures dans les eaux arctiques. Un port refuge disposerait également de la capacité d'offrir des services médicaux pour les

blessés et un hébergement provisoire pour les autres membres de l'équipage affectés par les pannes de navire et les accidents.

Le Canada ne possède pas un port refuge désigné pour les navires ayant besoin d'assistance dans l'ensemble de l'Arctique et n'a ni adopté une politique nationale pour répondre aux demandes de ports refuges et d'intervention en cas d'urgence, malgré les obligations du Canada en vertu de différents traités.

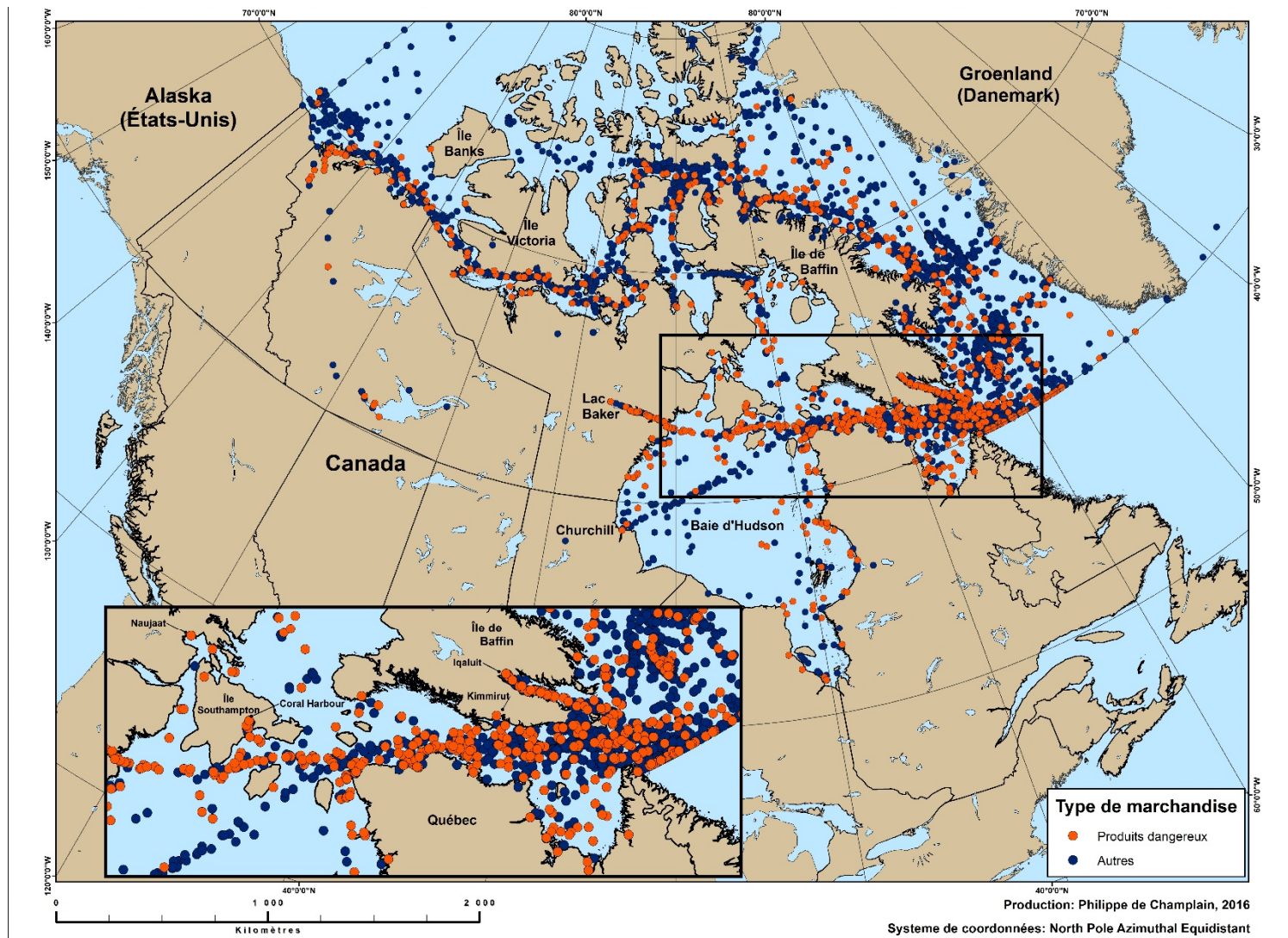
L'entrée progressive de transporteurs internationaux et domestiques dans les eaux de l'arctique canadien et susceptible de s'accroître en raison des changements climatiques. Le Canada sera tenu d'examiner la question de port refuge en particulier en raison des primes d'assurance élevées imposées aux transporteurs maritimes et par le besoin de renforcer sa souveraineté territoriale sur cette région. Considérant l'étendue de ses eaux territoriales, au moins deux ports refuges devront être construits, l'un dans l'Ouest de l'Arctique et l'autre dans l'Est.

Les ports refuges ailleurs dans le monde sont des ports existants désignés où les infrastructures, les équipements et les ressources humaines sont en place. Ceci n'est pas possible en Arctique. La gamme des services nécessaires comparables aux ports refuges ne peut être reproduite notamment des cales sèches, un chantier naval et des ateliers de réparation. Plutôt **le port refuge devrait 1) répondre rapidement afin que les équipements et le personnel nécessaires puissent être acheminés par avion à un aéroport à proximité; 2) être situé aussi proche que possible des principales lignes maritimes; 3) disposer d'eaux profondes capables d'accueillir les grands navires océaniques.**

Ces trois déterminants devront également prendre en considération divers facteurs environnementaux du site incluant l'abri contre les tempêtes, faible incidence de brouillard, longue période d'eaux libres, faible amplitude de marée, soit des facteurs qui peuvent contribuer à déterminer le choix final d'un port refuge d'un éventail de sites qui possèdent les trois conditions préalables.

Le Nunavik possède plusieurs sites potentiels pour l'établissement d'un port refuge puisqu'il occupe la partie méridionale du Détroit d'Hudson, principale route de navigation d'accès à la Baie d'Hudson et l'Arctique orientale et également principale voie maritime où s'effectue la livraison de marchandises dangereuses (Figure 13). Il serait utile d'explorer cette possibilité. Le choix d'un site pour un port refuge stimulerait de façon importante le développement économique régional. Les infrastructures telles qu'un quai, une expansion aéroportuaire et des installations médicales pourraient exercer un pouvoir d'entraînement pour l'implantation de futures activités économiques créatrices d'emplois.

Figure 13. Trafic maritime de marchandises dangereuses dans l'Arctique Canadien, 2013



11.5. Solutions d'adaptation d'accès maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040

La navigation commerciale actuelle au Nunavik comprend deux types distincts et largement indépendants. Le premier concerne l'exportation de minerais de Baie Déception par de grands vracquiers vers les marchés domestiques et étrangers. Le second, soutenu par des navires côtiers de plus petite taille, alimente 14 villages nordiques et Baie Déception en carburant et marchandises générales qui proviennent essentiellement de Québec et de Montréal.

Les expéditions de minerais de Baie Déception sont partiellement déterminées par des facteurs d'approvisionnement et de coûts aux deux sites miniers, mais essentiellement par la demande du marché et le prix du minerai. Le site de Baie Déception dispose d'infrastructures portuaires liées aux quais et de superstructures portuaires en lien avec la gestion du fret. Tel que démontré dans l'étude, le climat exerce moins d'impact sur les opérations maritimes. Les navires peuvent faire escale environ 11 mois par année.

En fort contraste, les 14 villages nordiques du Nunavik ne disposent pas d'installations portuaires et tout le fret doit être transféré sur des barges à partir des navires qui sont ancrés *offshore*, mais le plus près possible des villages. L'utilisation de barges et de tuyaux flottants est influencée par les intempéries, les conditions de glace et la marée. Le processus logistique de déchargement/chargement prend beaucoup de temps, est très dispendieux et soulève d'importants risques d'accidents et de déversements. Ajoutons que chaque voyage implique plusieurs milliers de kilomètres alors que le volume de fret transporté est relativement faible. Ces deux contraintes sont aggravées par la durée de la saison de navigation.

L'analyse de la desserte et l'accès maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik montre qu'à l'exception du site minier de Baie Déception, aucun village nordique ne dispose d'infrastructures portuaires. Aussi, plusieurs villages nordiques ne possèdent pas des espaces suffisants pour l'entreposage permettant de protéger l'état de la marchandise dans un contexte d'intempéries.

Deux solutions d'adaptation sont suggérées:

- Construire des infrastructures portuaires au Nunavik ;
- Former du personnel maritime au sein des villages du Nunavik.

11.5.1. Construire de nouvelles infrastructures portuaires au Nunavik

Les changements climatiques que prédit cette étude sont susceptibles d'entraîner la perpétuation des mêmes contraintes météorologiques et environnementales (avec quelques modifications) qui posent des défis pour le transfert efficace et sécuritaire des marchandises du navire vers la côte en raison de l'absence d'infrastructures portuaires. Le contraste entre les villages nordiques et Baie Déception fournit les éléments étayant

cette affirmation. Les infrastructures portuaires représentent la meilleure solution pour minimiser les risques, réduire les vulnérabilités, accroître la résilience, diminuer les coûts et les délais associés à la livraison de marchandises dans un contexte de changement climatique et environnemental. Non seulement une infrastructure portuaire viendrait neutraliser les effets négatifs des changements climatiques mais affecterait positivement le développement socio-économique du Nunavik.

Chaque village du Nunavik n'accueille que de 2 à 4 navires par année (Chapitres 4, 5 et 6). La construction d'un port est donc hors de portée des villages nordiques. Ces infrastructures sont onéreuses et la demande actuelle ne saurait les justifier du point de vue commercial. Il en résulte que toute décision de construire une infrastructure portuaire sera politiquement et socialement controversée. Nonobstant ces contraintes, **il est possible de proposer différentes solutions d'adaptation d'accès maritime des villages et sites miniers du Nunavik en fonction des risques et vulnérabilités en lien avec les changements climatiques.**

11.5.1.1. Construction d'un port dans chaque village du Nunavik

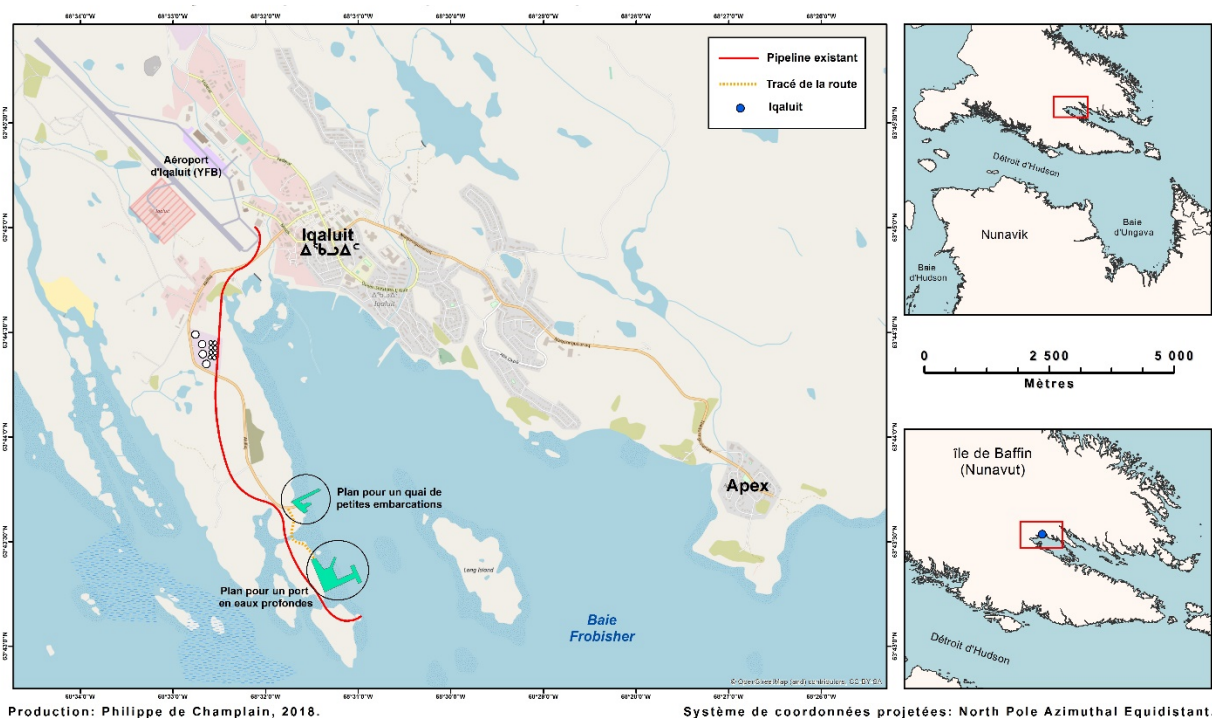
Si le fret pouvait être transféré directement des navires à un quai, le temps de traitement des navires serait alors plus rapide, les coûts seraient réduits et le transfert de fret serait plus sûr. **De telles infrastructures pourraient transformer la desserte et l'accès maritime des villages nordiques en augmentant le nombre d'escales par voyage, potentiellement réduire le nombre de navires pour la prestation de services et accroître la résilience des villages nordiques du Nunavik en fonction des futures conditions météorologiques et environnementales.**

Le principal obstacle concerne les coûts en capital. Les entrevues en profondeur menées auprès de membres de Construction Défense Canada et Services publics et approvisionnement Canada démontrent que les coûts de construction d'infrastructures portuaires dans l'Arctique sont trois fois supérieurs à ceux de projets similaires au Québec méridional. À titre d'exemple, la compagnie Xstrata a dépensé 50 millions \$ pour rénover son quai à Baie Déception. Le réaménagement du port déclassé qui desservait la principale mine de zinc et de plomb à Nanisivik au Nunavut en une nouvelle installation pour les navires de la Marine royale du Canada est estimé à 140 millions \$.

La construction d'un port en eaux profondes à Iqaluit a été annoncée en mars 2017 (Varga, 2017a). Le port sera localisé à l'ouest du passage de Koojesse. Le port occupera un espace d'environ 40 000 m². Les installations devraient inclure un quai fixe et une rampe de déchargement pour les barges (Figure 14). Le quai permettra aux navires de décharger différents types de fret en tout temps indépendamment de la marée. Le fret pourra être déchargé sur une aire de dépôt et acheminé par camion jusqu'à destination. Il est prévu que le temps de déchargement soit quatre à cinq fois inférieur qu'il ne l'est aujourd'hui. Les plans incluent également un embranchement pour la conduite de mazout afin d'améliorer la sécurité et l'efficacité du service de ravitaillement par les navires. Les coûts de construction de l'ensemble de ces mêmes

installations étaient estimés à 84,9 millions \$ dont 63,7 millions \$ proviendront du Fonds Chantiers Canada et 21,2 millions \$ du Gouvernement du Nunavut. Le projet requiert des activités de dragage pour créer une base stable et solide au fond de la mer nécessaire pour construire l'infrastructure maritime (Frizzell, 2017). Les travaux devraient se terminer à l'automne 2020 et le port devrait entrer en opération pour la saison de navigation 2021.

Figure 14. Projet de port en eaux profondes à Iqaluit



Source: Open Street Map, Base Map, ArcGIS

L'estimation des coûts en capitaux de 41,85 millions \$ à Iqaluit appliquée aux 14 villages du Nunavik représente un investissement de 589,5 millions \$. Si un coût de 84,9 millions \$ était retenu pour la construction d'un port, le montant des investissements pour tous les villages du Nunavik serait de 1188,6 millions \$. Ce montant est bien au-delà de la capacité des villages de justifier un tel investissement sur le plan commercial. Par ailleurs, il convient de remarquer qu'alors que la population de chaque village du Nunavik augmente, il est peu probable qu'à l'horizon 2040, un seul de ces villages puisse afficher le même poids démographique qu'Iqaluit affiche soit 7 000 habitants.

La construction d'un port dans chaque village du Nunavik relève d'une décision politique à l'instar des diverses ententes entre les communautés inuites, le Gouvernement du Québec et le Gouvernement du Canada (Chapitre 3).

11.5.1.2. Construction d'un port de transbordement dans un village au Nunavik

Une seconde possibilité consiste à sélectionner un seul village du Nunavik à des fins d'investissements portuaires. **Ce serait le port de transbordement où toutes les livraisons de vrac liquide et de marchandises en provenance de Valleyfield, Côte-Sainte-Catherine, Montréal et Québec seraient effectuées, entreposées et distribuées vers les autres villages du Nunavik en fonction de la demande.** Un tel projet contribuerait à l'atteinte d'économies d'échelle dans l'approvisionnement à ce port de transbordement parce que des navires de grande taille pourraient être utilisés pour effectuer le long voyage à partir du fleuve Saint-Laurent. Un port de transbordement permettrait également une distribution régionale en utilisant différents types de navires incluant des barges plus économiques à opérer qui pourraient être dépêchées **lorsque les conditions environnementales ou climatiques sont les plus favorables.** Cette recommandation pourrait être reliée avec le besoin d'établir un port refuge au Nunavik (**Section 11.4.5.**). Les deux concepts seraient parfaitement complémentaires et pourraient se traduire par une diminution du coût des marchandises.

Cette proposition reprend une suggestion présentée par la Société Makivik lors d'une présentation à la Commission parlementaire des Transports et de l'Environnement en 2010 (Société Makivik, 2010b). Deux villages étaient suggérés: Kuujjuaq et Kuujuarapik. La solution d'un port de transbordement a également été soulignée par Brooks et Frost (2012) qui ont comparé les services maritimes du Groenland et de l'Arctique canadien. Au Groenland, tous les villages possèdent des postes à quai et sont desservis par des services côtiers en provenance de Nuuk, la capitale. Nuuk est un port de transbordement relié par des services maritimes réguliers du Danemark. Les auteurs démontrent que les coûts de transport maritime du Danemark sont presque la moitié du coût de transport d'un conteneur de Montréal vers le Nunavik.

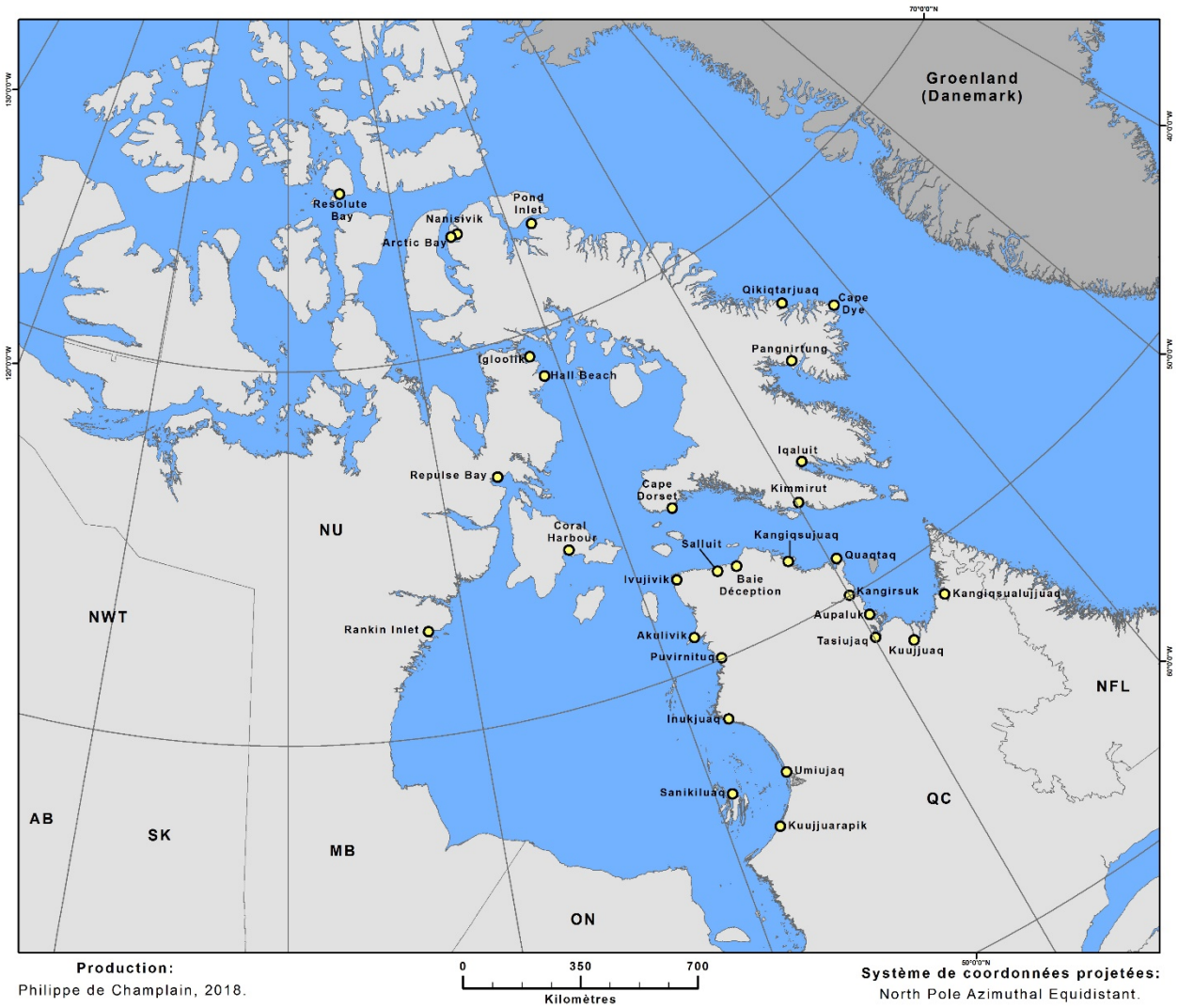
Outre les limites de connaissances sur l'état des infrastructures maritimes au Groenland, le principal problème de cette solution concerne la double manutention de toutes les expéditions. Une première manutention lorsque le navire-mère fait escale au port de transbordement et une seconde manutention lorsque les produits sont chargés sur les navires-navettes ou des barges à des fins de distribution régionale.

La viabilité économique d'une telle proposition repose sur les bénéfices encourus par les économies d'échelle atteintes par l'utilisation de navires de grande taille vers le port d'éclatement en comparaison aux coûts de transbordement encourus au port d'éclatement et aux coûts d'acheminement des produits par des barges ou des navires de plus petite taille vers leur destination finale dans un contexte de changement climatique. Il est en effet important de souligner que les conditions de glace et autres facteurs environnementaux dont l'amplitude des marées sont moins contraignantes dans la plupart des ports du Groenland en comparaison aux villages sur le détroit d'Hudson et la Baie d'Ungava.

Il est important de considérer le point soulevé plus tôt selon lequel l'industrie maritime repose actuellement sur une assise géographique plus large et dessert des villages au Nunavut et dans les Territoires du Nord-Ouest, dans les provinces du Manitoba et dans le côté ontarien de la baie James. En effet, les navires desservant le Nunavik font également escale dans d'autres villages hors du Nunavik dans le cadre d'un même voyage. **La proposition d'un port de transbordement au Nunavik devient commercialement très intéressante lorsque l'ensemble de l'Arctique est pris en considération.** Le poids démographique de l'ensemble de la région du Nunavut desservie par le transport maritime côtier à partir des ports canadiens est 2,5 fois plus grand que le poids démographique de l'ensemble des villages du Nunavik. Dans ce contexte, le scénario d'un port de transbordement au Nunavik apparaît faisable. **Un port de transbordement au Québec dans le détroit d'Hudson combinerait l'accessibilité à l'ensemble de la région du Nunavik et du Nunavut et la proximité aux ports d'approvisionnement du fleuve Saint-Laurent.** Le village sélectionné devrait disposer du site et des conditions climatiques et environnementales actuelles et futures les plus favorables et offrir le caractère le plus central sur le plan géographique pour tous les autres villages du Nunavik.

Dans le but de fournir un élément de réponse, l'algorithme du plus court chemin a été appliqué à la structure du réseau maritime du transporteur NEAS (Figure 15). La mesure a consisté à calculer la distance moyenne en milles marins entre les villages du Nunavik et entre chaque village du Nunavik et les villages du Nunavut desservis par NEAS. Le calcul ne prend pas en compte le poids démographique des villages, les temps de parcours ou l'intensité des trafics. Chaque village du Nunavik est ensuite ordonné en fonction de la somme des distances moyennes pour toutes les paires de villages du réseau. **Le calcul révèle que Quaqtaq, suivi de Kangiqsujaq seraient les villages les plus appropriés pour l'établissement d'un port de transbordement. Ces villages présentent les meilleurs indices de centralité sur le plan du réseau maritime par rapport aux autres villages du Nunavik et du Nunavut permettant ainsi de réduire les coûts et les temps de transport maritime.**

Figure 15. Escales du réseau maritime de NEAS



11.5.1.3. Attirer les croisières

Il y a un intérêt croissant pour les activités de croisières dans l'Arctique. L'une des explications de cette croissance du tourisme de croisières est le déclin de la couverture de glace dans les eaux Arctiques et les projections d'accélération de sa disparition en raison des changements climatiques (Stewart et al, 2007; Stewart et al, 2010). **Cette situation suggère que le tourisme de croisières pourrait permettre de diversifier l'économie locale et l'employabilité au sein de certains villages au Nunavik.** Ce tourisme serait fondé sur l'opportunité pour les passagers de découvrir les communautés et cultures autochtones et d'explorer le caractère unique de l'environnement.

Il existe toutefois un nombre croissant d'études qui remettent en question cet optimisme. Lasserre et Têtu (2015) démontrent la portée très limitée de l'industrie des croisières dans le Canada septentrional. Les enquêtes auprès des lignes maritimes de croisières suggèrent que les opérateurs sont très prudents dans leur appréciation de la rentabilité future du tourisme arctique indiquant les conditions de glace très variables, les besoins de navires à coque renforcée et surtout l'absence d'infrastructures portuaires. D'autres remettent en question les structures de gouvernance et la réglementation maritime qui rigidifie le marché du tourisme de croisière en milieu arctique (Dawson et al, 2014). Un autre volet concerne l'impact du tourisme sur les petites communautés de l'Arctique, notamment eu égard à l'acceptabilité sociale et culturelle (Fay & Karlsdottir, 2011).

Bien que l'industrie des croisières dans l'Arctique Canadien ne pourra jamais concurrencer l'échelle et l'importance d'autres marchés (Kingsbury, 2019), elle affiche néanmoins le potentiel de contribuer à l'économie de régions telles que le Nunavik. Présentement les croisières concernent le Haut Arctique Canadien et ne font pas escale au Nunavik. Un plan de développement touristique est présentement en cours d'élaboration pour identifier les attraits qui intéresseraient les visiteurs, incluant visite de parc, circuit safari photo, excursion de pêche, excursion en mer pour l'observation des mammifères marins, visite culturelle, etc. Toutes ces activités requièrent des investissements, une excellente structure organisationnelle dans le contexte d'une saison touristique limitée et surtout une forte acceptabilité sociale. **À l'évidence, le tourisme de croisières pourrait devenir une importante source de revenus pour le ou les villages qui affichent une structure d'accueil touristique**

Tant que les navires de croisière sont de faible capacité (moins de 300 passagers), les passagers peuvent débarqués sur un petit bateau afin d'accéder au village lors de conditions météorologiques favorables. Si des navires de croisière de forte capacité (plus de 1800 passagers) devaient pénétrer les eaux de l'Arctique, des infrastructures portuaires seront alors nécessaires. Cette dernière considération pourrait servir de critère dans la sélection d'un site tant pour le port refuge que le port de transbordement. Dans tous les cas, il est essentiel que les recommandations concernant la prévision météorologique, les modèles climatiques et l'amélioration de la bathymétrie (**Section**

11.4.1.; 11.4.2.; 11.4.3.) seront nécessaires si le Nunavik désire attirer les navires de croisière.

11.5.2. Former du personnel maritime au sein des villages du Nunavik

Une des vulnérabilités de l'accès aux infrastructures maritimes des villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changement climatique concerne le besoin de personnel qualifié. Le système de transport maritime très distinctif du Nunavik offre des opportunités pour recruter une main-d'œuvre locale. L'emploi du personnel Inuit des villages nordiques du Nunavik par les transporteurs maritimes est déjà amorcé. Il est fondamental de poursuivre cette initiative.

L'industrie maritime du Nunavik est actuellement engagée dans un processus de transformation technologique, opérationnel, économique et de développement durable. Ces innovations modifient les outils d'atténuation et d'adaptation aux changements environnementaux et imposent de nouvelles normes de sécurité et de sûreté. Les changements climatiques ne doivent pas être perçus comme une menace, mais peuvent également représenter des opportunités pour développer des actions et pratiques communautaires dans les villages du Nunavik. Les changements climatiques offrent des opportunités de transformation de la force de travail et de nouveaux profils d'emplois. Mais une formation est indispensable. Une entente entre transporteurs et l'enseignement local pourrait être établie dans le but d'offrir des postes à des résidents formés. Ceci pourrait nécessiter des études académiques dans des institutions d'enseignement au Québec méridional incluant des stages à bord des navires.

11.6. Solutions alternatives pour le transport et la desserte maritime au Nunavik en fonction des paramètres climatiques et environnementaux à l'horizon 2040

Les coûts de transport sont un élément majeur contribuant au coût élevé de la vie et au coût des affaires pour les résidents du Nunavik. En effet, les villages nordiques sont entièrement tributaires du transport maritime et aérien. Dans ce contexte, il apparaît pertinent d'examiner des alternatives d'accès au Nunavik visant à atténuer les risques et vulnérabilités des villages nordiques et sites miniers du Nunavik aux changements climatiques en environnementaux étant donné leur forte dépendance à l'égard du transport maritime.

Trois solutions d'adaptation sont suggérées:

- Prolonger les liens terrestres vers le Nunavik;
- Changer l'approvisionnement énergétique du Nunavik;
- Utiliser des dirigeables cargo pour desservir le Nunavik.

11.6.1. Prolonger les liens terrestres vers le Nunavik

Deux options peuvent être proposées : la connexion au chemin de fer et l'extension du réseau routier.

11.6.1.1. Connexion au chemin de fer

Le projet de construction d'un chemin de fer au Nunavik a été proposé (Société Makivik, 2010a) en tant que moyen d'exploiter les ressources minérales encore sous-exploitées en plus de desservir les communautés existantes (Figure 16). Les problèmes techniques et les coûts d'une telle proposition présentent de nombreux défis en raison des conditions du terrain incluant les variations importantes d'élévation, la nécessité de franchir de nombreux cours d'eau, de contourner des lacs et de construire des talus de plusieurs mètres afin d'offrir une certaine stabilité sur des terrains en présence de pergélisol (Figure 17). La construction de ponts et de tunnels serait très onéreuse. Les coûts de construction d'une ligne de chemin de fer dans l'Arctique peuvent atteindre 13 millions \$/kilomètre (Systra Canada, 2017). Une étude réalisée par Génivar et SNC-Lavalin estime qu'un lien ferroviaire de 580 kilomètres entre Schefferville et Kuujuaq coûterait un minimum de 2,5 milliards, soit 4,3 millions \$/kilomètres et ce, sans compter les budgets d'entretien du réseau et du matériel sommairement estimés à 18 millions \$/année.

Il importe d'être extrêmement critique à l'égard au développement d'un projet de ligne ferroviaire au Nunavik. En fait, toute extension ferroviaire prévue le long de la fosse du Labrador en tant qu'élément pour le transport de minerai est plus susceptible de rejoindre une jonction ferroviaire existante, vers le sud, à destination du port de Sept-Îles ou de Port Cartier. Par ailleurs, il n'est pas assuré que le prolongement d'une voie ferrée serait en mesure d'accroître la résilience des villages nordiques aux changements climatiques.

Figure 16. Tracé potentiel d'un chemin de fer au Nunavik

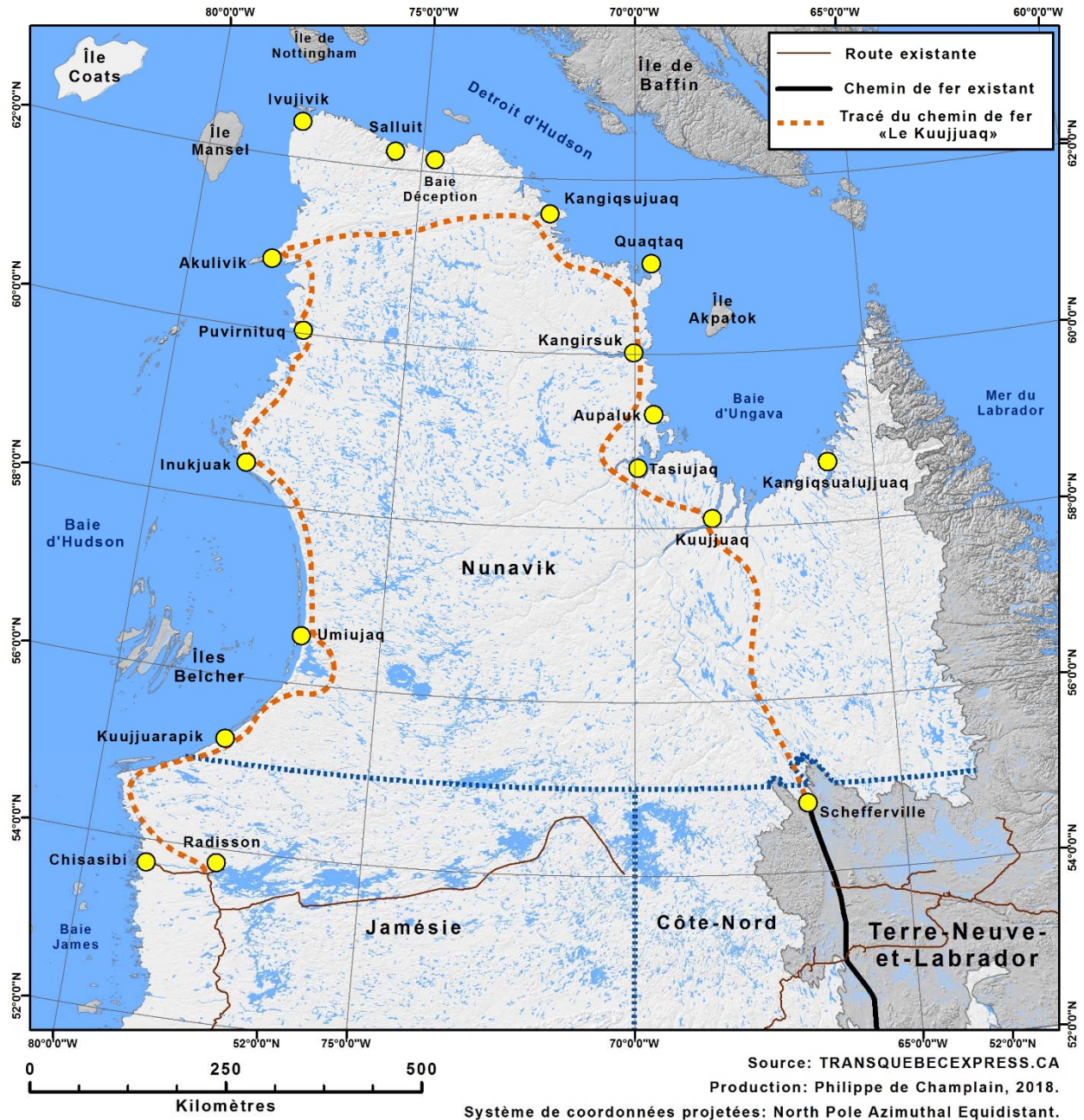
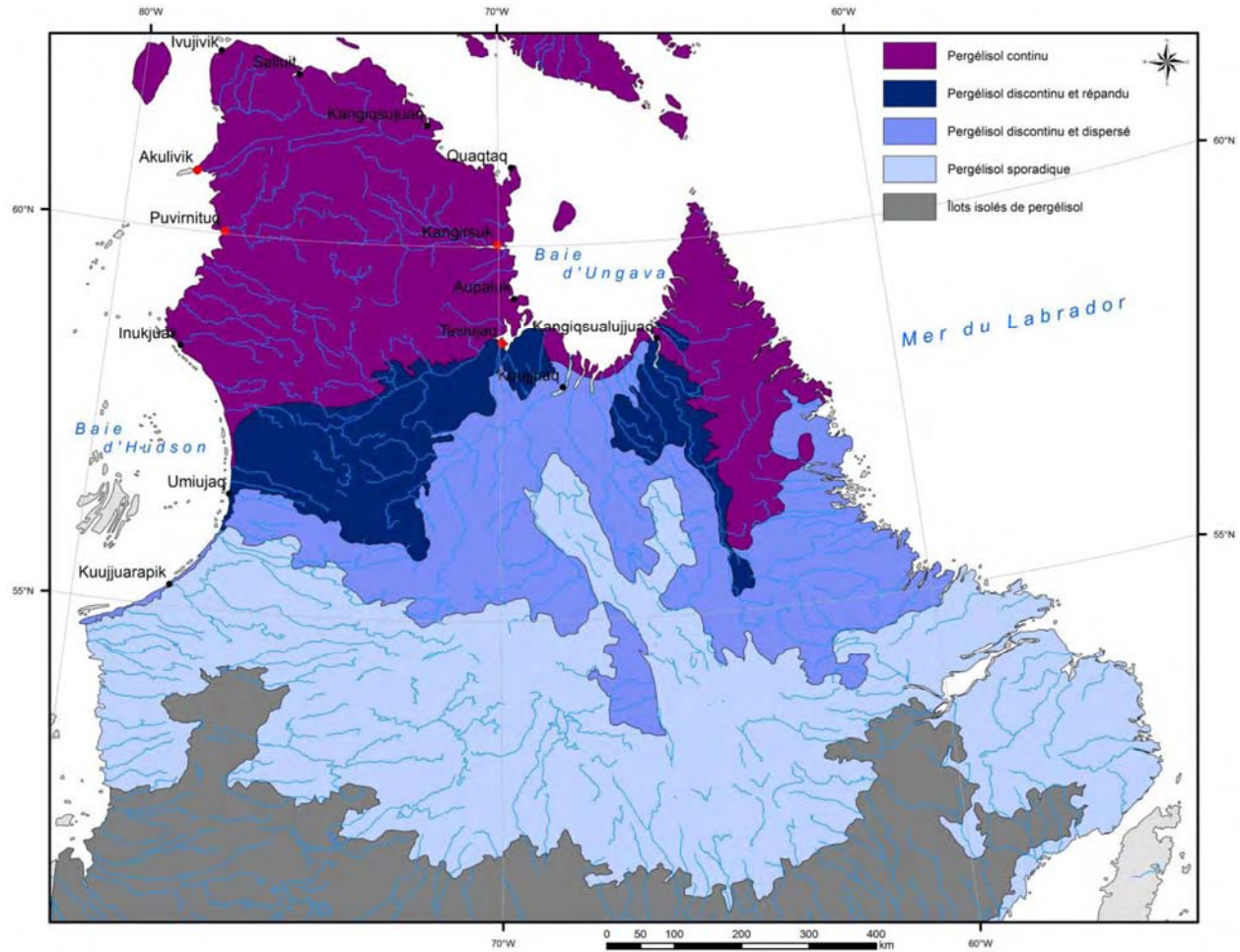


Figure 17. Zones de pergélisol au Nord du Québec et au Labrador



Source: Allard et al, 2013

11.6.1.2. Extension du réseau routier

À l'exception du réseau de rues municipales des villages du Nunavik et des routes d'accès aux aéroports locaux, la région est encore enclavée en termes d'accès au réseau routier du Québec méridional. Les principaux axes routiers en périphérie du Nunavik sont 1) la route du Nord qui relie Chibougamau à Nemaska; 2) la route de la Baie-James de Matagami à Radisson incluant des routes d'accès aux villages de Waskaganish, Eastmain, Wemindji et Chisasibi; 3) la Transtaïga qui relie la route de la Baie-James au réservoir de Caniapiscau donnant accès aux centrales hydroélectriques d'Hydro-Québec; et 4) la route 167 qui relie la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean à Chibougamau et Mistissini.

L'isolement de chaque village nordique du Nunavik est le principal facteur qui sous-tend la dépendance présente des communautés du Nunavik au transport maritime pour satisfaire la majeure partie de la demande de marchandises. Le besoin de navires pour satisfaire cette demande conduit les transporteurs à être confrontés à des conditions météorologiques et environnementales difficiles.

Une réponse partielle à ce dilemme et un moyen de gérer les coûts d'infrastructure serait de considérer relier certaines communautés nordiques, lorsque cela est possible, par route. La proximité et les coûts de construction seraient les principaux déterminants.

La construction de liens routiers entre certains villages nordiques et sites miniers pourrait permettre de combler les écarts de capacité des composantes du transport et de la desserte maritime entre les villages et les sites miniers dans un contexte de changement climatique et environnemental.

11.6.2. Changer l'approvisionnement énergétique du Nunavik

Un des défis existants liés à l'approvisionnement des villages Nordiques du Nunavik par navire concerne le risque de déchargement de combustibles sous différentes conditions climatiques telles que le vent, le brouillard et de fortes précipitations, des conditions qui continueront de présenter des défis en raison des changements climatiques futures. Même si la demande de produits pétroliers peut être réduite à l'avenir en utilisant des sources d'énergie alternative, il est probable qu'il y aura une demande constante de produits pétroliers au Nunavik.

11.6.2.1. Réseau de pipeline pour le Nunavik

Les conduites fixes associées aux pipelines sont considérées comme offrant les plus hauts niveaux de sécurité pour le transport terrestre de vrac liquide. La construction de pipelines vers les villages nordiques du Nunavik serait confrontée à deux obstacles.

La première est la question de coûts. La construction d'un pipeline, particulièrement sur du pergélisol, devrait presque certainement excéder les besoins commerciaux des villages nordiques du Nunavik. Il est delà de la portée de cette étude de fournir une estimation réaliste des coûts, mais le gouvernement des États-Unis fournit une règle empirique de coût de 100 000 \$ par pouce par mille, où le pouce représente le diamètre de la conduite par mille de longueur.

Deuxièmement, la construction ou l'expansion d'infrastructures de pipeline vers les villages nordiques ou les sites miniers du Nunavik serait confrontée à d'importantes restrictions environnementales (perturbations d'écosystèmes fragiles, difficulté d'enfouir la conduite en l'absence de couvert végétal à plusieurs endroits, bouleversement des habitats de migrations animales aux endroits où le pipeline est construit au-dessus du sol) qui peuvent retarder et même interdire le projet.

En conséquence, un pipeline doit être exclu comme possibilité de réduire les risques concernant les changements climatiques de livraison d'hydrocarbures par navire.

11.6.2.2. Énergie hydroélectrique

Une composante essentielle de la demande énergétique au Nunavik est fournie par le diesel utilisé par les centrales électriques de chaque village. Si cette électricité pouvait être produite localement d'installations hydro-électrique locale (Les rivières de la région affichent un potentiel de 8000 mégawatts de puissance électrique) ou importée de génératrices existantes à la Baie James, les acheminements par voie maritime pourraient être réduits et les risques en lien avec les facteurs de changements climatiques seraient moindres. Mais les coûts d'alimentation en électricité à partir de barrages existants ou la construction de nouveaux barrages est onéreux.

Par exemple, le coût de relier les villages nordiques au réseau électrique du Québec est estimé à 1,6 milliard \$ (Cherniak et al, 2015). Le coût pour relier le village de Kuujuaq au réseau d'électricité du Québec sur 450 kilomètres est estimé à 340 millions \$ soit plus de 750 000 \$/kilomètre (George, 2011). Ce coût est comparable aux coûts d'installation de lignes électriques en Alaska qui varient de 400 000 \$ à 4 millions \$/kilomètre (US Energy Information Administration, 2015). Dans le cadre du projet Northern Pass d'Hydro-Québec, le coût de construction de la ligne de transport de 1100 MW sur plus de 300 kilomètres entre le Québec et le Massachusetts est estimé à 7 millions \$/kilomètre.

Le projet de barrage hydro-électrique sur les sites de Qikiqjjaarvi ou Tungatalik au Nunavut pour alimenter Iqaluit en énergie a été suspendu en raison d'une hausse des coûts qui atteignent plus de 500 millions \$ (Skura, 2016; Varga,

2017b). Les études menées pour Hydro-Québec en lien avec un projet hydro-électrique au Nunavik permettant d'alimenter les villages nordiques démontrent que le coût pourrait être supérieur à 890 millions \$ (George, 2011; Cherniak et al, 2015). Dans l'éventualité d'un projet d'aménagement d'un complexe hydro-électrique pour acheminer l'électricité vers les marchés de consommation, les villages du Nunavik situés à proximité pourraient en bénéficier. La construction d'un barrage hydro-électrique de 7,5 MW à Inukjuak est estimé à 125 millions \$ (Pituvik Landholding Corporation, 2017; Pollon, 2017). La nouvelle centrale devrait permettre de réduire de plus de 80% la consommation d'hydrocarbures. Hydro Québec n'envisage présentement aucun autre projet hydro-électrique au Nunavik.

11.6.2.3. Énergie marémotrice

La présence de fortes marées au Nunavik pourrait constituer une alternative énergétique à l'utilisation d'hydrocarbures. La compagnie Ocean Renewable Power Co., basée à Portland, Maine a développé un prototype composé d'une turbine et de 2 séries de pales pouvant générer 25 KW. La turbine est installée sur une plate-forme et déposée au fond d'une rivière. Un projet pilote a été mené sur la rivière Kvichak à proximité du village d'Igiugig situé à 420 kilomètres au sud d'Anchorage, Alaska. Le coût de l'appareil est estimé à 625 000 \$ (Joling, 2014). En 2012, Hydro Québec a mené un projet pilote similaire sur la rivière Koksoak près de Kuujuaq. Le projet fut jugé non concluant et abandonné. Présentement, il n'existe aucun projet en cours à Hydro Québec qui utiliserait une technologie de turbine hydraulique subaquatique. Par ailleurs, **aucun nouvel élément ne permet de penser que cette technologie pourrait être utilisée par Hydro Québec Distribution comme source de production électrique dans un avenir rapproché.**

11.6.2.4. Énergie éolienne

L'énergie éolienne représente une alternative intéressante à l'approvisionnement en hydrocarbures des villages du Nunavik en raison de la puissance et de la fréquence des vents présentes et futures en lien avec les changements climatiques. Présentement au Nunavik, les ménages doivent débours 5,57 cents/kWh pour un service de base pour les premiers 30 kWh. Si la consommation excède 30 kWh, le taux est alors fixé à 33,64 cents/kWh. Les charges pour les édifices gouvernementaux et les entreprises privées sont fixées à 9,38 cents/kWh pour un service de base pour les premiers 30 kWh. Au-delà de ce niveau de consommation, le taux atteint 74,14 cents/kWh. En raison de ces coûts, les résidents du Nunavik consomment moins du tiers de la consommation annuelle des résidents du Québec méridional (Parnasimautik, 2014). Les études de Tugliq estiment que l'alimentation en énergie éolienne incluant un système de stockage énergétique pourrait réduire de 30%-50% les coûts en énergie des communautés nordiques du Nunavik (Tugliq, 2014). L'approvisionnement en énergie éolienne peut donc jouer un rôle important considérant que les centrales

thermiques des 14 villages du Nunavik utilisent plus de 25 millions de litres de mazout et que les membres des communautés nordiques consomment un volume additionnel de 28 millions de litres pour chauffer les bâtiments publics et les résidences.

Le projet d'énergie éolienne de la compagnie minière Raglan représente le premier projet industriel d'énergie éolienne au Canada. Le projet d'une capacité de stockage de 600 kW comprend une turbine de 3 MW, des pales de 40 mètres supportées par une tour de 80 mètres. Le coût du projet fut de 22 millions \$ dont 6,5 millions \$ octroyés par le Gouvernement du Québec dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques et environ 5 millions \$ du Gouvernement du Canada en termes d'incitatifs pour la réduction des émissions de GES et de subventions pour l'énergie renouvelable. Entre le 1 septembre 2014 et le 30 juin 2015, l'éolienne a permis d'économiser 1,7 million de litres de diesel, ce qui représente une réduction de 4 838 tonnes de gaz à effet de serre. Les coûts de mise en œuvre de ce projet d'énergie éolienne s'apparentent à ceux entrepris dans les Territoires du Nord-Ouest (Varga, 2014), au Yukon (Tobin, 2017) et en Alaska (Fay & Schworer, 2010; Bradner, 2012; Fire Island Wind, 2017).

Hydro Québec a mesuré la vitesse des vents au sein des 14 villages du Nunavik en 2003 et en 2008. Mais l'analyse coûts-bénéfices menée pour Hydro Québec par la firme allemande Enercon révèle que **les projets d'énergie éolienne au Nunavik ne seraient pas rentables sans être subventionnés** (Rogers, 2014).

L'analyse révèle que pour les villages et sites miniers du Nunavik ils continueront de dépendre du transport maritime pour leur approvisionnement énergétique en hydrocarbures. De toutes les formes d'énergie alternative permettant d'approvisionner les villages et sites miniers du Nunavik, seul le secteur éolien apparaît le plus prometteur si les coûts d'immobilisation et d'opération peuvent être réduits. Mais même si l'énergie éolienne devient plus concurrentielle, le transport maritime demeurera un important mode de transport pour acheminer les hydrocarbures pour alimenter les centrales thermiques au diesel de secours en l'absence de vents favorables ou trop violents. Par ailleurs, les véhicules motorisés et les avions auront besoin de carburant liquide à l'horizon 2040.

11.6.3. Utilisation de dirigeables cargo

Une option considérée pour acheminer du fret en milieu Arctique et réduire les vulnérabilités d'accès des villages nordiques et sites miniers dans un contexte de changement climatique concerne le recours aux dirigeables (Dick & Gallagher, 2005). Cette alternative n'est pas nouvelle. Dès le 19^e siècle, plusieurs expéditions dans l'Arctique ont reposé sur l'utilisation de dirigeables. Les ballons dirigeables ont également permis les premières reconnaissances visuelles, photographiques et cartographiques de l'Arctique (Besnault, 1992). Il existe une

vaste typologie des dirigeables en fonction de leur structure (rigide, semi-rigide et non-rigide) et de leur forme. Cette typologie permet de caractériser les ballons dirigeables en fonction de leur taille, de leur capacité portante et de leur sensibilité aux conditions météorologiques (Prentice et al, 2010).

Les calculs récents menés par Adaman (2013) et Prentice et Adaman (2015) suggèrent que le coût d'acheminement de produits alimentaires pour les communautés situées au Nord du Manitoba ou du Nord-Ouest de l'Ontario pourrait être réduit de plus du tiers en comparaison au fret aérien traditionnel. Ces résultats sont concomitants aux scénarios menés pour les forces armées canadiennes sur le transport aérien entre la base militaire de Trenton, Ontario et celles d'Alert, Nunavut et de Thulé, Groenland. L'étude démontre en effet que l'utilisation de dirigeable permettrait d'économiser jusqu'à 60% des coûts de transport par rapport au transport aérien traditionnel (Ghanmi & Sokri, 2010). Par ailleurs, sur le plan environnemental l'utilisation de dirigeable pourrait également contribuer à la réduction des émissions de gaz à effets de serre en raison de l'absence de trainée de vapeur d'eau (Prentice, 2016). **Force est de reconnaître toutefois que l'utilisation de dirigeables pour acheminer du fret au Nunavik est confrontée à d'importantes contraintes en comparaison au transport maritime.**

Premièrement, plusieurs paramètres climatiques (brouillard, vent, précipitation, verglas) peuvent représenter des obstacles très contraignants à l'utilisation de dirigeables pour le transport de fret au Nunavik. Davantage que le transport maritime, plusieurs jours de transport peuvent être perdus pour cause de mauvais temps.

Deuxièmement, il n'est pas démontré que les dirigeables peuvent assurer un service régulier pour le transport de tous les types de fret. Il sera impossible pour un dirigeable d'obtenir les mêmes économies d'échelle que les navires. Par ailleurs, il sera extrêmement difficile voire impossible d'obtenir une certification permettant à un dirigeable de transporter du carburant sur longue distance par temps froid dans le cadre d'exploitation minière ou pour l'approvisionnement des communautés nordiques du Nunavik. Il en résulte que l'utilisation de dirigeables serait essentiellement confinée au transport de marchandises générales, essentiellement de consommation et non l'expédition de marchandises liquides et solides en vrac et de marchandises dangereuses.

Troisièmement, la capacité théorique de transport d'un dirigeable varie de 10 à 200 tonnes. Les générations futures pourraient peut-être avoir une capacité de 500 à 1000 tonnes (Prentice & Russel, 2009). Cette capacité de chargement est moindre que celle d'un navire qui peut facilement atteindre plus de 5000 tonnes. Par ailleurs, le coût de transport par tonne de marchandises générales pour un dirigeable serait supérieur au coût de transport par navire (Prentice et al, 2010).

Quatrièmement, sur le plan des infrastructures d'accueil Ghanmi et Sokri (2010) ont démontré qu'un dirigeable nécessite une zone d'atterrissage variant de 80 à 700 hectares incluant un hangar pour les mises au point et les inspections d'une taille de 360 000 m³, soit l'espace nécessaire pour entreposer 2 Airbus A-380.

Dans ces conditions, il sera très difficile de considérer les dirigeables en mesure de remplacer les navires. Leur utilisation se situera à la marge des chaînes d'approvisionnement, susceptible de compléter le transport aérien dans le mouvement de marchandises de haute valeur ou de produits périssables ou d'offrir un service occasionnel pour le transport de projet cargo pour les villages et les sites miniers notamment des produits lourds assujettis à des contraintes de temps.

12. CONCLUSION

L'étude la vulnérabilité, les opportunités et les défis d'adaptation du transport maritime au Nunavik dans un contexte de changement climatique apporte plusieurs contributions originales aux travaux en cours sur l'environnement nordique.

Premièrement, notre étude représente l'analyse la plus complète sur la desserte maritime au Nunavik. L'examen permet de mesurer les conditions de la demande de vrac liquide, de vrac sec et de marchandises générales pour les villages nordiques et les sites miniers au Nunavik. Plus précisément, l'étude des stratégies des transporteurs a permis de mesurer la structure des réseaux maritimes sur le plan de la qualité des flottes, du nombre et de la durée des voyages, la séquence et le nombre de ports d'escale ainsi que le temps d'escale pour chaque voyage sur une période d'une décennie.

Deuxièmement, notre étude comprend une analyse rigoureuse de 22 paramètres climatiques et environnementaux pouvant exercer des impacts significatifs sur les principales composantes de la desserte et des activités de transport maritime au Nunavik.

Troisièmement, notre étude présente la première évaluation formelle des impacts des changements climatiques sur les composantes du transport maritime pour les villages nordiques et sites miniers du Nunavik en fonction des tendances climatiques récentes (1990-2016) et futures (2017-2040). Nous avons évalué en détail les risques associés à chaque interaction entre les principales composantes du transport maritime au Nunavik et chaque paramètre climatique et environnemental en fonction de différents critères de performance. La démarche permet 1) de mesurer la vulnérabilité des composantes du transport maritime aux changements climatiques; 2) de préciser les différents niveaux d'exposition des villages nordiques et sites miniers du Nunavik aux changements climatiques; et 3) de mesurer le niveau de résilience du transport, de l'accès et de la desserte maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik.

Quatrièmement, notre étude est la première à effectuer une analyse comparative de différentes mesures d'adaptation aux changements climatiques pour accroître la résilience des composantes du transport et de la desserte maritime des villages nordiques et sites miniers au Nunavik dans un contexte de changement climatique et environnemental.

Les résultats contenus dans ce rapport mettent en évidence quelques constats:

La croissance de la demande de produits et services dans les villages nordiques et sites miniers au Nunavik a une incidence directe sur les services de transport maritime. La capacité et la qualité des installations maritimes sont indispensables à cette augmentation du trafic et ce, dans le respect de l'environnement.

Les changements climatiques au Nunavik sont une réalité qui ne doivent pas être uniquement perçus comme une contrainte, mais peuvent s'avérer bénéfiques pour les activités de transport maritime.

L'adaptation du transport maritime aux changements climatiques dépend des modes de gestion, des activités et des investissements des transporteurs qui relèvent du secteur privé et qui doivent répondre à des objectifs de performance financière. Pour la desserte maritime, les solutions d'adaptation reposent essentiellement sur des investissements publics. L'évaluation du potentiel de développement et de localisation d'un port en eaux profondes au Nunavik tenant compte des risques climatiques et géophysiques, des indicateurs d'accessibilité, des conditions de marché et de facteurs coûts-avantages permettent de considérer plusieurs options d'adaptation. Parmi celles-ci il est proposé d'évaluer le potentiel d'un port de transbordement, d'un port refuge et d'attirer les croisières. Ces options ouvrent de nouvelles perspectives sur le plan des aires de marché, des enjeux de sécurité et d'activités économiques pouvant exercer un poids considérable relativement à l'implantation d'infrastructures portuaires. L'industrie maritime du Québec et du Canada reconnaît ces éléments comme des occasions favorables au développement socio-économique local, industriel et régional du Nunavik.

Nous croyons que l'intégration de la problématique des changements climatiques à celle du transport maritime au Nunavik offre un agenda de recherche permettant de rivaliser d'opportunités pour le développement de l'ensemble de l'industrie maritime au Québec.

13. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AARLUK CONSULTING INC, GARTNER LEE LIMITED & ANDERSON, C. (2005) Strategic plan for the Iqaluit Deepwater port project, Iqaluit, 95 p.
- ACCIARO, M., VANELSLANDER, T., SYS, C., FERRARI, C., ROUMBOUTSOS, A., GIULIANO, G., LAM, J.S.L. & KAPROS, S. (2014) «Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation», *Maritime Policy and Management*, 41 (5): 480-500.
- ADAMAN, M. (2013) *Assessing the Cost Competitiveness of a Cargo Airship for Freight Re-Supply in Isolated Regions in Northern Canada*, Mémoire de maîtrise, University of Manitoba, 192 p.
- ADMINISTRATION RÉGIONALE KATIVIK (2009) *Entente – asphaltage au Nunavik 2010-2014*.
- ADMINISTRATION RÉGIONALE KATIVIK (2010) *Proposition. Renouvellement du programme Isurruutiit 2011-2015*, [En ligne], [<http://www.krg.ca/images/stories/docs/Parnasimautik/Annexes/FR/Annex%206%20Proposal%20Isurruutiit%20Program%20Renewal%202011-2015%20fr.pdf>].
- ADMINISTRATION RÉGIONALE KATIVIK (2017a) *Infrastructures maritimes*, [En ligne], [www.krg.ca/fr/krg-departments/transportation/marine-infrastructure].
- ADMINISTRATION RÉGIONALE KATIVIK (2017b) *Mesures de réduction du coût de la vie au Nunavik*, [En ligne], [<http://www.krg.ca/fr/liens-directs/mesures-de-reduction-du-cout-de-la-vie-au-nunavik>].
- AFFAIRES INDIENNES ET DU NORD CANADIEN (2009) *Stratégie pour le Nord du Canada: Notre nord, notre patrimoine, notre avenir*, Ottawa: AINC, 48 p.
- AFFAIRE AUTOCHTONES ET DU NORD DU CANADA (2006) *Accord sur les revendications territoriales du Nunavik*, Ottawa: AANC, 269 p. [En ligne], [<http://www.aadnc-aandc.gc.ca/fra/1320425236476/1320425393532>].
- ALLARD, M., FOURNIER, A., GAHÉ, E. & SEGUIN, M.K. (1989) Le quaternaire de la côte sud-est de la baie d'Ungava, Québec nordique, *Géographie physique et quaternaire*, 43 (3): 325-336.
- ALLARD, M. & LEMAY, M. (2013) *Le Nunavik et le Nunatsiavut: de la science aux politiques publiques. Une étude intégrée d'impact régional des changements climatiques et de la modernisation*, Québec: ArcticNet Inc., 318 p.

- ALLARD, M., LEMAY, M., BARRETTE, C., L'HÉREAU, E., SARRAZIN, D., BELL, T. & DORÉ, G. (2013) «Le pergélisol et les changements climatiques au Nunavik et Nunatsiavut: importance en matière d'infrastructures municipales et de transports», in M. ALLARD & M. LEMAY (eds) *Le Nunavik et le Nunatsiavut: De la science aux politiques publiques. Une étude intégrée d'impact régional des changements climatiques et de la modernisation*, Québec: ArcticNet Inc., pp 175-202.
- ARCTIC COUNCIL (2017) *Arctic marine shipping assessment*, [En ligne], [<https://pame.is/index.php/document-library/amsa-documents>].
- ARCTIC MONITORING AND ASSESSMENT PROGRAMME (AMAP) (2011) *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic: Climate Change and the Cryosphere*. Oslo: AMAP, 538 p.
- AUBÉ-MICHAUD, Sarah (2013) *Paléogéographie de l'archipel des îles Nuvuk et géoarchéologie du site KcFs-2, Nunavik (Canada)*, Québec: Université laval, 182 p.
- AUSTRALIAN ACADEMY OF TECHNOLOGICAL SCIENCES AND ENGINEERING (ATSE) (2008) *Assessment of impacts of climate change on Australia's physical infrastructure*, Victoria, ATSE, 71 p.
- BARBER, D.G., ASPLIN, M.G., GRATTON, Y., LUKOVICH, J.V., GALLEY, R.J., RADDATZ, R.L. & LEITCH, D. (2010) «The International Polar Year Circumpolar Flaw Lead System Study: Overview and the Physical System», *Atmosphere-Ocean*, 48 (4): 225-243.
- BARRERA, P. (2017) «Nickel investing. 10 top nickel-producing countries», *Investing New Network*, February.
- BERLE, O., ASBJORNSLETT, B.E. & RICE, J.B. (2011) «Formal vulnerability assessment of a maritime transportation system», *Reliability Engineering and System Safety*, 96: 606-705.
- BERNIER, M., POULIN, J., GAUTHIER, Y. & GIGNAC, C. (2017) *Suivi des conditions de glaces de rives à proximité d'infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques: Kuujuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk*, Québec: INRS, 155 p.
- BESNAULT, R.E.A. (1992) *Géostratégie de l'Arctique*, Paris: Economica, 433 p.

- BOURBONNAIS, P. & COMTOIS, C. (2010) «Stratégies corporatives et aménagement portuaire en Arctique Canadien», in LASSERRE, F. (dir) *Passages et mers arctiques. Géopolitique d'une région en mutation*, Québec: PUQ: 410-425.
- BRADNER, T. (2012) «Fire Island, Eva Creek set to begin producing wind power», *Alaska Journal of Commerce*, 9 juin, [En ligne], [<http://www.alaskajournal.com/business-and-finance/2012-09-06/fire-island-eva-creek-set-begin-producing-wind-power#.WeYhm0x7SHo>].
- BRISSON, P. (2014) *Le Plan Nord du gouvernement du Québec: analyse du design, du positionnement et de la planification stratégique des projets d'infrastructures de transport*, Montréal: Université de Montréal, 156 p.
- BROOKS, M. (2016) *Port Performance Measures. Identification, Summary and Assessment of Port Fluidity and Congestion Measures*. Halifax: MBTC, 93 p.
- BROOKS, M. & FROST, J.D. (2012) «Providing freight services to remote arctic communities: are there lessons for practitioners from services to Greenland and Canada's northeast?» *Research in transportation business and management*, 4: 69-78
- BURGESS, A., ALEMANO, a, & ZINN, J.O. (eds) (2016) *Routledge Handbook of Risk Studies*, New York: Routledge, 362 p.
- BUSINESS MONITOR INTERNATIONAL (2016) *Emerging markets monitor*.
- CAHOON, S., CHEN, S.L., BROOKS, B. & SMITH, G. (2016) «The impact of climate change on Australian ports and supply chains. The emergence of adaptation strategies» in NG A. et al (eds) *Climate change and adaptation planning for ports*, London: Routledge, pp. 194-214.
- CANADIAN ROYALTIES (2015) *Nunavik Nickel Project. Addenda to the certificate autorisation 3215-14-007 Puimajuq Deposit Mining Project, Environmental and social impact assessment*, Québec: WSP Canada inc, 325 p.
- CARIOU, P. (2008) *Port performance indicators and analysis*, Malmo: World Maritime University, 72 p.
- CHERNIAK, D., DUFRESNE, V., KEYTE, L., MALLET, A. & SCOTT, S. (2015) *Report on the State of Alternative Energy in the Arctic*. Ottawa: School of Public Policy and Administration, Carleton University, 208 p.

- CLERC, C., GAGNON, M., BRETON-HONEYMAN, K., TREMBLAY, M., BLEAU, S., GAUTHIER, Y., ALOUPA, S., KASUDLUAK, A., FURGAL, C., BERNIER, M. & BARRETT, M. (2011) *Changements Climatiques et Infrastructures Maritimes au Nunavik - Connaissances locales et point de vue des communautés de Quaqtaq, Umiujaq et Kuujuaq*, Québec: INRS, 149 pages
- CLERC, C., POULIN, J., GAUTHIER, Y., BERNIER, M., BLEAU, S., GIGNAC, C., BEDARD, J-S. & DUHAMEL-BEAUDRY, E. (2012) *Descripteurs et indicateurs de la couverture glacielle au Nunavik: Quaqtaq, Umiujaq et Kuujuaq*, Québec: INRS, 186 p.
- COASTAL SHIPPING LIMITED (2017) *Welcome to Coastal Shipping Limited*, [En ligne], <http://www.woodwards.nf.ca/csl/>.
- COMITÉ CONSULTATIF DE L'ENVIRONNEMENT KATIVIK (2007) *Avis sur le développement actuel et futur des infrastructures de transport au Nunavik*. 17 p.
- COMMISSION DES TRANSPORTS ET DE L'ENVIRONNEMENT (2006) *Le réchauffement climatique et d'autres problématiques environnementales au Nunavik*, Québec: Assemblée Nationale, 50 p.
- COMTOIS, C. (2016) *Review of risks of commercial marine shipping accidents in Canadian waters*. Ottawa, CCA, 9 p.
- COMTOIS, C. et al (2015) *Changements climatiques et transport maritime au Nunavik: Vulnérabilité, opportunités et défis d'adaptation. Les paramètres environnementaux*, Rapport au Bureau de la coordination du Nord-du-Québec, Ministère des Transports du Québec, Rouyn-Noranda: MTQ, 73 p.
- COMTOIS, C. & SLACK, B. (2009) *Developing key port utilisation indicators (KPUI) for Canada's bulk ports*, Report to Economic analysis directorate, Transport Canada. Ottawa: Transport Canada, 36 p.
- COUNCIL OF CANADIAN ACADEMIES (CCA) (2016) *The risks of commercial marine shipping accidents in Canadian waters*, Ottawa: CCA, 89 p.
- DAVIS, I. & ALEXANDER, D. (2016) *Recovery from disaster*. London: Routledge, 357 p.
- DAWSON, J. JOHNSTON, M.E. & STEWART, E.J. (2014) «Governance of Arctic expedition cruise ships in a time of rapid environmental and economic change», *Ocean and Coastal Management*, 89: 88-99.
- DICK, T.A. & GALLAGHER, C. (2005) «Plaidoyer pour des dirigeables dans l'Arctique Canadien», *Le Méridien*, Automne-Hiver: 1-9.

- EICKEN, H., JONES, J., MEYER, F., MAHONEY, A., DRUCKENMILLER, M.L., ROHOTH, M.V. & KAMBJHAMETTU, C. (2011) «Environmental security in Arctic ice-covered seas: from strategy to tactics of hazard identification and emergency response», *Marine Technology Society Journal*, 45 (3): 37-48.
- FALKINGHAM J.C., CHAGNON, R. & McCOURT, S. (2001) «Sea Ice in the Canadian Arctic in the 21st Century», in *Proceedings of the 16th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, pp 1191-1200.
- FAY, G. & KARLSDOTTIR, A. (2011) «Social indicators for arctic tourism: observing trends and assessing data», *Polar Geography*, 34 (1-2): 63-86.
- FAY, G. & SCHWORER, T. (2010) *Alaska isolated wind-diesel systems: performance and economic analysis*. Anchorage: Institute of Social and Economic Research, University of Alaska, 108 p.
- FEDNAV (2017) *Au-delà des attentes*, [En ligne], [<http://www.fednav.com/fr>].
- FIRE ISLAND WIND LLC (2017) Fire Island Wind Project, [En ligne], [<http://fireislandwind.com/#/projecthistory>].
- FRIZZELL, (2017) «Public gets first look at plans for Iqaluit's deep sea port», CBC News, March 3, [En ligne], [<http://www.cbc.ca/news/canada/north/iqaluit-deepwater-port-design-plans-1.4008680>].
- GALBRAITH, P.S. & LAROUCHE, P. (2011) «Sea-surface temperature in Hudson Bay and Hudson Strait in relation to air temperature and ice cover breakup, 1985–2009», *Journal of Marine Systems*, 88 (3): 463-475.
- GALLOPIN, G.C. (2006) Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity, *Global Environmental Change*, 16: 293-303.
- GHANMI, A. & SOKRI, A. (2010) *Airships for military logistics heavy lift*, Canadian Operational Support Command Operational Research & Analysis, Ottawa: National Defence, 63 p.
- GARDE CÔTIÈRE CANADIENNE (GCC) (2012) *Navigation dans les glaces en eaux Canadiennes*, Ottawa: Pêches et Océans Canada, 165 p.
- GARDE CÔTIÈRE CANADIENNE (GCC) (2013) *Zone de trafic de l'Arctique canadien (NORDREG)*, [En ligne], [http://www.ccg-gcc.gc.ca/fra/SCTM/Zt_arctique_canadien].

- GEORGE, J. (2011) «Nunavik wants to join Quebec power grid: Plan Nunavik», 20 juillet, *Nunatsiaq online*, [En ligne], [\[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/20889_nunavik_wants_to_join_quebecs_power_grid\]](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/20889_nunavik_wants_to_join_quebecs_power_grid).
- GEORGE, J. (2012) «Canadian Royalties aims to start shipments from Nunavik Nickel in 2013», *Nunatsiaq online*, November 28, [En ligne], [\[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674canadian_royalties_aims_to_ship_ore_from_nunavik_nickel_in_2014\]](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674canadian_royalties_aims_to_ship_ore_from_nunavik_nickel_in_2014).
- GIGUÈRE, M.A., COMTOIS, C. & SLACK, B. (2017) «Constraints on Canadian Arctic maritime connections», *Case Studies on Transport Policy*, 5 (2): 355-366.
- GLENCORE (2011-2017) *Annual reports*. [En ligne], [\[http://www.glencore.com/investors/reports-and-results/reports/\]](http://www.glencore.com/investors/reports-and-results/reports/).
- GORDON, M. (2015) *The North and its logistics*, Communication présentée à la conférence Le Nord et sa logistique, Secrétariat aux Alliances Économiques Nation Crie Abitibi-Témiscamingue.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (1998) *Convention de la Baie-James et du Nord québécois et conventions complémentaires*, 752 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2011) *Plan Nord. Faire le Nord ensemble. Le chantier d'une génération*, Québec: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 156 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2013) *La première ministre annonce 1 M\$ pour assurer l'entretien des infrastructures maritimes au Nunavik*, [En ligne], [\[https://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/actualites/communiques/details-en.asp?idCommunique=2261\]](https://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/actualites/communiques/details-en.asp?idCommunique=2261).
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2014a) *Rapport sur les activités minières au Québec 2014: Chapitre 6 Exploitation minière*, Québec: Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles, pp. 84-104.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2014b) *Le logement au Nunavik: document d'information*, Québec: Société d'habitation du Québec, 40 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2015a) *Le Plan Nord à l'horizon 2035. Plan d'action 2015-2020 à l'horizon 2035*, Québec: Secrétariat au Plan Nord, 48 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2015b) *Stratégie maritime. La stratégie maritime à l'horizon 2030*, Québec: Secrétariat aux affaires maritimes, 53 p.

- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (2009) *Préparer l'avenir du secteur minéral québécois. Stratégie minérale du Québec*, Québec: MRNF, 45 p.
- GROUPE DESGAGNÉS (2017) *Une présence sur toutes les mers du monde*, [En ligne], [<http://www.groupe-desgagnes.com>].
- GUNN, G. (2014) *Polynya formation in Hudson Bay during the winter period*, M.Sc., environment and geography, University of Manitoba, 94 p.
- HILLAIRE-MARCEL, Claude (2005) La déglaciation et le relèvement isostatique sur la côte est de la baie d'Hudson, *Cahiers de géographie du Québec*, 20 (50): 185-220.
- HOGSON, G. & BROOKS, M. (2004) *Canada's marine cabotage policy*, Halifax: Dalhousie University, 82 p.
- HOWELL, S. & YACKEL, J. (2004) A Vessel Transit Assessment of Sea Ice Variability in the Canadian Western Arctic, 1969-2002: Implications for Ship Navigation, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30 (2): 205-215.
- HOWELL, S.E. et al (2013) «Recent changes in the exchange of sea ice between the Arctic Ocean and the Canadian Arctic Archipelago», *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118 (7): 3595-3607.
- HYDRO QUÉBEC (2016a) *Plan d'approvisionnement 2017-2026. Réseaux autonomes*, Montréal: Hydro Québec, 15 p.
- HYDRO QUÉBEC (2016b) *Plan d'approvisionnement 2017-2026. Réseaux autonomes. Annexes*, Montréal: Hydro Québec, 124 p.
- INGÉNIEURS CANADA (2016) *Protocole d'ingénierie du CVIIP*, [En ligne], [<https://pievc.ca/fr/documents-french>].
- INSTANES, A. (2005) «Infrastructure: Buildings, Support Systems, and Industrial Facilities», in SYMON, C. et al (eds) *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 907-944.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2001) *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 893 p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES (IACS) (2011) *Requirements concerning Polar Class*. 39 p. [En ligne], [http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_I_pdf410.pdf]

- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) (2014) *Adoption of the International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code)*, Note by the Secretariat, London: Maritime Safety Committee, 53 p.
- INTERNATIONAL NICKEL STUDY GROUP (INSG) (2017) *Production, usage and prices*, [En ligne], [<http://www.insg.org/prodnickel.aspx>].
- JILIN JIEN NICKEL INDUSTRY CO., LTD (2017) *Homepage*, [En ligne], [<http://www.jlnickel.com.cn/EWeb/index.aspx>].
- JOLING, D. (2014) «River turbine to be tested at rural Alaska village», *The Washington Times*, 29 mai, [En ligne], [<https://www.washingtontimes.com/news/2014/may/29/river-turbine-to-be-tested-at-rural-alaska-village/>].
- JOLY, S. et al (2011) «Sensitivity of Hudson Bay sea ice and ocean climate to atmospheric temperature forcing», *Climate Dynamics*, 36 (9-10): 1835-1849.
- KELMAN, I., MERCER, J. & GAILLARD, J.C. (2017) «Vulnerability and resilience» in KELMAN, I. et al (eds) *The Routledge handbook of disaster risk reduction including climate change adaptation*, London: Routledge, pp. 47-61.
- KINGSBURY, Antoine (2019) *Enjeux environnementaux de l'industrie des croisières sur le Saint-Laurent*, M.Sc., géographie, Université de Montréal, 197 p.
- KUBAT, Ivana & TIMCO, G.W. (2003) Vessel Damage in the Canadian Arctic, in *Proceeding of the 17th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, 1: 203-212.
- LACKENBAUER, W. & LAJEUNESSE, A. (2014) *An uncertain ice: the future of Arctic shipping and the Northwest passage*, Canadian Defence and Foreign Affairs Institute policy paper, 13 p.
- LAM, J.S.L.L. & LASSA, J.A. (2017) «Risk assessment framework for exposure of cargo and ports to natural hazards and climate extremes», *Maritime Policy and Management*, 44 (1): 1-15.
- LANCE, J. (2017) *Perspectives sur la crise du logement au Nunavik*, Communication présentée à la conférence La prévention à l'aurore de la santé boréale, Congrès nordique 2017.
- LANTUIT, H. (2008) *The modification of arctic permafrost coastlines*, Ph.D., natural science, Potsdam University, 107 p.

- LASSERRE, F. & TÊTU, P.L. (2015) «The cruise tourism industry in the Canadian Arctic: analysis of activities and perceptions of cruise ship operators», *Polar Record*, 51 (256): 24-38.
- LAUTA, K.C. & FAURE, M.G. (2016) Disaster risk management, in BURGESS, A., ALEMANO, a, & ZINN, J.O. (eds) (2016) *Routledge Handbook of Risk Studies*, New York: Routledge, pp. 179-88.
- LEMIRE, P. (2015) *Infrastructures de transport en milieu nordique. Nous relevons le défi depuis 30 ans*, Communication présentée à la conférence Le Nord et sa logistique, Secrétariat aux Alliances Économiques Nation Crie Abitibi-Témiscamingue.
- L'HÉRAULT, E., BOISSON, A., ALLARD, M., AUBÉ-MICHAUD, S., SARRAZIN, D., ROGER, J. & BARRETTE, C. (2017) *Détermination et analyse des vulnérabilités du Nunavik en fonction des composantes environnementales et des processus physiques naturels liés au climat*, Québec: CEN, 160 p.
- MAILHOT, A. & CHAUMONT, D. (2017) *Élaboration du portrait bioclimatique futur du Nunavik – Tome I. Rapport présenté au Ministère de la forêt, de la faune et des parcs*. Montréal: Ouranos. 216 p.
- MAKIVIK CORPORATION (2017) *Construction Division*, [En ligne], [<http://www.makivik.org/fr/housing-development/>]
- MAKIVIK CORPORATION, KATIVIK REGIONAL GOVERNMENT & GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2006) *Partnership Agreement on Economic and Community Development in Nunavik (Sanarrutik Agreement)*. Consolidated administrative version of August 9th, 23 p.
- MASSÉ, A. & VILLENEUVE, M. (2013) *Modélisation numérique des marées et ondes de tempête dans la baie d'Hudson, le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava*, Québec: Le Groupe-Conseil LaSalle Inc, 84 p.
- McEVOY, D. et al (2008) *Understanding futur risks to ports in Australia. Enhancing the resilience of seaports to a changing climate series*. Work Package 1: understanding future risks, Melbourne, National Climate change Adaptation Research Facility, 80 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC (MERN) (2016) *Choisir le secteur minier du Québec*, Québec: MERN, 68 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC (MERN) (2014) *Statistiques minières*, [En ligne], [<http://www.mern.gouv.qc.ca/mines/statistiques/>].

- MINISTÈRE DES TRANSPORT DU QUÉBEC (MTQ) (2002) *Plan de transport du Nord-du-Québec. Étude technique. Transport maritime: portrait des réseaux, des infrastructures, de l'exploitation et de la gestion dans le Nord-du-Québec*, Rouyn-Noranda: Direction de la coordination du Nord-du-Québec, 117 p.
- MUSSELLS, O., DAWSON, J. & HOWELL, S. (2017) «Navigating pressured ice: risks and hazard for winter resource-based shipping in the Canadian Arctic», *Ocean and Coastal Management*, 137: 57-67.
- NG, A.K.Y., CHEN, S.L., CAHOON, S., BROOKS, B. & YANG, Z. (2013) «Climate change and the adaptation strategies of ports: the Australian experience», *Research in Transportation Business and Management*, 8: 186-194.
- NUNATSIAQ ONLINE (2012) *Fednav, Canadian Royalties ink deal for Nunavik Nickel mine icebreaker*, 31 octobre.
- NUNATSIAQ ONLINE (2014) *MV Nunavik: from Quebec to China via the Northwest passage*, 22 septembre.
- NUNAVUT EASTERN ARCTIC SHIPPING (NEAS) (2017) *Un nouvel horizon pour le transport maritime*, [En ligne], [<http://www.neas.ca/fr/index.cfm>].
- NURSEY-BRAY, M., BLACKWELL, B., BROOKS, B., CAMPBELL, M.L., GOLDSWORTHY, L., PATEMAN, H., RODRIGUES, I., ROOME, M., WRIGHT, J.T., FRANCIS, J. & HEWITT, C.L. (2013) «Vulnerabilities and adaptation of ports to climate change», *Journal of Environmental Planning and Management*, 56 (7): 1021-1045.
- ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONALE (1998) *Dictionnaire hydrographique*. Monaco: OHI, 284 p.
- OURANOS (2015) *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*, Montréal: Ouranos, 415 p.
- PARNASIMAUTIK (2014) *Rapport de la consultation Parnasimautik*, Groupe-cadre de Parnasimautik, 198 p.
- PARNASIMAUTIK (2013) *Notre région. Ressources minérales. Fiche synthétique 14*, 2 p.
- PELLETIER, S. & LASSERRE, F. (2012) «Arctic shipping: future polar express seaways? Shipowners' opinion», *Journal of maritime law and commerce*, 43 (4): 553-564.

- PERRIER, P. (2015) *Procédé industriel ou manufacturier 5M\$/an et +. Optimisation du rendement de la centrale de cogénération de Mine Raglan*. Association Québécoise pour la maîtrise de l'énergie, [En ligne], [https://aqme.org/sites/aqme.org/files/archives/DATA/TEXTEDOC/6_4_Optimisation_rendement_centrale_cogeneration_Mine_Raglan.pdf].
- PITIKALIS K. et al (2007) *Vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures and critical facilities. The case of Thessaloniki's metropolitan area*, Communication présentée à la 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, No 1774, 15 p.
- PITUVIK LANDHODING CORPORATION (2017) *Innavik Hydro Project*, [En ligne], [<https://www.innavikhydro.com/>].
- PIZZOLATO, L., HOWELL, S.E.L., DERKSEN, C., DAWSON, J., & COPLAND, L. (2014) «Changing sea ice conditions and marine transportation activity in Canadian Arctic waters between 1990 and 2012», *Climatic Change*, 123: 161-173.
- PIZZOLATO, L., HOWELL, S.E.L., DERKSEN, C., DAWSON, J., LALIBERTÉ, F. & COPLAND, L. (2016) «The influence of declining sea ice on shipping activity in the Canadian Arctic», *Geophysical Research Letters*, 43, 9 p.
- POLLON, C. (2017) «What will it take to get Canada's Arctic off diesel?», *Reveal News*, 13 octobre, [En ligne], [<https://www.revealnews.org/article/what-will-it-take-to-get-canadas-arctic-off-diesel/>].
- PRENTICE, B. (2016) «The Role of the Airship in the New Low-Carbon Era», *The Shipper Advocate*, Autumn:16-19
- PRENTICE, B.E. & ADAMAN, M. (2015) *Economics of cargo airships for food transport to remote northern communities*, Communication présentée au 10th Biennial International Airship Convention & Exhibition, 16-18 avril, Friedrichshafen, Allemagne.
- PRENTICE, B.E., BEILOCK, R.E., PHILLIPS, A.J. & THOMSON, J. (2010) «The rebirth of airships», *Journal of the Transportation Research Forum*, 44 (1): 173-190.
- PRENTICE, B.E. & RUSSELL, S. (2009) «Competing technologies and economic opportunities for northern logistics: The airship solution», in *Proceedings of Canadian Transportation Research Forum Annual Meeting*, 44: 685-698.

- PRESTON, B.L., WESTAWAY, R.M. & YUEN, E.J. (2011) Climate adaptation planning in practice: an evaluation of adaptation plans from three developed nations, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4: 407-438
- ROBITAILLE, J., GUÉNARD, E. & DUHAIME, G. (2016) *Coût de la vie au Nunavik. Rapport de recherche*, Québec: Chaire de recherche du Canada sur la condition autochtone comparée, Université Laval, 72 p.
- ROGERS, S. (2014) «Hydro-Québec says Nunavik wind, underwater power projects 'not profitable'», *Nunatsiaq Online*, 24 octobre, [En ligne], [http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674hydro_quebec_says_wind_underwater_power_projects_not_profitable/].
- ROGERS, S. (2016) «Nunavik housing windfall tied up in paperwork», *Nunaksiak On Line*, 15 september
- RUFFILLI, D. (2011) *Arctic marine and intermodal infrastructure: challenges and the government of Canada's response*, Publication No. 2011-77-E, Ottawa: Bibliothèque du Parlement, 8 p.
- RYLEY, T. & CHAPMAN, L. (eds) (2012) *Transport and climate change*, Transport and sustainability Volume 2, Bingley: Emerald Group, 396 p.
- SAUCIER, F. et al (2004) «Modelling the sea ice-ocean seasonal cycle in Hudson Bay, Foxe Basin and Hudson Strait, Canada», *Climate Dynamics*, 3 (23): 303-326.
- SAVARD, J.P., GACHON, P., ROSU, C., AIDER, R., MARTIN, P. & SAAD, C. (2014) *Impact des changements climatiques sur le régime des tempêtes, les niveaux d'eau et les vagues dans le Nunavik*, Montréal: Ouranos, 109 p.
- SAVARD, S. (2016) *Les effets des changements climatiques sur la navigation en eaux polaires: une analyse des enjeux climatiques et de la desserte maritime au Nunavik*, Mémoire de maîtrise, Montréal: Département de géographie, Université de Montréal, 133 p.
- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2002) *Entente de partenariat sur le développement économique et communautaire au Nunavik (entente Sanarrutik)*, 17 p.
- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2004) *Entente concernant le financement global de l'Administration régionale Kativik (entente Sivunirmut)*, 70 p.
- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2005) *Entente concernant le financement global des villages nordiques de la région Kativik*, 20 p.

- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2008) *Entente de partenariat sur le développement économique et communautaire au Nunavik (entente Sanarrutik). Version administrative consolidée du 10 mars 2008*, 49 p.
- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2011) *Entente concernant la gestion du programme ISURRUUTIIT – 3*, 13 p.
- SECRÉTARIAT AUX AFFAIRES AUTOCHTONES (2016) *Entente concernant la gestion du programme ISURRUUTIIT-4*, 14 p.
- SENNEVILLE, A & ST-ONGE DROUIN, S. (2017) Modélisation des glaces de rive à fine échelle à proximité d'infrastructures maritimes au Nunavik en contexte des changements climatiques: *Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqaq et Aupaluk*, Rimouski: ISMER, 31 p.
- SENNEVILLE, A & ST-ONGE DROUIN, S. (2013) *Étude de la variation des glaces dans le système couple océan-glace de mer de la baie d'Hudson*, Rimouski: ISMER, 63 p.
- SERREZE, M.C. & BARRY, R.G. (2011) «Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis», *Global and Planetary Change*, 77 (1): 85-96.
- SERREZE, M.C. & BARRY, R.G. (2014) *The Arctic climate system*, Cambridge: Cambridge University Press, 415 p.
- SEUBE, N. (2014) *Canadian Arctic bathymetry data: compilation, assesement and prioritization*, Rimouski: Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans, 63 p.
- SHAW, J., TAYLOR, R.B., SOLOMON, S., CHRISTIAN, H.A. & FORBES, D.L. (1998) Potential impacts of global sea-level rise on Canadian Coasts, *The Canadian Geographer*, 42 (2): 365-379.
- SKURA, E. (2016) «Little hope left for Iqaluit's stalled hydroelectric dam project», 18 novembre, CBC News, [En ligne], [\[http://www.cbc.ca/news/canada/north/igaluit-hydroelectric-dam-project-update-1.3855579\]](http://www.cbc.ca/news/canada/north/igaluit-hydroelectric-dam-project-update-1.3855579).
- SNC LAVALLIN INC & PAUL F. WILKINSON AND ASSOCIATES INC (2000) *James Bay marine facility pre-feasibiity study: a comparative evaluation of Chisasibi and Wemindji*, Montréal: SNC Lavallin, 147 p.
- SNC LAVALLIN INC (2011) *Évaluation des perspectives économiques liées au développement d'une infrastructure maritime en eaux profondes dans le secteur de Whapmagoostui-Kuujjuarapik*, Montréal: SNC Lavallin, 94 p.

- SOCIÉTÉ D'HABITATION DU QUÉBEC (2014) *Le logement au Nunavik*, Québec: SHQ, 38 p.
- SOCIÉTÉ MAKIVIK (2010a) *Présentation du projet de chemin de fer Transquébec express à la commission parlementaire de l'Assemblée nationale du Québec sur les transports et l'environnement*, 28 p.
- SOCIÉTÉ MAKIVIK (2010b) *L'accès au territoire du Nunavik*, Audition sur le projet de Chemin de fer TransQuébec Express, Commission parlementaire des transports et de l'environnement, 6 p.
- SOCIÉTÉ MAKIVIK (2015) *JBNQA*, [En ligne], [<http://www.makivik.org/fr/history/jbnqa/>].
- SOCIÉTÉ MAKIVIK (2017) *Prolongation de l'entente sur les mesures de réduction du coût de la vie au Nunavik et ajout au Programme visant les électroménagers et les équipements utilisés pour l'exploitation de subsistance*, [En ligne], [<http://www.makivik.org/fr>].
- STATISTA (2017) *Forecast of global nickel consumption from 2015 to 2020*, [En ligne], [<https://www.statista.com/statistics/388081/global-nickel-consumption-projection/>].
- STATISTIQUE CANADA (2016) *Tableaux de données, Recensement de 2016*, Ottawa: Statistique Canada.
- STENEK, V. et al (2016) «Terminal maritime Muelles El Bosque, Cartagena, Colombia» in NG A. et al (eds) *Climate change and adaptation planning for ports*, London: Routledge, pp. 153-171.
- STEPHENSON, S.R., SMITH, L.C., BRIGHAM, L.W. & AGNEW, J.A. (2013) «Projected 21st-century changes to Arctic marine access», *Climatic change*, 118: 885-899.
- STEWART. E.J. HOWELL, S.E.L., DRAPER, D. YACKEL, J. & TIVY, A. (2007) «Sea ice in Canada's Arctic: implications for cruise tourism», *Arctic*, 60 (4): 370-380.
- STEWART. E.J. TIVY, A., HOWELL, S.E.L., DAWSON, J. & DRAPER, D. (2010) «Cruise tourism and sea ice in Canada's Hudson Bay region», *Arctic*, 63 (1): 57-66.
- STOPA, J.E., SUTHERLAND, P. & ARDHUIN. F. (2018) «Strong and highly variable push of ocean waves on Southern Ocean sea ice», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (23): 5861-5865.

- STOPFORD, M. (2010) *Maritime Economics*, London: Routledge, 815 p.
- SYSTRA CANADA (2017) *Baffin iron mines – Mary River Project*, [En ligne], [<https://www.systracanada.com/en-projet/baffinland-iron-mines-mary-river-project>].
- TÊTU, P.-L., PELLETIER, J.-F. & LASSERRE, F. (2015) «The mining industry in Canada north of the 55th parallel: a maritime traffic generator?» *Polar Geography*, 38 (2): 107-122.
- THE MARIPORT GROUP LTD (2007) *Over the top delivery route to the Alberta oil sands*, Rapport préparé pour le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.
- THORNES, J., RENNIE, M., MARSDEN, H. & CHAPMAN, L. (2012) *Climate change risk assessment for the transport sector*, Tech. Rep. EX 6426, Birmingham: HR Wallingford, 140 p.
- TOBIN, C. (2017) «Haeckel Hill wind farm gains clearance», *White Horse Daily Star*, 4 août, [En ligne], [<http://www.whitehorsestar.com/News/haeckel-hill-wind-farm-gains-clearance>].
- TRANSPORT CANADA (2003) *Arctic Ice Regime Shipping System*, Ottawa: Canadian Hydraulic Centre, 65 p.
- TRANSPORT CANADA (2012) *Port utilisation indicators toolkit*. Ottawa: Transport Canada, 28 p.
- TRANSPORT CANADA, SECRÉTARIAT DU COMITÉ D'EXPERT SUR LA SÉCURITÉ DES NAVIRES-CITERNES (2013) *Un examen du régime canadien de préparation et d'intervention en cas de déversements d'hydrocarbures par des navires. Mettre le cap sur l'avenir*, Ottawa: TC, 79 p.
- TRANSPORT CANADA, SECRÉTARIAT DU COMITÉ D'EXPERT SUR LA SÉCURITÉ DES NAVIRES-CITERNES (2014) *Un examen de la préparation et de l'intervention en cas de déversements par des navires au Canada d'hydrocarbures par des navires. Mettre le cap sur l'avenir, phase 2. Exigences s'appliquant à l'Arctique et aux substances nocives et potentiellement dangereuses à l'échelle nationale*, Ottawa: TC, 139 p.
- TRANSPORT CANADA, SUB-WORKING GROUP ON NORTHERN TRANSPORTATION (2015) *Report on winter roads*, Ottawa: Transport Canada, 75 p.

- TRAVAUX PUBLICS ET SERVICES GOUVERNEMENTAUX CANADA (1996) *Programme d'infrastructures maritimes au Nunavik. Concept d'aménagement révisé*, Ottawa: Travaux publics Canada, 36 p.
- TUGLIQ (2014) «Une première éolienne industrielle au Nunavik – Le savoir-faire de TUGLIQ propulse la croissance de Glencore», Newswire, 14 juillet, [En ligne], [\[http://www.newswire.ca/fr/news-releases/une-premiere-eolienne-industrielle-au-nunavik---le-savoir-faire-de-tugliq-propulse-la-croissance-de-glencore-515059361.html\]](http://www.newswire.ca/fr/news-releases/une-premiere-eolienne-industrielle-au-nunavik---le-savoir-faire-de-tugliq-propulse-la-croissance-de-glencore-515059361.html).
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (2015) *Alaska increases wind power capacity in utility-scale and distributed-scale projects*, 1 septembre, [En ligne], [\[https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=22752\]](https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=22752).
- VARGA, P. (2014) «Diavik mine's wind-driven power saves \$5 million à year in diesel costs», *Nunatsiaq Online*, 11 avril, [En ligne], [\[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674diavik_mines_wind-driven_power_saves_5_million_in_diesel_costs/\]](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674diavik_mines_wind-driven_power_saves_5_million_in_diesel_costs/).
- VARGA, P. (2017a) «New Iqaluit port aims for more sealift efficiency, safety», *Nunatsiaq online*, March 24, [En ligne], [\[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674new_igaluit_port_aims_to_increase_efficiency_safety_for_sealift\]](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674new_igaluit_port_aims_to_increase_efficiency_safety_for_sealift).
- VARGA, P. (2017b) «Nunavut's lack of funds keeps Iqaluit hydro dam in long-term limbo», 9 mars, *Nunatsiaq Online*, [En ligne], [\[http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674nunavuts_lack_of_funds_keeps_igaluit_hydro_dam_in_long-term_limbo/\]](http://www.nunatsiaqonline.ca/stories/article/65674nunavuts_lack_of_funds_keeps_igaluit_hydro_dam_in_long-term_limbo/).
- VERMAIRE, J.C. et al (2013) «Arctic climate warming and sea ice declines lead to increased storm surge activity», *Geophysical Research Letters*, 40 (7): 1386-1390.
- WALKER, B., HOLLING, C.S., CARPENTER, S.R. & KINZIG, A. (2004) Resilience, adaptability and transformability in socio-ecological systems, *Ecology and society*, 9(2): 5.
- WEBB, D. J. (2013) *On the tides and resonances of Hudson Bay and Hudson Strait*, *Ocean Science Discussions*, 10: 2053-2083.
- WSP CANADA (2014) *Demande de modification du certificat d'autorisation global infrastructures portuaires de la Baie Déception Projet Nunavik Nickel Canadian Royalties*, Montréal: WSP, 130 p.

YANG, Z.L., CAHOON, S. CHEN, S.L., NG, A.K.Y. & BECKER, A. (2016)
«Analyzing risks posed by climate change on ports», in NG A. et al (eds)
Climate change and adaptation planning for ports, London: Routledge, pp.
24-44.

ZEHERI, S.S. (2016) «We're already doing it': Quebec company touts wind
power in Canada's Arctic», *CBC News*, 20 septembre, [En ligne],
[\[http://www.cbc.ca/news/canada/north/wind-power-canada-arctic-1.3769462\]](http://www.cbc.ca/news/canada/north/wind-power-canada-arctic-1.3769462).

ANNEXE 1. BASES DE DONNÉES SUR LES PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

1. Base de données météorologiques horaires au Nunavik

La BD météorologiques horaires comprend des données enregistrées à chaque heure pour 11 paramètres climatiques (Tableau 73).

Tableau 73. Paramètres climatiques de la base de données météorologiques horaires

Température (°C)	Direction du vent (dizaines de degrés)	Pression atmosphérique (kPa)	État du temps
Point de rosée (°C)	Vitesse du vent (km/h)	Indice humidex	État de la mer
Humidité relative (%)	Visibilité (km)	Refroidissement éolien	

Les informations de la base de données météorologiques horaires proviennent de trois sources:

1. Les stations météorologiques situées dans les aéroports des 14 villages nordiques du Nunavik dont les données sont compilées par Environnement Canada et disponibles sur le site <http://climat.meteo.gc.ca>;
2. D'autres stations météorologiques situées à proximité des villages nordiques du Nunavik dont les données sont également compilées par Environnement Canada et disponibles sur le site <http://climat.meteo.gc.ca>;
3. Les livres de bord des navires du transporteur Pétro-Nav (Groupe Desgagnés) qui ont effectué la desserte du Nunavik et du Nunavut pour la période 1990-2016.

Il importe de souligner que les données des stations météorologiques ainsi que celles des carnets de bord des voyages effectués par les navires qui circulent au Nunavik présentent d'importantes disparités (Tableau 74).

Pour les stations météorologiques:

- Seules trois stations météorologiques (Inukjuaq, Kuujjuarapik et Kuujuaq) ont des stations à long terme permettant d'enregistrer des données continues.
- Les autres stations météorologiques du Nunavik n'enregistrent que des données hebdomadaires entre 7h00 à 17h00.
- Les conditions climatiques diffèrent grandement entre le milieu côtier et les sites aéroportuaires. Ainsi, les données des stations météorologiques d'Ivujivik, Kuujuaq et Salluit sont éloignées du littoral ou des zones de déchargement maritime de vrac liquide et de marchandises.

Pour les carnets de bord des navires:

- La qualité des données climatiques et environnementales varie entre transporteurs.
- Plusieurs données sont enregistrées manuellement sur des carnets de bord en format papier par différents membres d'équipage entraînant d'importantes différences dans la saisie de données.
- Plusieurs transporteurs maritimes ne conservent pas les données historiques.

Tableau 74. Qualité de la base de données météorologiques horaires par village nordique et sites miniers au Nunavik

Village nordique et sites miniers au Nunavik	Fréquence de prise de données climatiques horaires		Applicabilité des données climatiques horaires ²	Période couverte (données climatiques horaires)
Akulivik	Heures ouvrées ¹		Bonne	1993-2016
Aupaluk	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Baie Déception	N.A.		N.A.	S.D.
Inukjuak	24/24		Bonne	1924-2016
Ivujivik	Heures ouvrées		Mauvaise	1993-2016
Kangiqsualujaq	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Kangiqsujaq	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Kangirsuk	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Kuujujaq	24/24		Mauvaise	1955-2016
Kuujuarapik	24/24		Bonne	1957-2016
Puvirnituq	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Quaqtaq	1971-1982	aux 3 heures	Bonne	1971-1982
	1984-2016	Heures ouvrées		1984-2016
Salluit	Heures ouvrées		Mauvaise	1993-2016
Tasiujaq	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016
Umiujaq	Heures ouvrées		Bonne	1993-2016

¹ Les heures ouvrées varient d'un village nordique à l'autre, mais sont en général de 7h00 à 17h00.

² L'applicabilité des données climatiques est relative à la concordance entre les données de la station météorologique et celles prises sur un navire au point de déchargement. Elle concerne surtout le vent et la visibilité qui sont tributaires de la localisation de la station.

2. Base de données météorologiques journalières au Nunavik

La BD journalières sur les conditions climatiques compile neuf paramètres climatiques pour chaque jour au Nunavik (Tableau 75). Les données proviennent des stations météorologiques situées dans les aéroports du Nunavik. Elles sont compilées par Environnement Canada et disponibles sur le site <http://climat.meteo.gc.ca>.

Tableau 75. Paramètres climatiques de la base de données météorologiques journalières d'Environnement Canada

Température maximale (°C)	Pluie totale (mm)	Neige au sol (cm)
Température minimale (°C)	Neige totale (cm)	Direction de la rafale maximale (dizaines de degrés)
Température moyenne (°C)	Précipitations totales (mm)	Vitesse de la rafale maximale (km/h)

Dans le cadre de l'étude, seuls les paramètres climatiques en lien avec les précipitations (pluie totale, neige totale, précipitations totales et neige au sol) ont été utilisées puisque les autres paramètres peuvent être estimés avec la BD météorologiques horaires.

La principale limite de la BD météorologiques journalières concerne son échantillonnage géographique. La BD météorologiques journalières ne contient des données que pour cinq villages ainsi que pour Baie Déception (Tableau 76). Qui plus est, les données de Baie Déception et de Kuujjuarapik couvrent une période relativement courte (14 et 18 ans respectivement) et sont antérieures à 1990.

Tableau 76. Période couverte par la base de données météorologiques journalières d'Environnement Canada au Nunavik

Site	Période couverte
Akulivik	S.D.
Aupaluk	S.D.
Baie Déception	1963-1976
Inukjuak	1922-2016
Ivujivik	S.D.
Kangiqsualujuaq	S.D.
Kangiqsujaq	S.D.
Kangirsuk	S.D.
Kuujuaq	1947-2016
Kuujjuarapik	1971-1988
Puvirnituq	S.D.
Quaqtaq	1925-2013
Salluit	2014-2016
Tasiujaq	S.D.
Umiujaq	S.D.

3. Base de données sur l'évolution future du climat au Nunavik

La base de données sur l'évolution future du climat au Nunavik (BD scénarios climatiques) a été fournie par Ouranos. Elle comprend des données d'observations (1961-2010) ainsi que des données de scénarios climatiques couvrant la période 1961-2055. Le climat de référence utilisé repose sur le jeu de données du *Global Meteorological Forcing Dataset for Land Surface Modelling* (GMFD) au sein duquel sont combinées des données d'observations globales avec la réanalyse du *National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR).

Dans le cadre de l'étude, les données couvrant la période 1961-2010 ont été utilisées pour caractériser le climat de référence sur lequel on ajoute les changements climatiques projetés par les modèles régionaux de climat du projet CORDEX (*Coordinated Regional Downscaling Experiment*). Le tableau 77 indique les paramètres et indicateurs climatiques fournis par Ouranos.

Tableau 77. Paramètres et indicateurs climatiques de la base de données sur l'évolution future du climat au Nunavik

Début de la saison sans gel	Nombre de jours de gel	Température maximale (°C)
Fin de la saison sans gel	Nombre de jours englacés	Température minimale (°C)
Durée de la saison sans gel	Nombre de jours de précipitations très intenses (95 ^e percentile)	Précipitations totales (mm)
	Nombre de jours de précipitations extrêmes (99 ^e percentile)	

Les différentes projections utilisées par Ouranos pour développer les scénarios climatiques au Nunavik sont basées sur le scénario de référence du *Global Change Assessment Model* (GCAM) qui sert d'entrée à différents modèles climatiques. Le scénario de référence est construit en fonction des tendances moyennes observées sur plusieurs décennies. Ce scénario exclut toutes les politiques qui limiteraient les émissions de CO₂. Il est élaboré en fonction d'une domination des énergies non-renouvelables au sein de l'économie de marché. Selon le scénario de référence, les émissions de CO₂ devraient atteindre 792 ppm à l'horizon 2100 en comparaison à 400 ppm en 2015.

Les scénarios climatiques futurs d'Ouranos sont fondés sur différentes trajectoires d'émissions et de concentration de gaz à effet de serre (GES) en fonction de l'utilisation des territoires, du développement socio-économique et des avancées technologiques. Ils sont basés sur l'ensemble des simulations globales du projet *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5) qui forme la base du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). La méthodologie consiste à modifier les données du scénario de référence à l'horizon

2100. Les données pour l'élaboration de scénarios climatiques futurs au Nunavik sont tirées du programme CORDEX Amérique du Nord.

Dans le cadre de la présente étude sur les changements climatiques au Nunavik, Ouranos a fourni six scénarios climatiques à partir d'une diversité de modèles climatiques (Tableau 78). Toutes les simulations sont basées sur le scénario d'émissions de gaz à effet de serre (GES) **RCP 4.5**. Ce dernier projette une augmentation des concentrations de GES qui atteindraient 650 ppm à l'horizon 2050 et des anomalies de températures de 2,4°C par rapport au scénario de référence (Ouranos, 2015, p. 10). Les anomalies de température représentent la différence (positive ou négative) entre les températures moyennes projetées à long terme et les températures simulées. Les données futures couvrent la période **2017-2040**. Dans le cadre de la présente étude, la moyenne des séries temporelles de toutes les simulations de 2017 à 2040 fut calculée dans le but d'augmenter la robustesse statistique des analyses. La méthodologie détaillée pour construire les scénarios climatiques du Nunavik est décrite dans Mailhot et Chaumont (2017).

Tableau 78. Simulations climatiques régionales utilisées dans l'élaboration des scénarios de changements climatiques au Nunavik, 2017-2040

Information sur les modèles régionaux de climat				Information sur les scénarios climatiques		
Modèle	Centres	Modèles régionaux de climat	Source	Résolution (km)	Modèles climatiques globaux (pilote)	Émissions ¹
1	CCMAC	CanRCM4	CORDEX	22	CanESM2	Historique + RCP 4.5
2	DMI	HIRHAM5	CORDEX	44	EC-EARTH	Historique + RCP 4.5
3	SMHI	RCA4	CORDEX	44	CanESM2	Historique + RCP 4.5
4	SMHI	RCA4	CORDEX	44	EC-EARTH	Historique + RCP 4.5
5	UQAM	CRCM5	CORDEX	44	CanESM2	Historique + RCP 4.5
6	UQAM	CRCM5	CORDEX	44	MPI-ESM-LR	Historique + RCP 4.5

¹ Les émissions historiques utilisées couvrent la période 1961-2017

Notes

Les valeurs des données pour la période 2017-2040 se présentent sous la forme de la moyenne d'un ensemble de données rectangulaires avec une taille de grille de 22 km sur 22 km par village et site minier au Nunavik.

Centres

- CCMAC: Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique
- DM : Danmarks Meteorologiske Institut (Institut danois de météorologie)
- SMHI: Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (Institut suédois de météorologie et d'hydrologie)
- UQAM: Université du Québec à Montréal

Modèles régionaux de climat

- CanRCM4: Version 4 du modèle régional du climat du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCMAC).
- HIRHAM5: Version 5 du modèle régional du climat HIRHAM développé par l'Institut danois de météorologie (DMI). Il tire son nom et son origine des modèles HIRLAM (High Resolution Limited Area Model développé par l'Institut Max-Planck de météorologie de Hambourg) et ECHAM (fusion de l'acronyme ECMRWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) et de la ville de Hambourg).
- RCA4: Version 4 du modèle régional atmosphérique du centre Rossby développé par l'Institut suédois de météorologie et d'hydrologie (SMHI).
- CRCM5 : Version 5 du modèle régional climatique canadien développé par le Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale de l'UQAM.

Modèles climatiques globaux

- CanESM2: Version 2 du modèle climatique global canadien développé par le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCMAC).
- EC-EARTH: Modèle climatique global développé conjointement par la communauté EC-Earth chapeauté par le SMHI.
- MPI-ESM-LR: Modèle climatique global de l'Institut Max-Planck de météorologie à faible résolution.

4. Base de données sur l'évolution des conditions de glaces au Nunavik, 1990-2016

La base de données sur l'évolution des conditions de glaces comprend des données hebdomadaires prises entre 1990 et 2016 sur la nature et les caractéristiques du régime des glaces côtières telles que leur concentration, leur stade de formation et leur forme. Les données proviennent des archives du Service canadien des glaces d'Environnement Canada (<https://www.ec.gc.ca/glaces-ice/>).

La base de données sur l'évolution des conditions de glaces le long des côtes contient des informations sur l'état des glaces en bordure des 14 villages nordiques du Nunavik ainsi que des infrastructures maritimes de Baie Déception.

Ces données publiques sont utilisées pour la réalisation de cartes régionales hebdomadaires de glaces. Ces cartes illustrent l'état ponctuel du régime des glaces et sont issues d'un éventail de données intégrées pour une région donnée. L'information est présentée au moyen du « code de l'œuf » et des codes de couleur de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le Tableau 79 montre que la fréquence de publication des cartes de glaces d'Environnement Canada a augmenté au fil des années. Le Service canadien des glaces offre désormais une publication hebdomadaire tout au long de l'année plutôt qu'une publication saisonnière.

Tableau 79. Fréquence de publication des cartes de glace du Service canadien des glaces, 1990-2016

Années	Mois	Fréquence
1990-2009	Décembre à Mars	1 à 2 par mois
	Avril à Juin	1 à 3 par mois
	Juillet à Novembre	Hebdomadaire
2010-2016	Janvier à Décembre	Hebdomadaire

L'étude sur l'évolution des conditions de glace bénéficie également de bases de données qui émanent de plusieurs travaux:

- Conditions des glaces de rive à proximité d'infrastructures maritimes au Nunavik (Senneville et al, 2017; Bernier et al, 2017);
- Variation des glaces dans le système couplé océan-glace de mer de la baie d'Hudson (Senneville et al, 2013);
- Descripteurs et indicateurs de couverture glacielle au Nunavik (Clerc et al, 2012).

5. Base de données sur les niveaux d'eau

Les niveaux d'eau sont présentés en mètres (m) et sont mesurés à partir du zéro de la carte. Ceci représente le plan de référence verticale à partir duquel toutes les profondeurs d'eau sont mesurées.

La base de données sur l'évolution des niveaux d'eau a été compilée à partir de données historiques sur les trajectoires des tempêtes pour la période 1961-2011 (Savard et al, 2014). Les données futures proviennent des modèles climatiques sur le nombre de trajectoires et de centres cycloniques futurs (2041-2070) utilisés par Savard et al (2014) et des scénarios de variation du niveau relatif de la mer sur les côtes du Nunavik pour l'horizon 2081-2100 fournis par Ouranos (2015). Ces scénarios de variation des niveaux d'eau sont fondés sur les fluctuations interannuelles des niveaux d'eau et modifiées par des facteurs inhérents aux changements climatiques incluant la fonte des glaciers, des calottes glaciaires et du stockage terrestre. Les variations s'expliquent par l'utilisation de la méthode delta dans l'élaboration de scénarios. La méthode delta utilise les moyennes de niveau d'eau d'une série chronologique de référence (1985-2006) et applique un delta (différence) aux valeurs moyennes projetées des niveaux d'eau pour la période 2081-2100. Les valeurs obtenues représentent la différence entre les conditions historiques des niveaux d'eau des années 1985-2006 et les niveaux d'eau projetés des années 2081-2100. Ces projections des niveaux d'eau pour les zones côtières du Nunavik sont ensuite corrélées avec les paramètres du scénario «RCP4.5» duquel est extraite une valeur médiane. L'analyse de la variation des niveaux d'eau bénéficie également de l'apport de plusieurs travaux incluant

- Vulnérabilité du Nunavik en fonction des composantes environnementales et des processus naturels liés au climat (L'Hérault et al, 2017);
- Modélisation numérique des marées et ondes de tempête dans la baie d'Hudson, le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava (Massé et al, 2013).

ANNEXE 2. ANALYSE DÉTAILLÉE DE L'ÉVOLUTION HISTORIQUE (1990-2016) ET FUTURE (2017-2040) DES PROBABILITÉS D'OCCURRENCE DES SEUILS LIMITES DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

1. TEMPÉRATURE DE L'AIR

1.1. Température maximale

Le seuil de température maximale

Les changements de la température de l'air sont le principal marqueur des changements climatiques. Des éléments de preuve démontrent que la plupart des régions du monde ont été exposées à une hausse des températures depuis le milieu des années 1950 (Instanes, 2005; Allard et Lemay, 2013). Pour la période 1960-2009, les températures montrent une tendance à la hausse d'au moins 1°C pour l'Arctique et de près de 2°C pour le Nunavik et la région de la baie d'Hudson (Serreze & Barry, 2011; Ouranos, 2015).

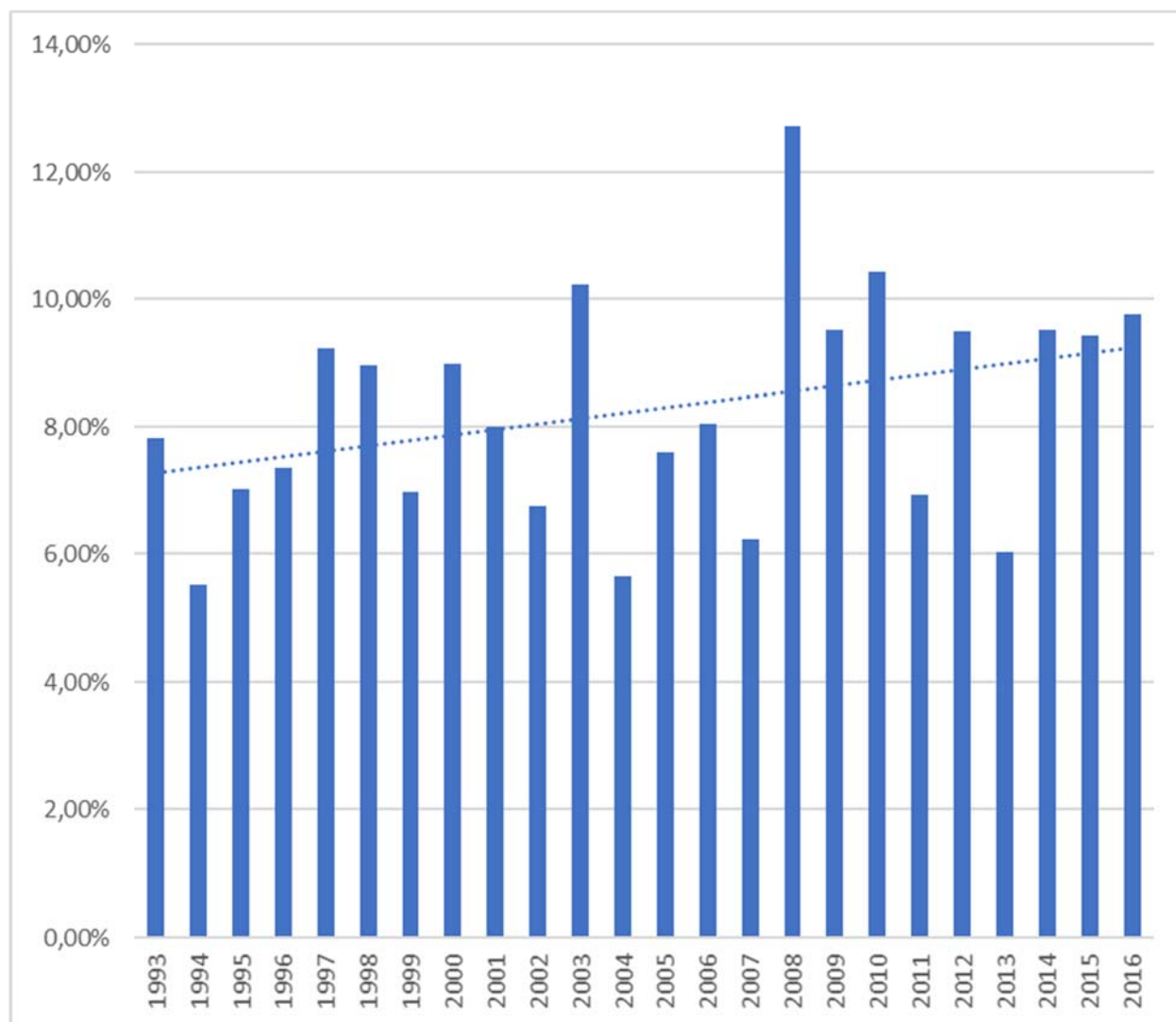
Aux fins de l'étude, le seuil retenu comme température maximale est **le nombre de jours avec une température >20°C pour les saisons été-automne et hiver-printemps**. Ce seuil est à 2°C du seuil météorologique de 18°C fixé par Environnement Canada pour distinguer les degrés-jours des besoins en climatisation et refroidissement et les degrés-jours des besoins en chauffage.

Les fréquences historiques de jours avec une température >20°C entre 1993 et 2016

Depuis 1993, la probabilité d'atteindre de seuil est très probable pour la **saison été-automne** avec un nombre d'occurrences variant entre une fois par mois et une fois aux trois jours. Les journées qui affichent des températures s'élevant à plus de 20°C ont une fréquence historique moyenne de 7,68%. **Les tendances observées indiquent une légère augmentation** (Figure 18).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
7,68%	5	4 à 5	Augmentation

Figure 18. Pourcentage de jours avec une température >20°C (été-automne) au Nunavik, 1993-2016

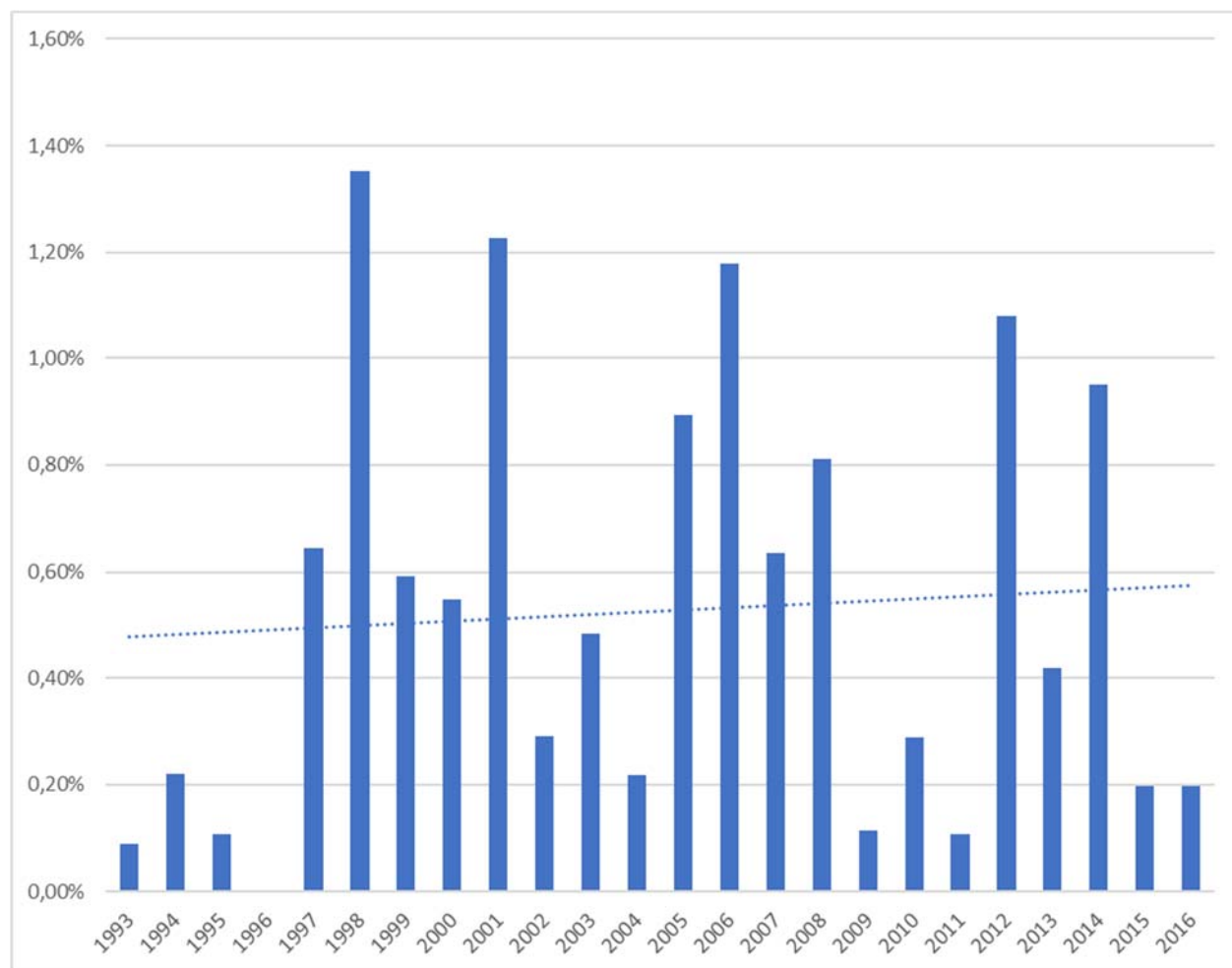


Source: Environnement Canada, 2017

Pour la **saison hiver-printemps**, les journées qui affichent des températures de plus de 20°C ont une fréquence historique moyenne de 0,41%. Le nombre d'occurrences est fixé à 3 (occasionnelle). Une température de plus de 20°C est un événement météorologique se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an au Nunavik. **Les tendances historiques pointent vers une légère augmentation pour la période 1993-2016** (Figure 19).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,41%	3	1 à 4	Légère augmentation

Figure 19. Pourcentage de jours avec une température >20°C (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

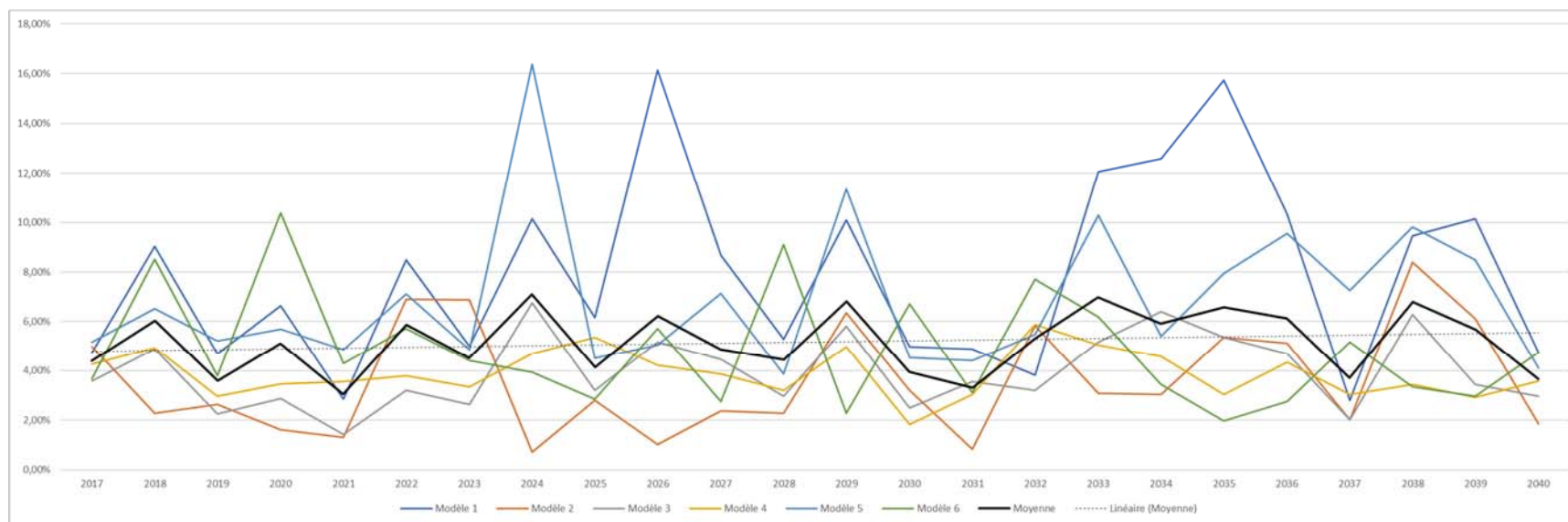
Ces données sont corroborées par Allard et Lemay (2013) qui présentent les différentes anomalies des températures par période de l'année durant le dernier siècle pour le Nunavik. Ils démontrent une anomalie positive des températures au printemps, à l'automne et à l'hiver. Serreze et Barry (2011) démontrent qu'une anomalie positive par rapport à la moyenne des températures de 1960-2009 affecte la région du Nunavik entre 2000 et 2009 pour toutes les périodes de l'année. Galbraith et Larouche (2011) démontrent que les températures de l'eau de surface sont en hausse dans la baie d'Hudson depuis 1985. Dans l'analyse des vulnérabilités du Nunavik en fonction des aléas climatiques, L'Hérault et al (2017, p. 35) montrent qu'il y a eu des épisodes de journées chaudes consécutives en 1998, 2005 et 2010.

Les probabilités des conditions futures de jours avec une température >20°C entre 2017 et 2040

Entre 2017 et 2040, les résultats climatiques suggèrent que les journées s'élevant au dessus de 20°C pour la **saison été-automne** auront une fréquence variant entre 3,04% et 7,10% (Figure 20). **L'indice de probabilité associé aux conditions futures montre que l'atteinte du seuil serait très probable**, soit un événement climatique se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours.

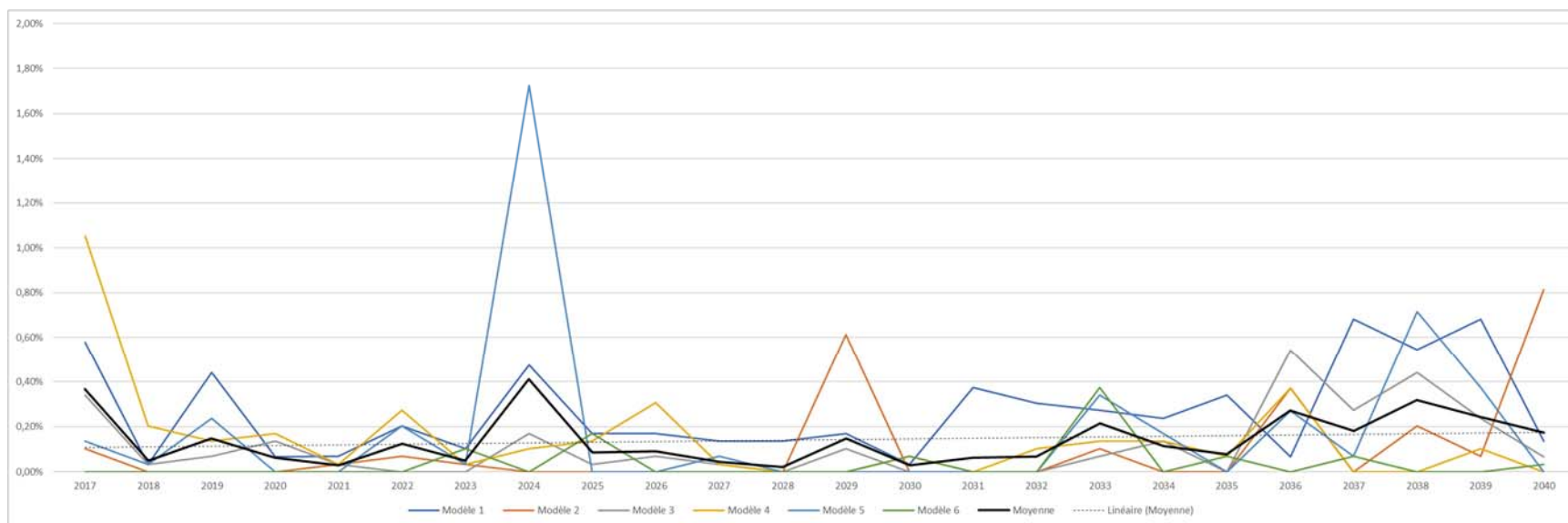
Pour la **saison hiver-printemps**, les résultats montrent que la fréquence varie entre 0,02% et 0,41% à l'horizon 2040 (Figure 21). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est dit occasionnelle (3). **Une température de plus de 20°C pour la saison hiver-printemps demeure un événement météorologique se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an au Nunavik.**

Figure 20. Pourcentage de jours avec une température >20°C (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 21. Pourcentage de jours avec une température >20°C (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Selon les scénarios produits par Ouranos (2015), le détroit d'Hudson, la baie d'Ungava et l'Est de la baie d'Hudson seraient affectés par une hausse annuelle progressive des températures qui se situerait entre $+1,9^{\circ}\text{C}$ et $+4,7^{\circ}\text{C}$ à l'horizon 2050. Un examen de la variation de la température de l'air pour la région de la baie James démontre que la hausse pourrait varier de $+1,7^{\circ}\text{C}$ à $+4,0^{\circ}\text{C}$ à l'horizon 2050. Une analyse des projections sur une base saisonnière effectuées par Ouranos (2015) révèle que la saison hivernale afficherait des hausses de température pouvant atteindre $+7,8^{\circ}\text{C}$ dans le détroit d'Hudson, la baie d'Ungava et l'Est de la baie d'Hudson alors que la hausse moyenne maximale serait de $+5,6^{\circ}\text{C}$ dans la baie James à l'horizon 2050. Durant les mois de juin, juillet et août, les anomalies de températures moyennes maximales seraient d'environ $+3,4^{\circ}\text{C}$ le long de l'ensemble des côtes du Nunavik.

Ces valeurs sont moindres que celles des simulations climatiques de Senneville et al (2013) qui prévoient une variation annuelle des températures de $1,26^{\circ}\text{C}$ dans la baie James, de $0,92^{\circ}\text{C}$ dans la baie d'Hudson et de $0,46^{\circ}\text{C}$ dans le détroit d'Hudson à l'horizon 2055. Par ailleurs, Senneville et al (2013) prévoient une variation minimale des températures de surface durant la saison hivernale pour l'ensemble de la région. Mais la baie James et l'Est de la baie d'Hudson seraient davantage affectées par des variations maximales de température de 4°C durant la période estivale à l'horizon 2055. Ces valeurs plus importantes en raison d'un ensemble plus restreint de simulations basées sur un seul modèle climatique régional.

Le recours à une diversité de modèles climatiques par Ouranos augmente la robustesse des résultats. Mais les projections de hausse moyenne des températures telles qu'élaborées par Ouranos doivent être interprétées comme indicatrices de tendances générales. Dans le contexte de la navigation maritime au Nunavik, les paramètres liés aux projections de température qui sont les plus importants concernent la distribution saisonnière des variations de température, car les impacts seront très différents si la température augmente de 5°C pendant la saison hivernale ou durant la saison estivale.

1.2. Température minimale

Le seuil de température minimale

Les températures négatives sont courantes au Nunavik. Durant la saison estivale-automnale, les journées qui affichent des températures atteignant les moins 10°C ont une fréquence historique moyenne de 7,65%. Le thermomètre chute rarement jusqu'à moins 20°C; c'est un événement météorologique qui se produit entre une fois par an et une fois par mois. En fort contraste, les journées avec des températures minimales négatives sont fréquentes durant la saison hiver-printemps. Les journées qui affichent des températures minimales atteignant les moins 10°C ont une fréquence historique moyenne de 67,82%. Le seuil retenu pour l'étude de l'impact des changements climatiques sur les activités de transport maritime est **le nombre de jours avec une température <-35°C**.

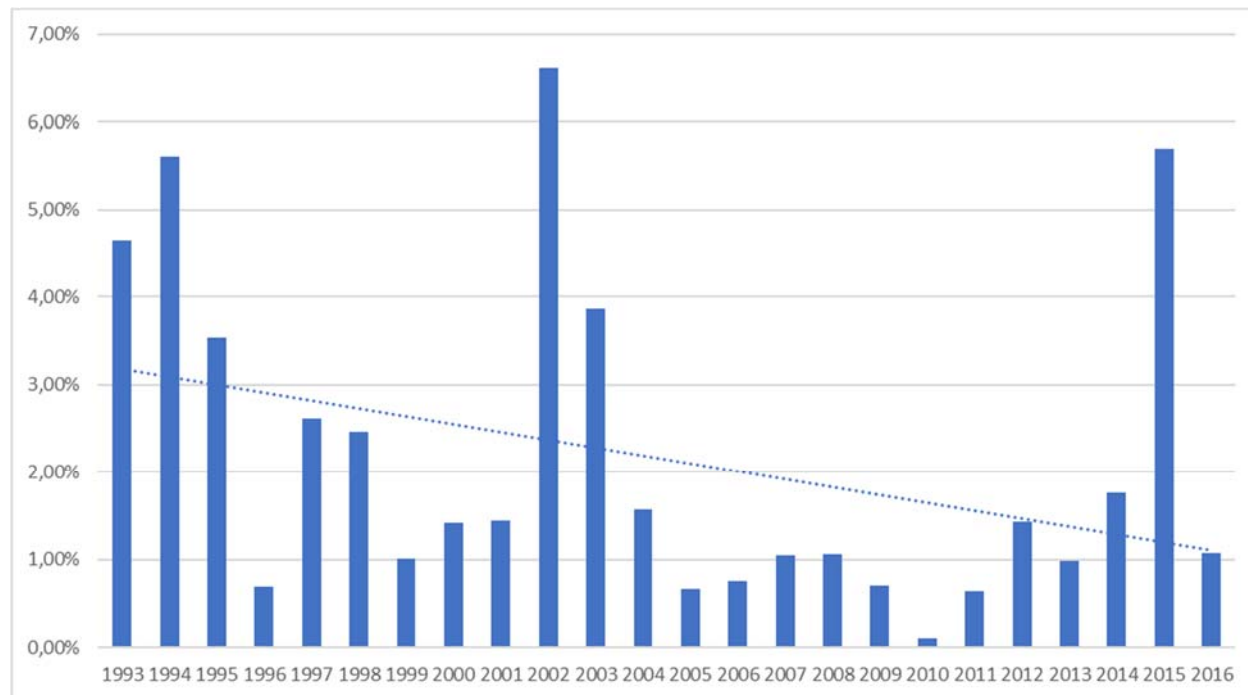
Description	Fréquence historique moyenne (%)	
	Jours/saison (été-automne)	Jours/saison (hiver-printemps)
Nombre de jours avec une température <-10°C	7,65	67,82
Nombre de jours avec une température <-20°C	0,93	45,20
Nombre de jours avec une température <-30°C	0,00	15,92
Nombre de jours avec une température <-35°C	0,00	2,45

Les fréquences historiques de jours avec une température <-35°C entre 1993 et 2016

Depuis 1993, Environnement Canada n'a enregistré aucune période avec des températures inférieures ou égales à -35°C durant l'été ou l'automne. Durant la **saison hiver-printemps**, les journées qui affichent des températures inférieures à -35°C ont une fréquence historique moyenne de 2,45%. La probabilité d'occurrence associée à ce paramètre climatique au Nunavik est fixée à 4 (probable, entre une fois par an et une fois par mois) pour la période 1993-2016. **Les tendances observées pointent vers une diminution du nombre de jours affichant des températures inférieures à -35°C** (Figure 22).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
2,45%	4	4 à 5	Diminution

Figure 22. Pourcentage de jours avec une température $<-35^{\circ}\text{C}$ (hiver-printemps), 1993-2016

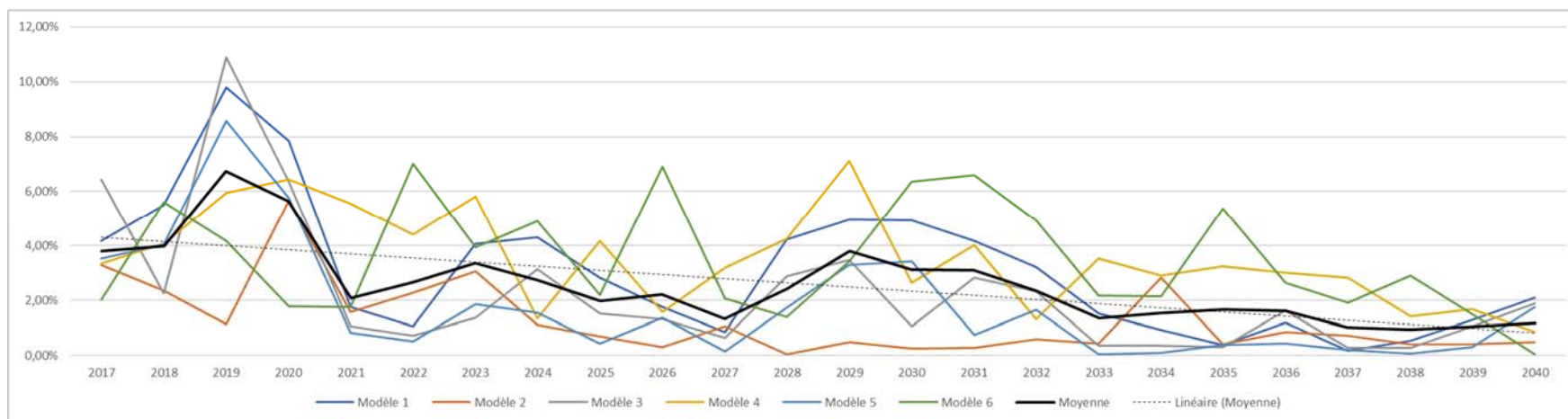


Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours avec une température $<-35^{\circ}\text{C}$ entre 2017 et 2040

Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées qui afficheraient des températures atteignant $<-35^{\circ}\text{C}$ pour la **saison hiver-printemps** auront une fréquence variant entre 0,94% et 6,75% à l'horizon 2040 (Figure 23). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 5 (très probable), soit un événement se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours. Mais **les tendances futures pointent vers une diminution du nombre de jours affichant des températures $<-35^{\circ}\text{C}$** (Figure 23).

Figure 23. Pourcentage de jours avec une température $<-35^{\circ}\text{C}$ (hiver-printemps), 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

1.3. Vague de froid

Le seuil de vague de froid

La littérature ne présente pas de définition standard d'une vague de froid. Dans la présente étude, une vague de froid est définie comme **une période d'au moins trois jours consécutifs où la température quotidienne minimale est égale ou inférieure à -25°C et la température quotidienne maximale est égale ou inférieure à -10°C.**

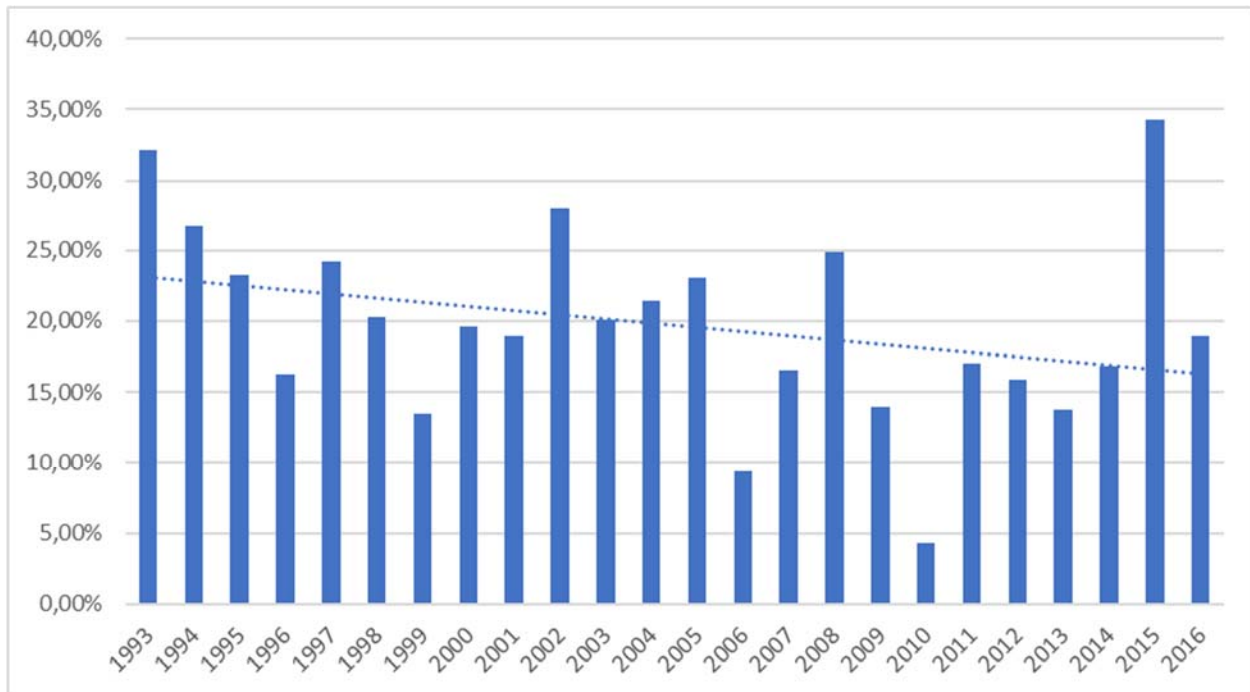
Les fréquences historiques de jours de vague de froid entre 1993 et 2016

Depuis 1993, Environnement Canada n'a enregistré aucune vague de froid au Nunavik durant l'été ou l'automne. Les tendances observées pour la **saison hiver-printemps** indiquent que la probabilité d'occurrence associée à ce paramètre climatique au Nunavik est fixée à 5 (très probable) (fréquence historique moyenne de 20,64%). Au Nunavik une vague de froid peut se produire entre une fois par mois et une fois aux trois jours. Pour la période 1993-2016, la Figure 24 indique que **la tendance observée au cours des deux dernières décennies penche pour une diminution des vagues de froid.**

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
20,64%	5	5 à 6	Diminution

Ces tendances sont confirmées par les travaux d'Ouranos. La durée des événements chauds a augmenté tandis que celle des événements froids a diminué. Il y a des diminutions statistiquement significatives dans le nombre de nuits et jours frais, et la durée des vagues de froid pour la période 1951-2010. Il y a des augmentations significatives dans le nombre de nuits et jours chauds, et la durée des vagues de chaleur pour la période 1951-2010 (Ouranos, 2015, p. 9)

Figure 24. Pourcentage de jours de vague de froid (hiver-printemps), 1993-2016

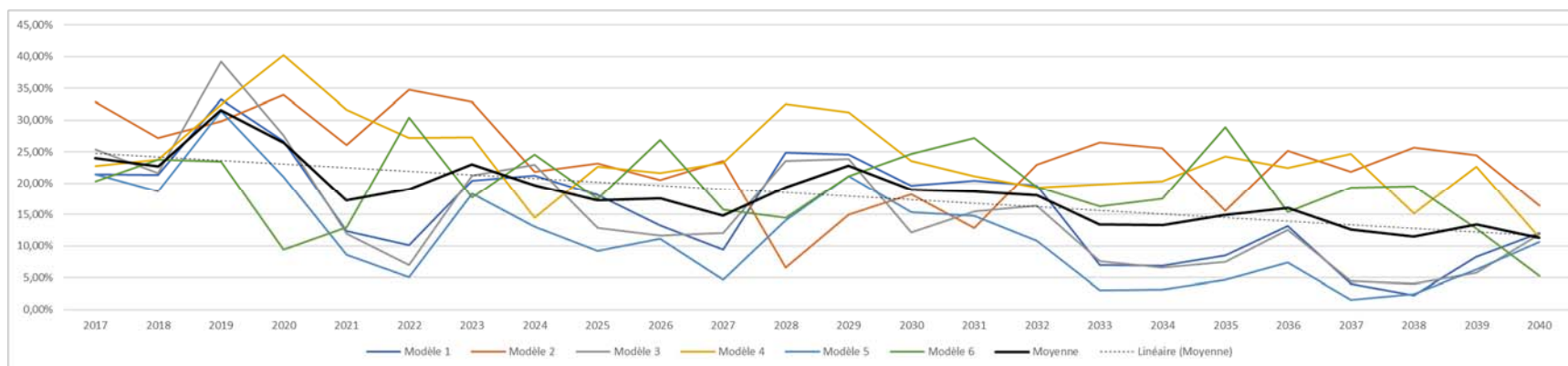


Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de vague de froid entre 2017 et 2040

La simulation du climat futur en se basant sur six modèles climatiques indique que la fréquence associée à des vagues de froid au Nunavik durant la **saison hiver-printemps** varierait entre 11,26% à 31,59% à l'horizon 2040 (Figure 25). La méthode de calcul qui consiste à sélectionner la borne supérieure des moyennes calculées suggère que l'indice de probabilité associé aux conditions futures soit estimé à 6 (habituelle), soit un événement se produisant entre une fois aux trois jours et une fois aux deux jours. Mais la Figure 25 démontre que **la tendance projetée au cours des prochaines décennies penche pour une diminution des vagues de froid.**

Figure 25. Pourcentage de jours de vague de froid (hiver-printemps), 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

1.4. Variabilité importante de la température

Le seuil de variabilité importante de la température

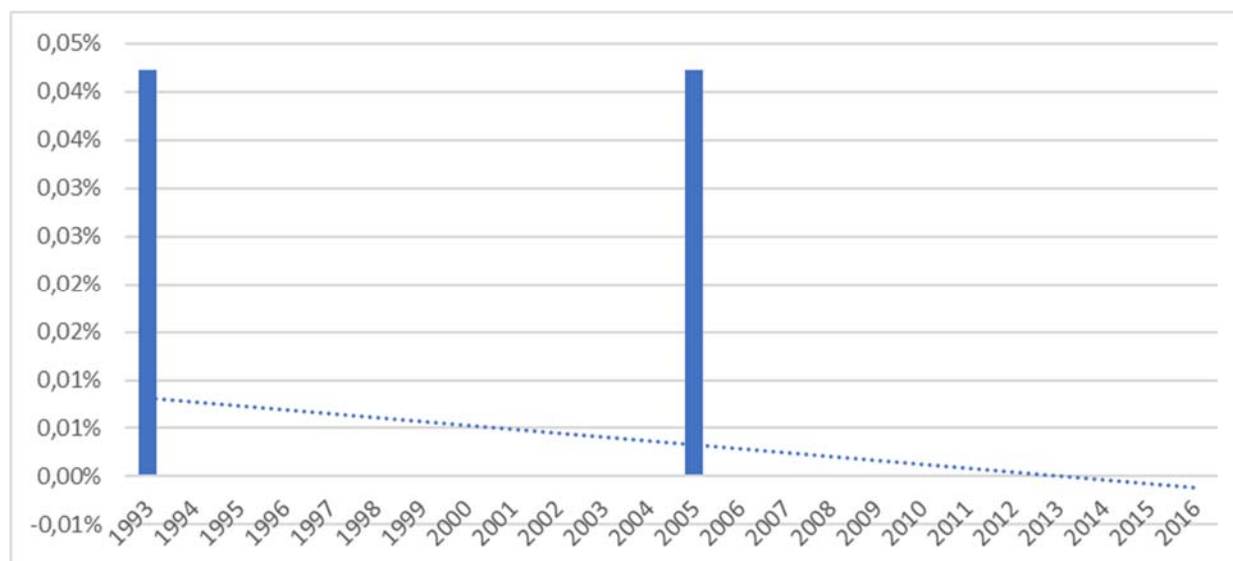
Une revue de la littérature ne permet pas d'établir une définition reconnue de la variabilité de la température. Dans le cadre de la présente analyse, le seuil est établi au **nombre de jours par année où la différence entre la température minimale et maximale varie de plus de 25°C pour une journée.**

Les fréquences historiques de jours avec une variation de température de plus de 25°C entre 1993 et 2016

Pour la **saison été-automne**, les journées qui affichent une variabilité des températures de plus de 25°C ont une fréquence historique moyenne de 0,0038%. De 1993 à 2016, l'indice de probabilité associé à la saison estivale-automnale est fixé à 1 (improbable/très improbable). C'est un événement climatique qui se produit moins d'une fois aux 20 ans. La Figure 26 démontre que les deux événements survenus en 23 ans ne permettent pas de calculer une tendance de la variabilité importante de la température durant la saison estivale-automnale.

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,0038%	1	0 à 1	Non significatif

Figure 26. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (été-automne) au Nunavik, 1993-2016

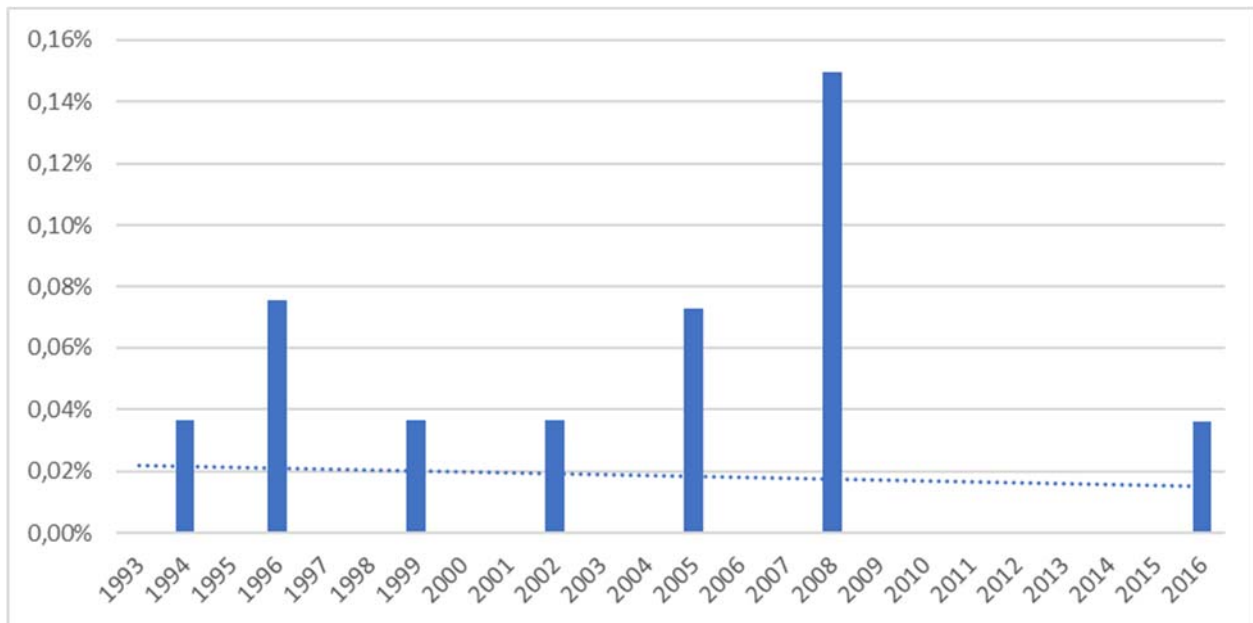


Source: Environnement Canada, 2017

Les tendances observées pour la **saison hiver-printemps** indiquent que la probabilité d'occurrence associée à une variabilité importante de la température au Nunavik est fixée à 3 (occasionnelle, entre une fois aux 10 ans et une fois par an) pour la période 1993-2016. La fréquence historique moyenne est estimée à 0,0516%. Par ailleurs, **les tendances observées sont trop variables pour tirer des conclusions sur le nombre de jours où la température varie de plus de 25°C durant l'hiver ou le printemps** (Figure 27).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,0516%	3	0 à 3	Indéterminé

Figure 27. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



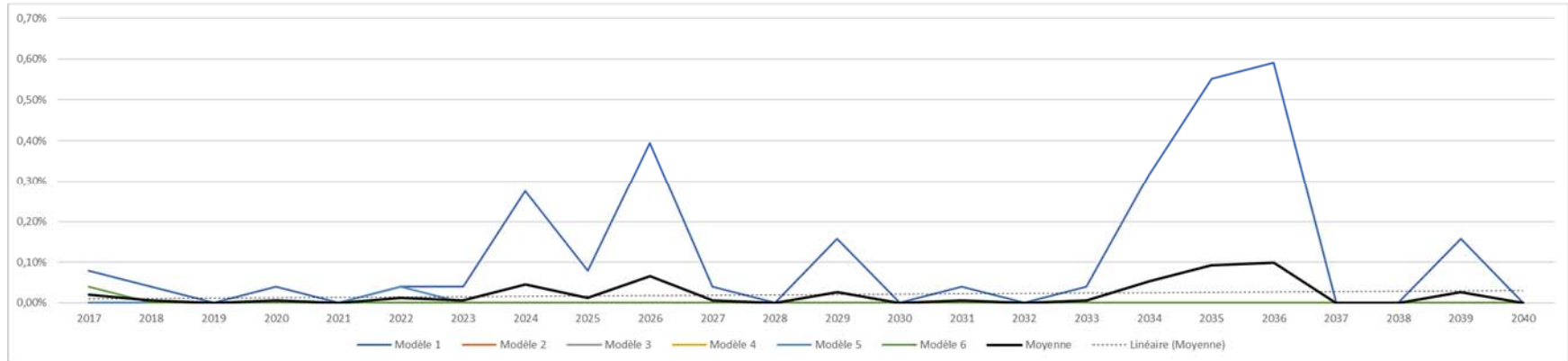
Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours avec une variation de température de plus de 25°C entre 2017 et 2040

Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées qui afficheraient une variabilité des températures de plus de 25°C pour la **saison été-automne** auraient une fréquence moyenne variant de 0,00% à 0,10% à l'horizon 2040 (Figure 28). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 3 (occasionnelle), soit **un événement se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an**.

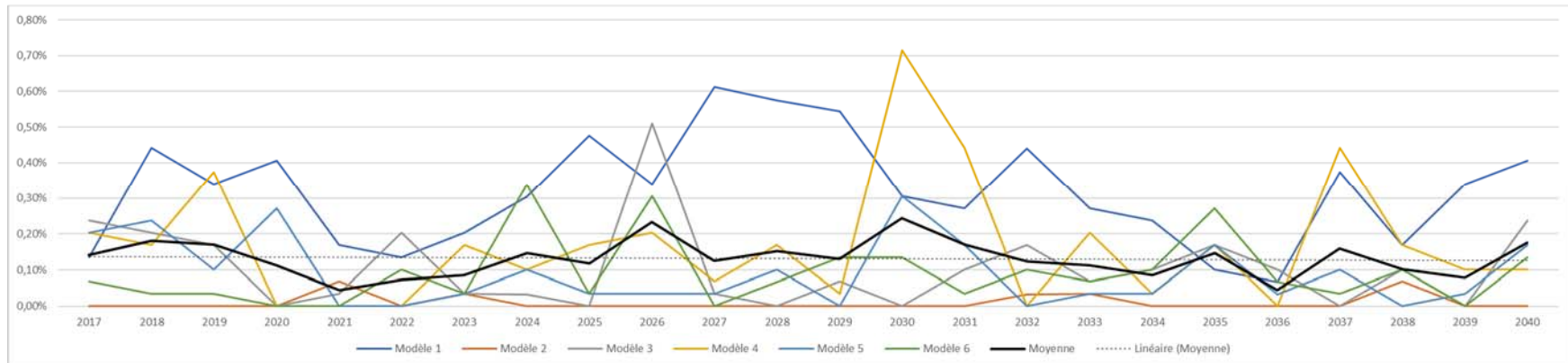
La simulation du climat futur en fonction de six modèles climatiques suggère que les journées qui afficheraient une variabilité des températures de plus de 25°C pour la **saison hiver-printemps** auraient une fréquence moyenne variant de 0,05% à 0,24% à l'horizon 2040 (Figure 29). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est fixé à 3 (occasionnelle). Les journées qui afficheraient une variabilité des températures de plus de 25°C pour la saison hiver-printemps seraient **un événement météorologique se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an au Nunavik**.

Figure 28. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 29. Pourcentage de jours avec une variation de température de plus de 25°C (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2. RÉGIME DE PRÉCIPITATION

2.1. Jours de fortes pluies

Le seuil des jours de fortes pluies

Les précipitations sous forme de fortes pluies exercent différents impacts sur les opérations maritimes. Les épisodes de fortes pluies sont définis comme des pluies qui apportent **un cumul de précipitations de l'ordre de 50 mm ou plus en une journée** durant la saison estivale-automnale.

Les fréquences historiques de jours de fortes pluies entre 1961 et 2010

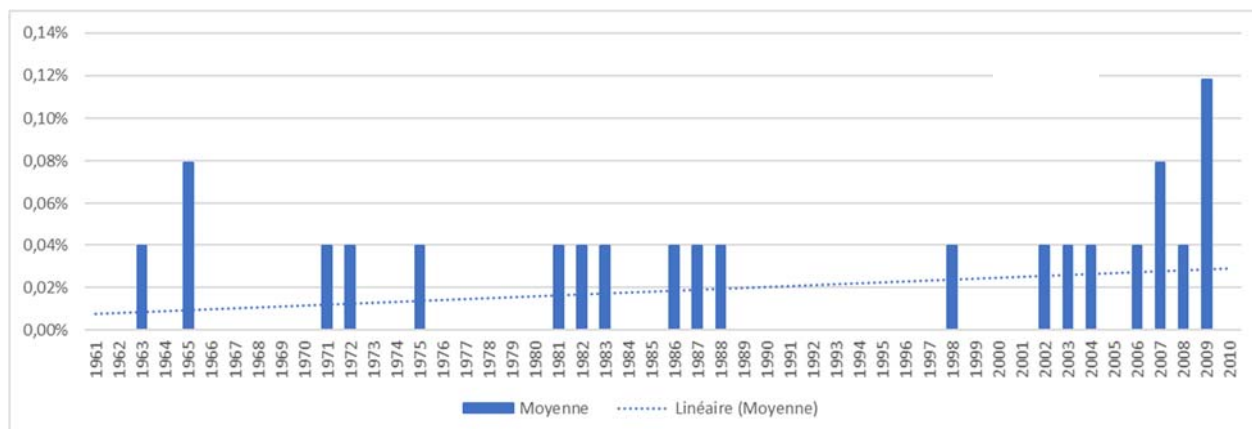
Les données compilées par Ouranos suggèrent que les épisodes de fortes pluies **à l'été et à l'automne** au Nunavik se produisent moins d'une fois aux 20 ans (fréquence historique moyenne de 0,0181%). Ceci représente une probabilité de 1 (improbable/très improbable). Il n'y a **aucun changement significatif pour ce paramètre climatique en fonction des tendances historiques observées** (Figure 30).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,0181%	1	0 à 3	Non significatif

Un seul épisode de fortes pluies a été enregistré durant la saison hiver-printemps au Nunavik par Ouranos depuis 1961. La probabilité d'occurrence associée à des épisodes de fortes pluies au Nunavik est fixée à 1 (improbable/très improbable, se produisant moins d'une fois aux 20 ans) pour la période 1961-2010 (Figure 31).

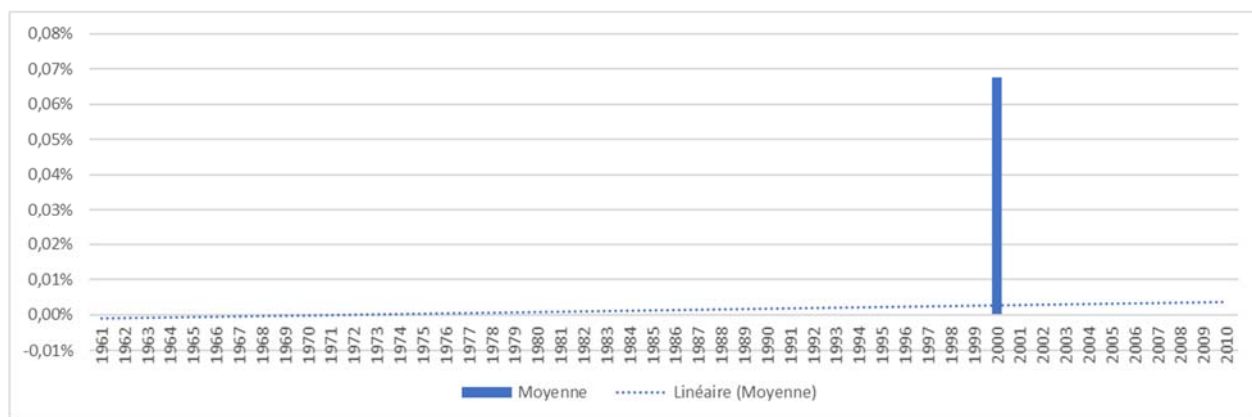
Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,0014%	1	0 à 1	Non significatif

Figure 30. Pourcentage de jours de fortes pluies (été-automne) au Nunavik, 1961-2010



Source: Ouranos, 2017

Figure 31. Pourcentage de jours de fortes pluies (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010

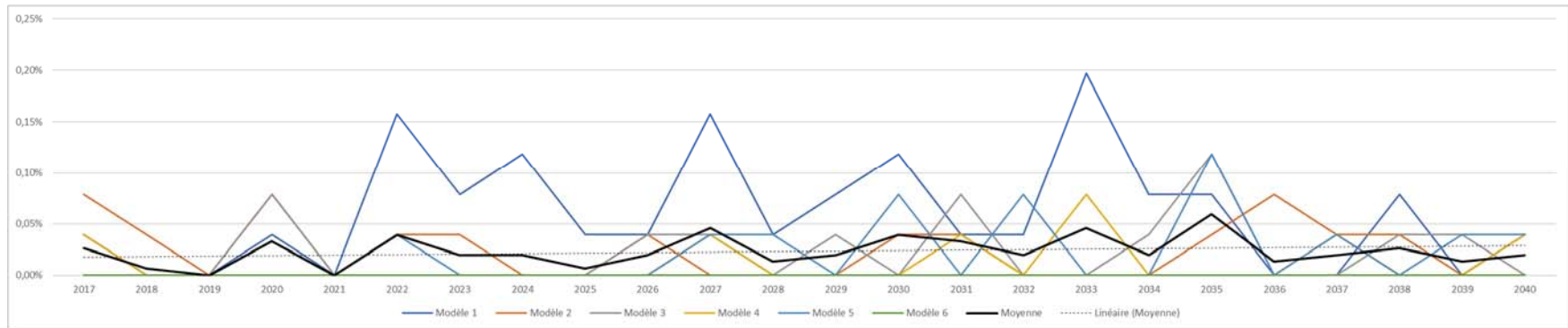


Source: Ouranos, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de fortes pluies entre 2017 et 2040

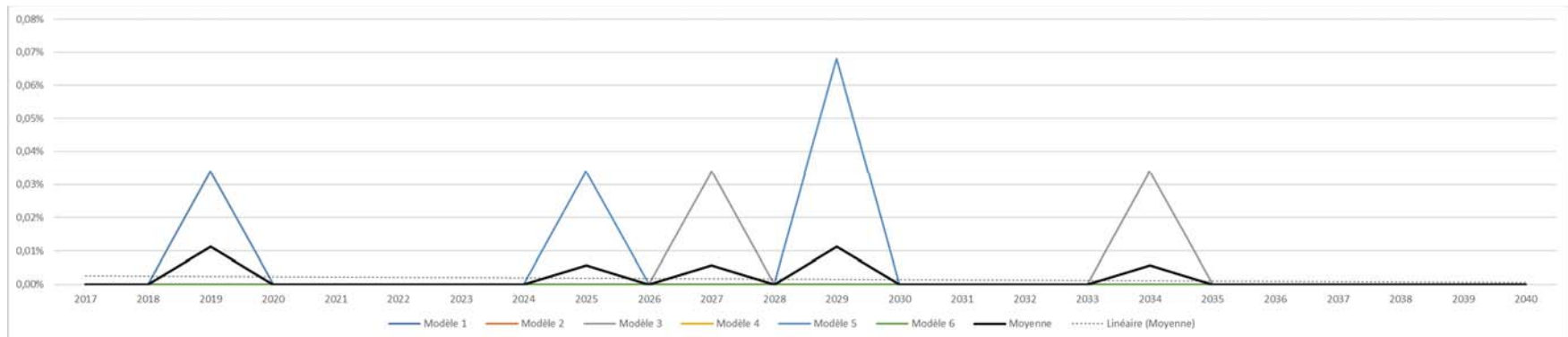
La simulation du climat futur en se basant sur six modèles climatiques indique que la fréquence associée aux épisodes de fortes pluies à **l'été et à l'automne** au Nunavik à l'horizon 2040 serait entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans (fréquence future moyenne variant entre 0,00% et 0,06%) (Figure 32). Durant la **saison hiver-printemps**, les épisodes de fortes pluies auraient une fréquence variant entre 0,00% et 0,01% (Figure 33). Ces valeurs indiquent que pour la période 2017-2040, **la probabilité d'occurrence associée à des épisodes de fortes pluies au Nunavik est fixée à 1.**

Figure 32. Pourcentage de jours de fortes pluies (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 33. Pourcentage de jours de fortes pluies (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.2. Jours de fortes pluies prolongées

Le seuil de jours de fortes pluies prolongées

Les épisodes de fortes pluies prolongées sont définis comme **le cumul de précipitations qui dépasse 100 mm durant 5 jours consécutifs**.

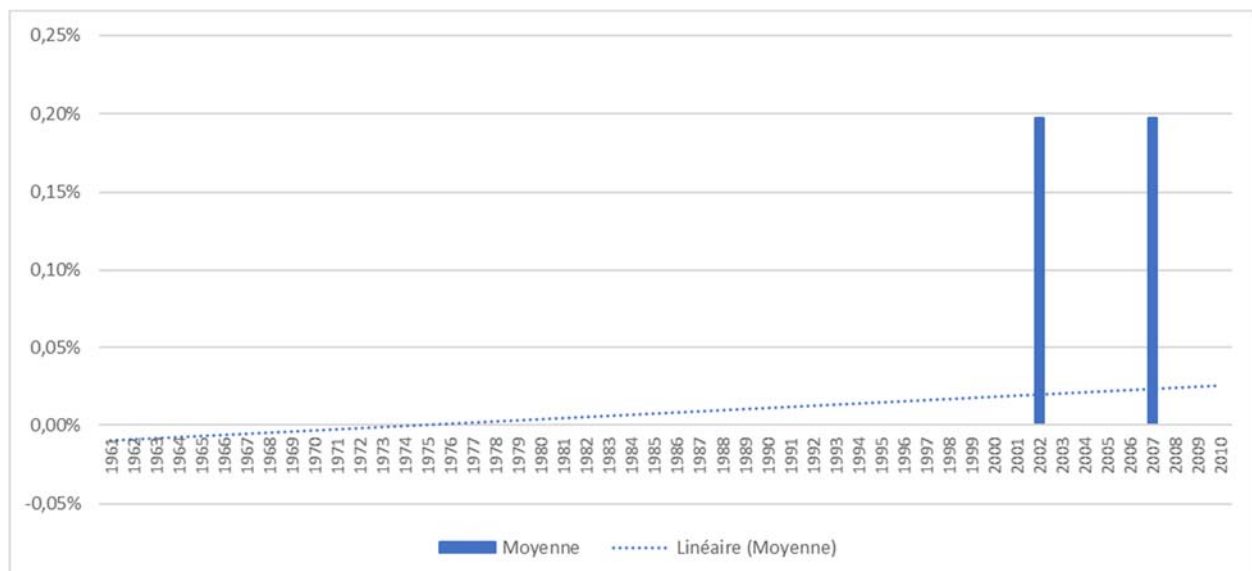
Les fréquences historiques de jours de fortes pluies prolongées entre 1961 et 2010

Pour la période 1961-2010, les données d'Ouranos indiquent que la fréquence historique moyenne pour ce paramètre climatique est de 0,01% durant la **saison été-automne**. Ce phénomène climatique se produit moins d'une fois aux 20 ans (probabilité de 1, improbable/très improbable). Les données historiques ne suggèrent **aucun changement significatif** pour ce paramètre climatique en raison de deux événements seulement depuis plus de 40 ans (Figure 34).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,01%	1	0 à 3	Non significatif

Depuis 1961, Ouranos n'a enregistré aucun épisode de fortes pluies prolongées au Nunavik durant l'hiver ou le printemps.

Figure 34. Pourcentage de jours de fortes pluies prolongées (été-automne) au Nunavik, 1961-2010

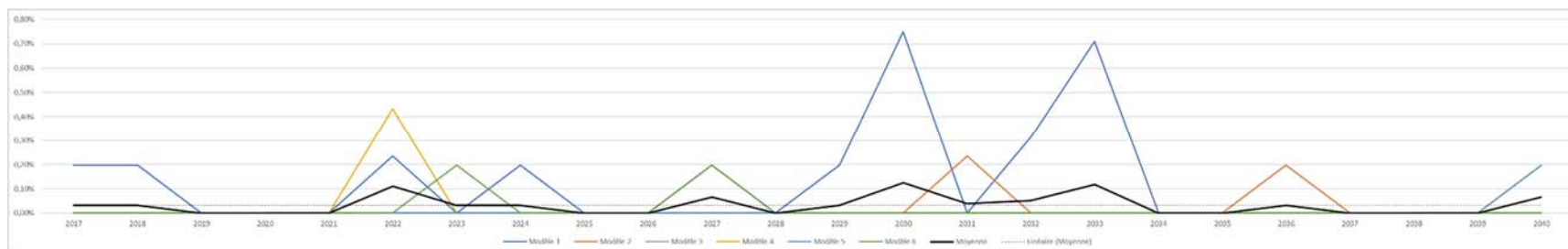


Source: Ouranos, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de fortes pluies prolongées entre 2017 et 2040

Les six modèles climatiques n'enregistrent aucune journée de fortes pluies prolongées durant la saison hiver-printemps pour la période 2017-2040. **Les journées de fortes pluies prolongées ne surviendraient que durant la saison été-automne au Nunavik.** Les simulations du climat futur indiquent que la fréquence associée aux épisodes de fortes pluies prolongées à l'été et à l'automne au Nunavik pourrait varier entre 0,00% à 0,12% (Figure 35). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 3 (occasionnel), soit **un événement se produisant entre une fois aux 10 ans et une fois par an.**

Figure 35. Pourcentage de jours de fortes pluies prolongées (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.3. Jours de précipitations très intenses

Le seuil de jours de précipitations très intenses

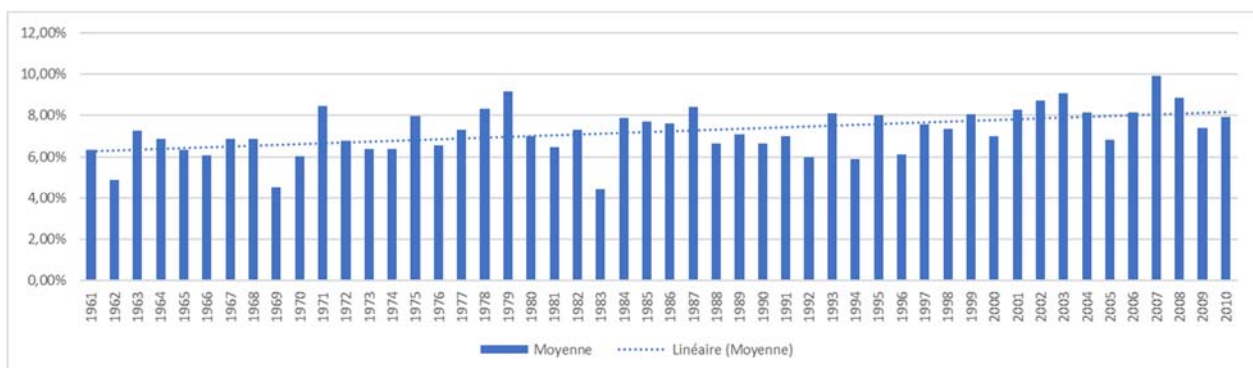
Les jours de précipitations très intenses sont définis comme **le nombre annuel de jours avec des précipitations plus intenses que le 95^e percentile de la distribution des précipitations des jours humides (plus de 1 mm) sur la période de référence.**

Les fréquences historiques de jours de précipitations très intenses entre 1961 et 2016

Selon les données produites par Ouranos, la fréquence moyenne des jours de précipitations très intenses est de 7,22% pendant la **saison été-automne** (indice de 5, très probable). Cet événement météorologique se produit entre une fois par mois et une fois aux trois jours. **Les données historiques pointent vers une légère augmentation** (Figure 36).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
7,22%	5	5	Augmentation

Figure 36. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (été-automne) au Nunavik, 1961-2010

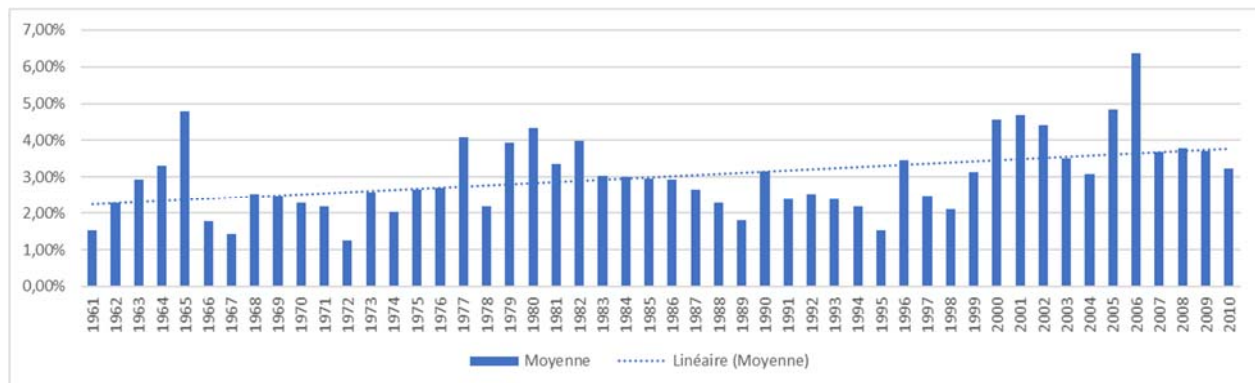


Source: Ouranos, 2017

Selon les données produites par Ouranos, la fréquence moyenne des jours de précipitations très intenses est de 3,01% pendant la **saison hiver-printemps** (indice de 4, probable). **C'est un événement météorologique se produisant entre une fois par an et une fois par mois. Les données historiques pointent vers une légère augmentation** (Figure 37).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
3,01%	4	4 à 5	Augmentation

Figure 37. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010

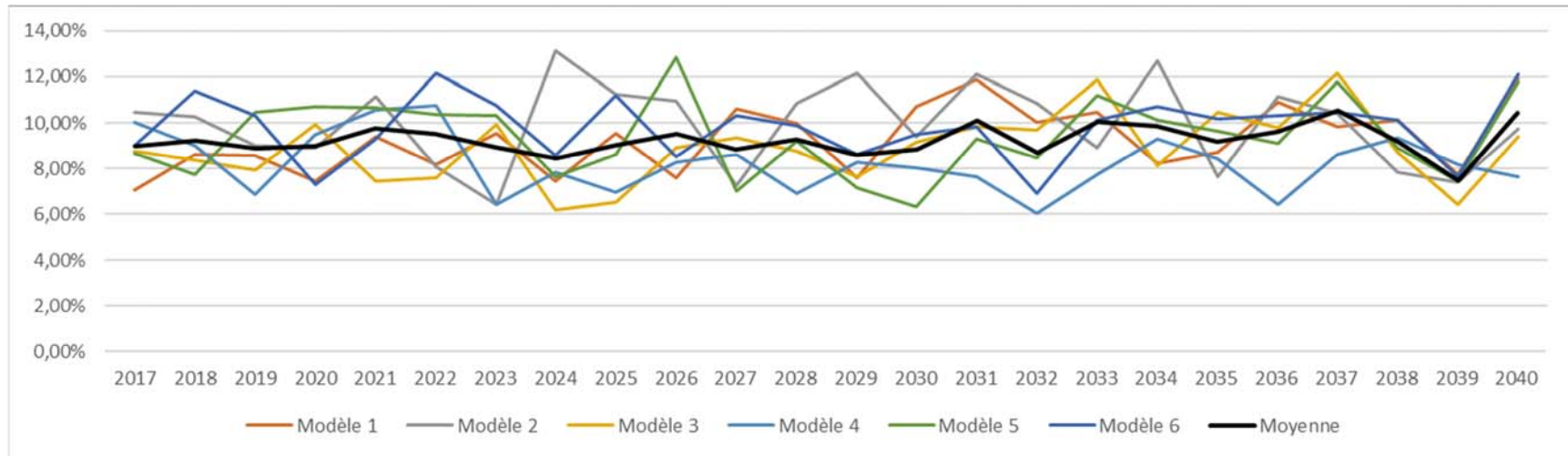


Source: Ouranos, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de précipitations très intenses entre 2017 et 2040

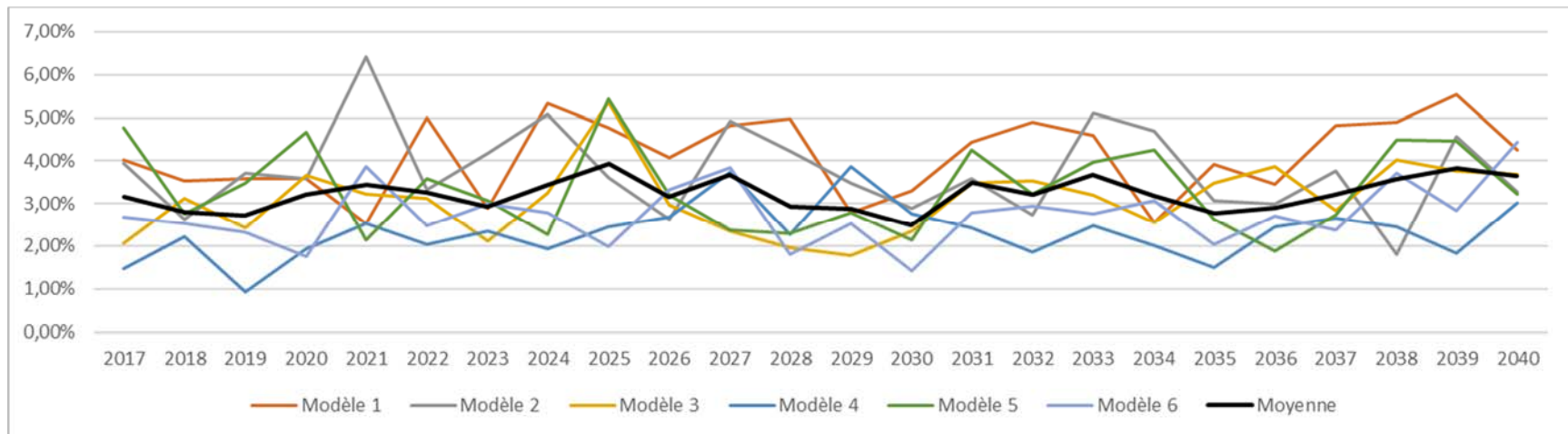
La simulation du climat futur en se basant sur six modèles climatiques indique que la fréquence moyenne associée à des jours de précipitations très intenses à l'horizon 2040 pourrait varier de 8,45% à 10,55% pour la **saison été-automne** au Nunavik (Figure 38). La probabilité d'occurrence associée à ce paramètre climatique est fixée à 5, un événement météorologique se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours. Durant la **saison hiver-printemps**, les épisodes de précipitations très intenses auraient une fréquence variant entre 2,48% et 3,93% (Figure 39). Ces valeurs indiquent que **pour la période 2017-2040, la probabilité d'occurrence associée à des épisodes de précipitations très intenses au Nunavik est fixée à 5.**

Figure 38. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 39. Pourcentage de jours de précipitations très intenses (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.4. Jours de précipitations extrêmes

Le seuil de jours de précipitations extrêmes

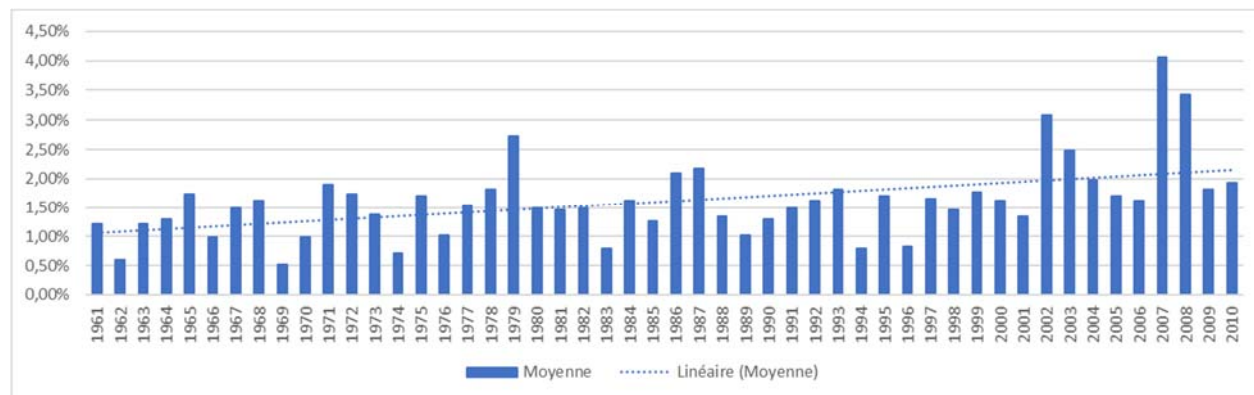
Les jours de précipitations extrêmes sont définis comme **le nombre annuel de jours avec des précipitations plus intenses que le 99^e percentile de la distribution des précipitations des jours humides (plus de 1 mm) sur la période de référence.**

Les fréquences historiques de jours de précipitations extrêmes entre 1961 et 2010

Selon les données produites par Ouranos, la fréquence moyenne des jours de précipitations extrêmes est de 1,61% pour la **saison été-automne** (probabilité de 4, probable). C'est un événement météorologique se produisant entre une fois par an et une fois par mois. **Les données historiques pointent vers une légère augmentation** (Figure 40).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
1,61%	4	3 à 4	Augmentation

Figure 40. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (été-automne) au Nunavik, 1961-2010

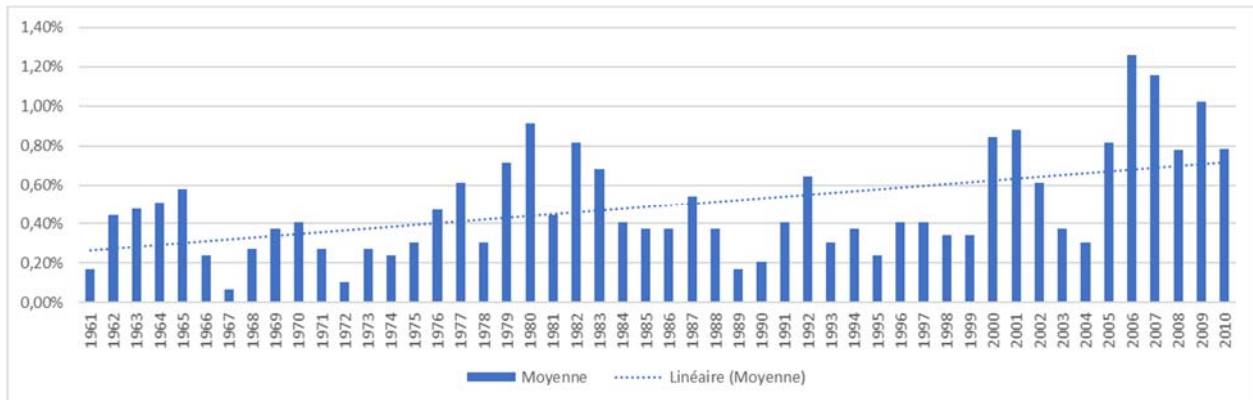


Source: Ouranos, 2017

Durant la **saison hiver-printemps**, la fréquence moyenne des jours de précipitations extrêmes est de 0,49% (probabilité de 3, occasionnelle). Cet événement météorologique se produit entre une fois aux 10 ans et une fois par année. **Les données historiques pointent vers une légère augmentation** (Figure 41).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,49%	3	3 à 4	Augmentation

Figure 41. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010



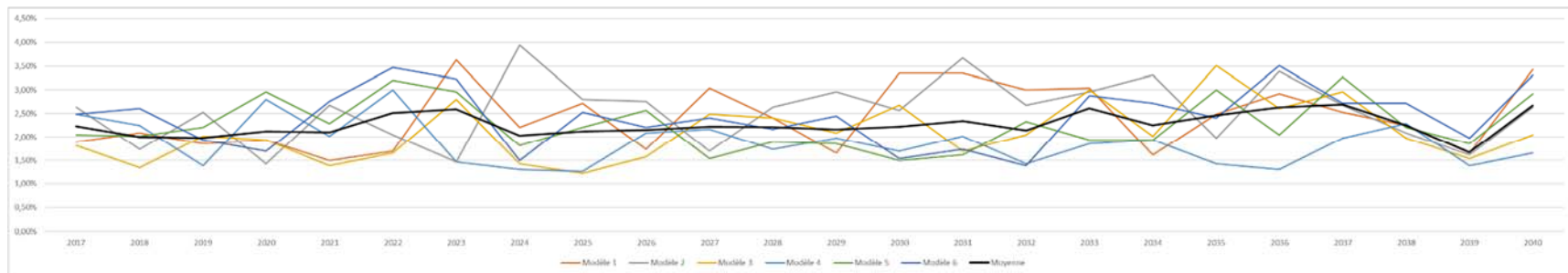
Source: Ouranos, 2017

Les analyses d'Ouranos sont confirmées par Allard et Lemay (2013). En utilisant les stations météorologiques de Inukjuag, Kuujuaq, Kuujuarapik et Schefferville, ils démontrent que les précipitations ont augmenté de 17% au Nunavik durant la période 1950-2001. Ces stations affichent également une augmentation de 23% des précipitations de neige (Allard et Lemay, 2013, p. 65).

Les probabilités des conditions futures de jours de précipitations extrêmes entre 2017 et 2040

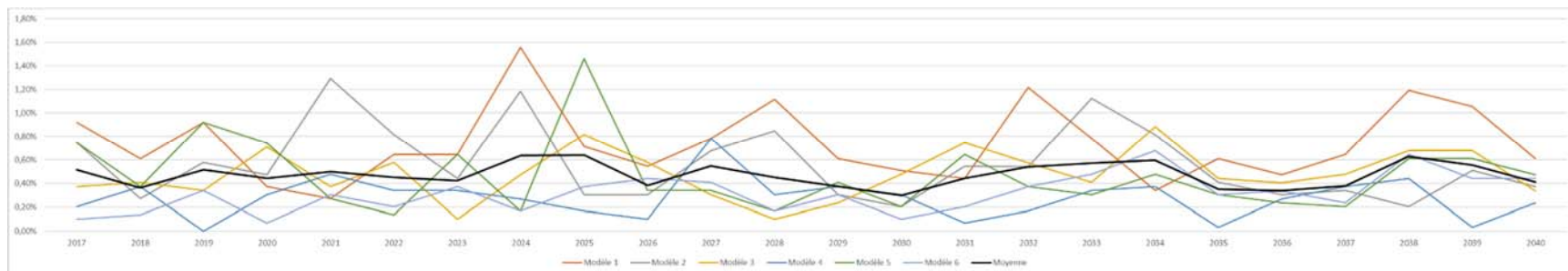
Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées qui afficheraient des précipitations extrêmes auraient une fréquence moyenne durant la **saison été-automne** variant de 1,67% à 2,69% à l'horizon 2040 (Figure 42). L'indice de probabilité associé aux conditions futures durant la saison été-automne est estimé à 4 (**probable**), soit un événement se produisant entre une fois par année et une fois par mois. Durant la **saison hiver-printemps** les précipitations extrêmes auraient une fréquence moyenne variant de 0,30% à 0,64% (probabilité de 3, **occasionnelle**) à l'horizon 2040 (Figure 43).

Figure 42. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 43. Pourcentage de jours de précipitations extrêmes (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.5. Jours de pluies d'hiver

Le seuil de jours de pluies d'hiver

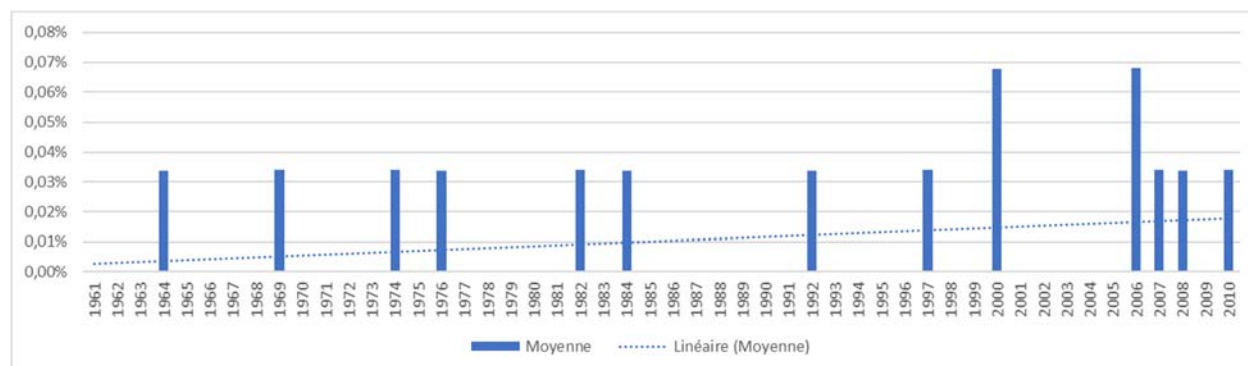
Le seuil de pluies hivernales est défini comme le **nombre de jours où 25 mm ou plus de pluie ont été enregistrés en hiver alors que la température est supérieure à 0°C.**

Les fréquences historiques de jours de pluies d'hiver entre 1961 et 2010

Pour la période 1961-2010, les données recueillies par Ouranos indiquent une fréquence historique de 0,01%. Ceci représente une probabilité de 1 (improbable/très improbable). **Les pluies hivernales se produisent moins d'une fois aux vingt ans au Nunavik.** Les tendances observées indiquent très peu de changements significatifs (Figure 44).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,01%	1	0 à 1	Non significatif

Figure 44. Pourcentage de jours de pluies d'hiver au Nunavik, 1961-2010

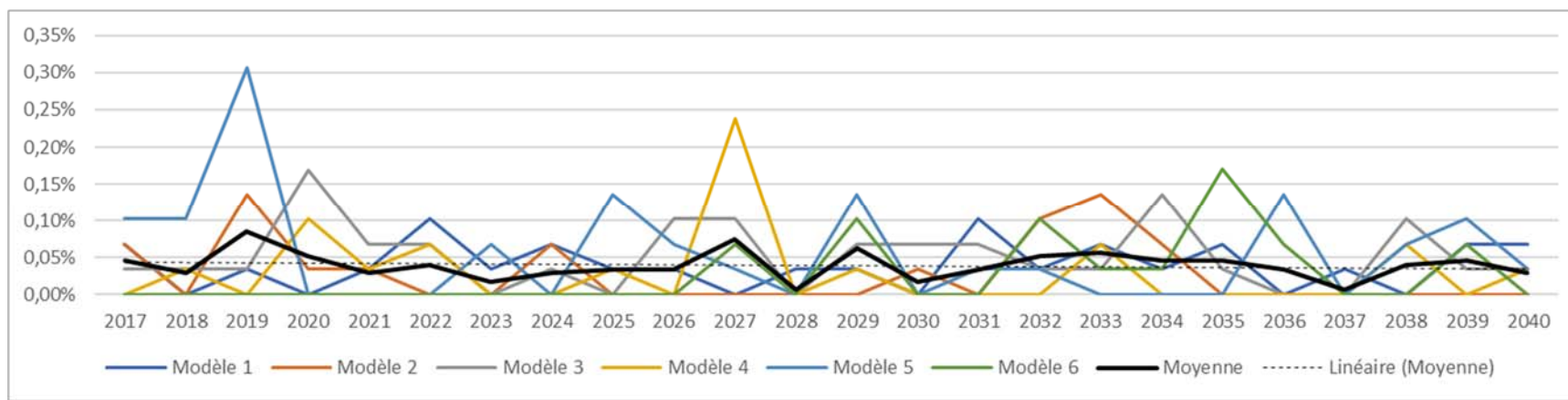


Source: Ouranos, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de pluies d'hiver entre 2017 et 2040

Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées qui afficheraient des pluies d'hiver auraient une fréquence moyenne variant de 0,01% à 0,09% à l'horizon 2040 (Figure 45). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 3 (occasionnelle), soit **un événement se produisant entre une fois aux vingt ans et une fois aux dix ans.**

Figure 45. Pourcentage de jours de pluies d'hiver au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.6. Jours de pluies verglaçantes

Le seuil des jours de pluies verglaçantes

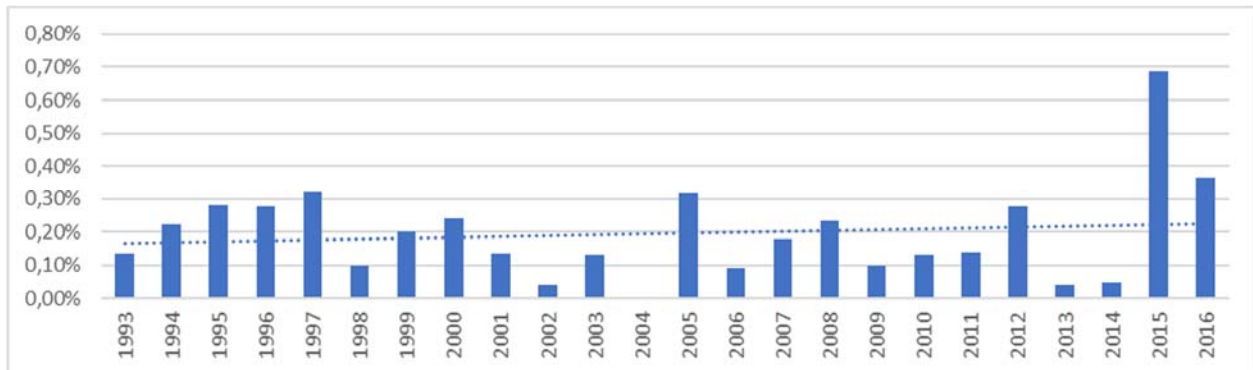
La pluie devient verglaçante lorsque les gouttelettes d'eau formées par une masse d'air doux et humide sont soulevées par une couche d'air froid en surface. La pluie, en gelant, forme une pellicule de glace transparente et cassante au contact du sol ou des objets. Faute de données observées et simulées de pluie verglaçante, un proxy basé sur la température et la précipitation fut utilisé pour estimer la fréquence de ces événements. Les épisodes de pluies verglaçantes sont donc définis comme le **nombre de jours où des précipitations de pluies ont été enregistrés et où la température maximum est inférieure à 0°C. Une tempête de verglas représente une période de plus de trois jours consécutifs où les pluies verglaçantes atteignent plus de 40 mm d'épaisseur de glace.**

Les fréquences historiques de jours de pluies verglaçantes entre 1993 et 2016

Environnement Canada n'a enregistré que très peu de pluies verglaçantes au Nunavik sur un horizon de plusieurs décennies que ce soit en été, automne, hiver ou printemps. D'ailleurs les données confirment l'absence de tempêtes de verglas au Nunavik. Pour la période 1993-2016, les données indiquent une fréquence historique de 0,22% durant la saison estivale-automne et une fréquence historique de 0,29% pour la saison hiver-printemps. Ceci représente une probabilité de 3 (occasionnelle). **La pluie verglaçante se produit entre une fois aux dix ans et une fois par année au Nunavik.** Les tendances observées indiquent très peu de changements significatifs pour la saison été-automne (Figure 46) et une légère augmentation durant la saison hiver-printemps (Figure 47).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,22%	3	1 à 3	Stable

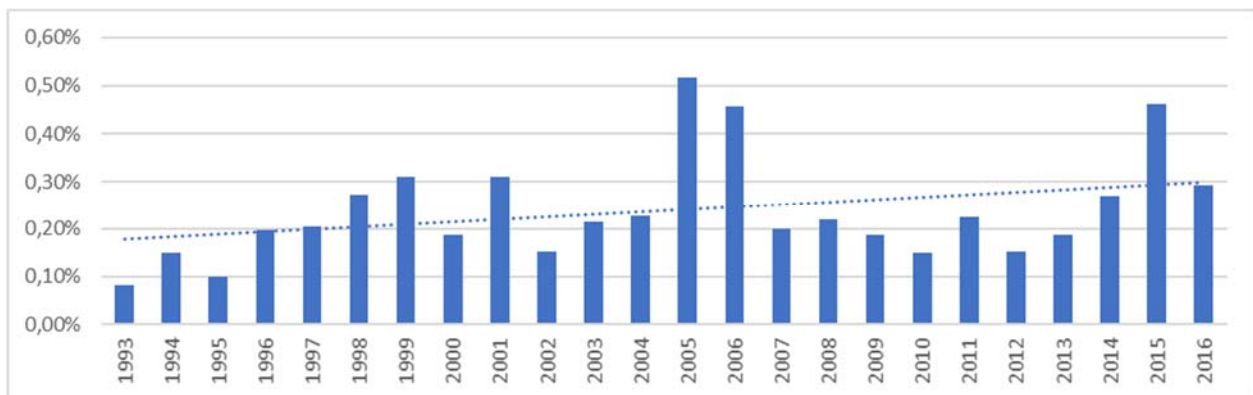
Figure 46. Pourcentage de jours de pluies verglaçantes (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,29%	3	0 à 3	Augmentation

Figure 47. Pourcentage de jours de pluies verglaçantes (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de pluies verglaçantes entre 2017 et 2040

Bien que plusieurs études présentent les changements projetés sur le plan de la température et des précipitations au Nunavik, les modèles climatiques ne sont pas en mesure d'y simuler les pluies verglaçantes. Le facteur verglas n'est pas intégré dans les exercices de projections et conséquemment les tendances futures demeurent méconnues. L'expérience des transporteurs maritimes Fednav et NEAS révèle qu'il y a peu de conditions climatiques propices pour créer des pluies verglaçantes en milieu arctique.

2.7. Jours de fortes neiges

Le seuil des jours de fortes neiges

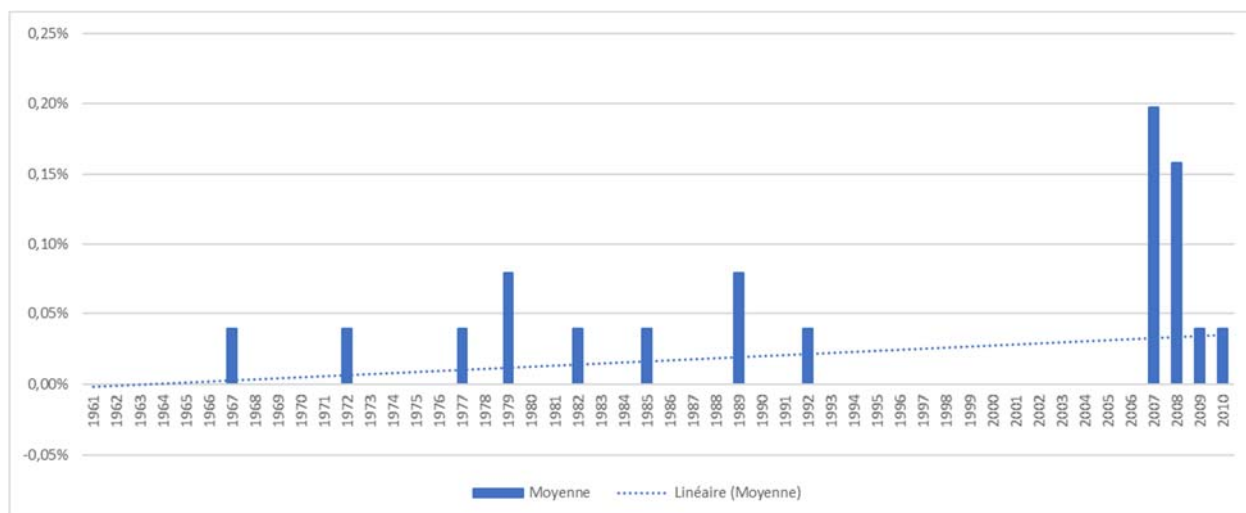
La neige, principale précipitation solide, demande, en principe, pour arriver au sol, des températures négatives. Les précipitations de neige les plus abondantes sont liées à des températures au sol de quelques degrés seulement au-dessous de zéro. Les régions les plus froides du globe ne sont pas les plus neigeuses. Les très hautes latitudes, avec leur sécheresse et leur grand froid ne sont pas caractérisées par la hauteur de la neige tombée. Le seuil retenu est **le nombre de jours avec des précipitations de neige égales ou supérieures à 25 cm. Il s'agit du seuil critique d'avertissement de tempête de neige.**

Les fréquences historiques de jours de fortes neiges entre 1961 et 2010

Pour la période 1961-2010, Environnement Canada a enregistré une fréquence de 0,02% jours où les précipitations de neige étaient égales ou supérieures à 25 cm durant la **saison été-automne**. Ce constat correspond à une probabilité d'occurrence de 1 (improbable/très improbable), soit **moins d'une fois aux 20 ans**. La Figure 48 indique très peu de changement significatif sur les jours de fortes neiges au Nunavik durant la saison estivale-automnale en fonction des tendances observées au cours des six dernières décennies.

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,02%	1	0 à 2	Non significatif

Figure 48. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm été-automne) au Nunavik, 1961-2010

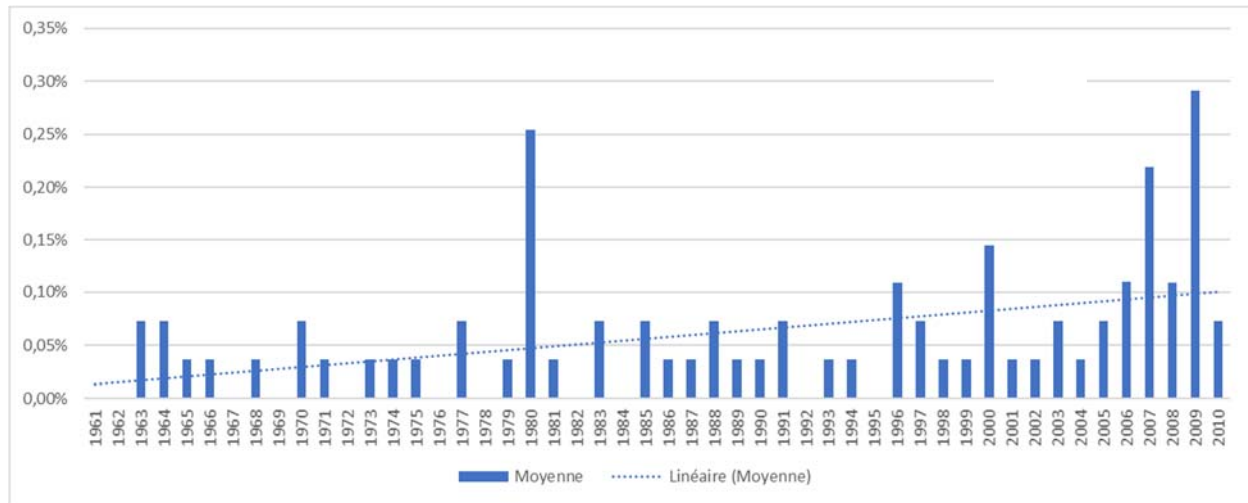


Source: Ouranos, 2017

Pour la **saison hiver-printemps**, le nombre d'occurrence est fixé à 3 (occasionnelle). Les jours qui affichent des précipitations de neige égale ou supérieure à 25 cm par jour est un **événement météorologique se produisant entre une fois aux 20 ans et une fois aux dix ans durant la période hiver-printemps au Nunavik** (fréquence historique moyenne de 0,06%). Les tendances historiques indiquent une légère augmentation en fonction des données accumulées pour la période 1961-2010 (Figure 49).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
0,06%	3	1 à 3	Légère augmentation

Figure 49. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010



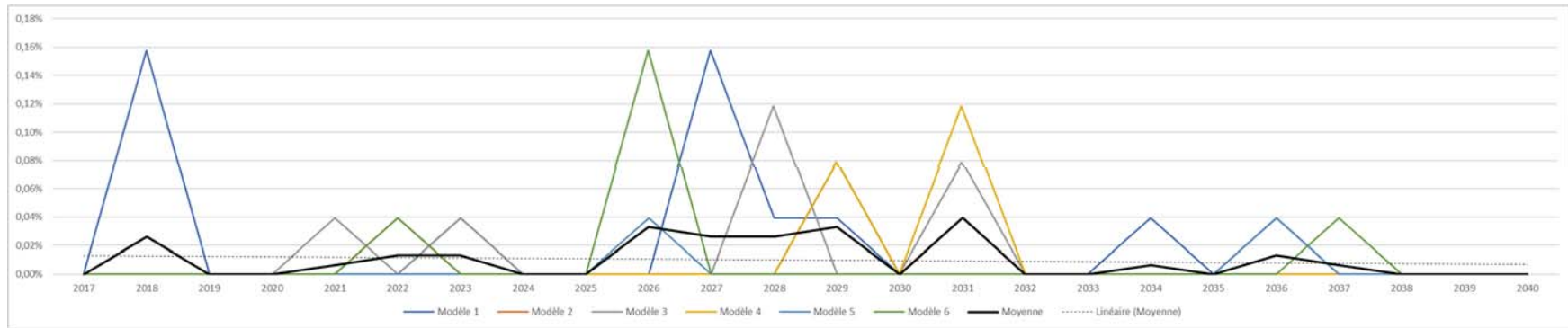
Source: Ouranos, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de fortes neiges entre 2017 et 2040

Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées qui afficheraient des précipitations de neiges égales ou supérieures à 25 cm durant la **saison été-automne** auraient une fréquence moyenne variant de 0,00% à 0,04% à l'horizon 2040 (Figure 50). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 2 (faible), soit **un événement se produisant entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans**.

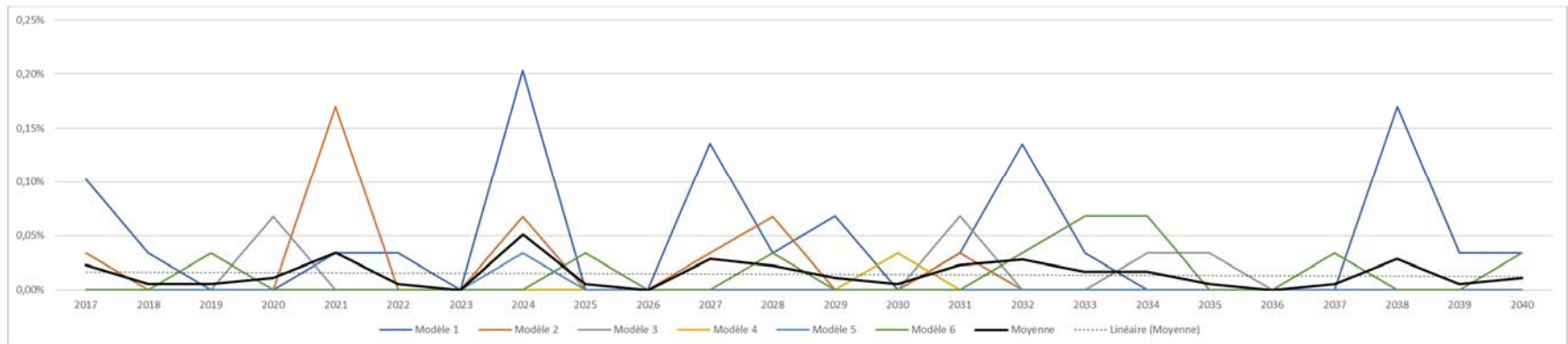
La simulation du climat futur en fonction de six modèles climatiques suggère que les journées avec des précipitations de neiges égales ou supérieures à 25 cm pour la **saison hiver-printemps** auraient une fréquence moyenne variant de 0,00% à 0,05% à l'horizon 2040 (Figure 51). **L'indice de probabilité associé aux conditions futures est fixé à 2 (faible)**.

Figure 50. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 51. Pourcentage de jours de fortes neiges (plus de 25 cm hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

2.8. Accumulation de neige au sol

Le seuil d'accumulation de neige au sol

Le seuil de 90 cm est retenu pour définir un point critique. Au Nunavik, c'est un phénomène climatique qui survient en hiver et au printemps.

Les fréquences historiques de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm entre 1955 et 2015

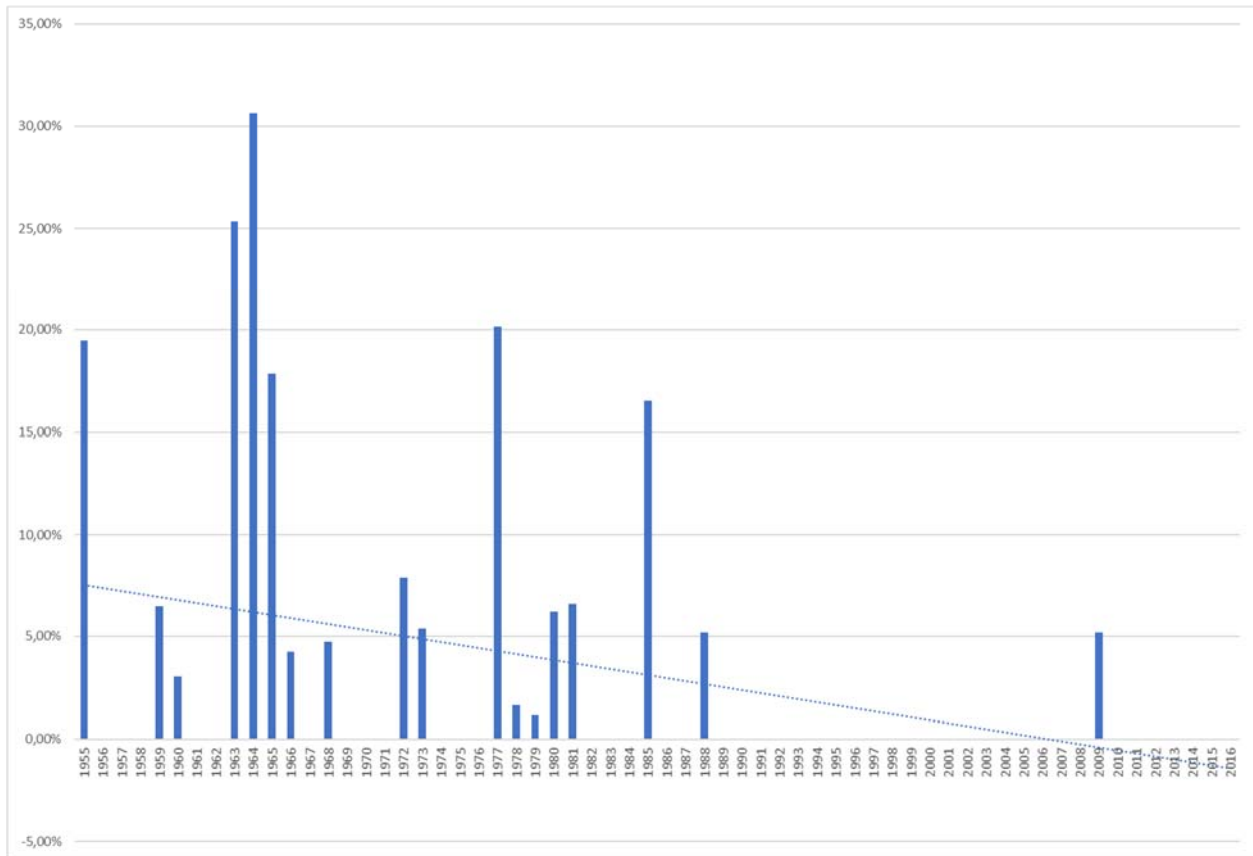
Environnement Canada indique une fréquence historique moyenne d'accumulation de neige égale ou supérieure à 90 cm de 4,49% durant la saison hiver-printemps sur un horizon de six décennies (1955-2015). Cette couverture de neige représente une probabilité de 5 (très probable, se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours). **Les tendances observées indiquent une diminution de l'accumulation de neige au sol** (Figure 52).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1955-2015)
4,49%	5	5	Diminution

Les probabilités des conditions futures de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm entre 2017 et 2040

Le nombre de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm n'affecte que les opérations de transport maritime que durant la **saison hiver-printemps**. Le calcul des tendances eu égard à la couverture de neige au Nunavik demeure spéculatif en raison de la complexité des relations entre plusieurs paramètres climatiques et environnementaux incluant précipitations, température au sol, couvert nuageux, vitesse du vent, ensoleillement, etc. **Il n'existe pas présentement de scénarios futurs offrant des estimations du niveau d'accumulation de neige au Nunavik sur un horizon de 25 ans.**

Figure 52. Pourcentage de jours avec une accumulation de neige au sol de plus de 90 cm (hiver-printemps) au Nunavik, 1955-2015



Source: Environnement Canada, 2017

3. BROUILLARD ET VENT

3.1. Brouillard léger

Le seuil de brouillard léger

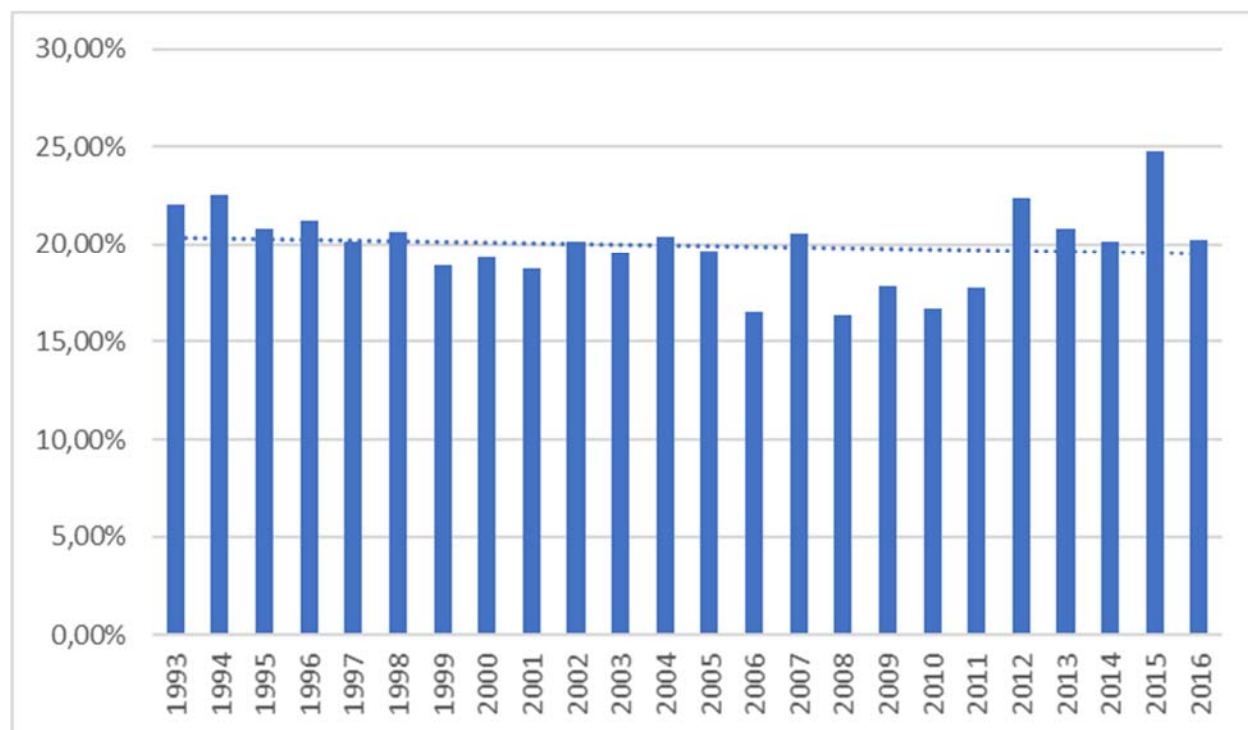
Le brouillard est un phénomène naturel produit par des gouttelettes d'eau ou des cristaux en suspension dans l'air près de la surface terrestre qui réduit la visibilité en mer. La formation de cette brume augmente lorsque l'air froid est en suspension au-dessus des eaux sans glace. Aux fins de l'étude **la présence de brouillard léger est associée à une visibilité maximale en mer de 2 kilomètres**. Le seuil a été établi en fonction des limites utilisées par le transporteur Pétro-Nav pour sa desserte du Nunavik. Le seuil de 4 (2 km) sur l'échelle du *Meteorological Optical Range* (MOR) a été retenu, car il représente le niveau de visibilité à partir duquel il est dangereux pour les navires d'effectuer leurs manœuvres d'approche.

Les fréquences historiques de jours de brouillard léger entre 1993 et 2016

Une analyse de données météorologiques d'Environnement Canada pour la période 1993-2016 indique une fréquence historique moyenne de 20,06% durant la **saison été-automne**. Ce constat correspond à une probabilité d'occurrence de 5 (**très probable**), soit entre une fois par mois et une fois aux trois jours. **Les tendances observées sur plus de 20 ans suggèrent très peu de changements significatifs** (Figure 53).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
20,06%	5	5 à 6	Stable

Figure 53. Pourcentage de jours de brouillard léger (été-automne) au Nunavik, 1993-2016

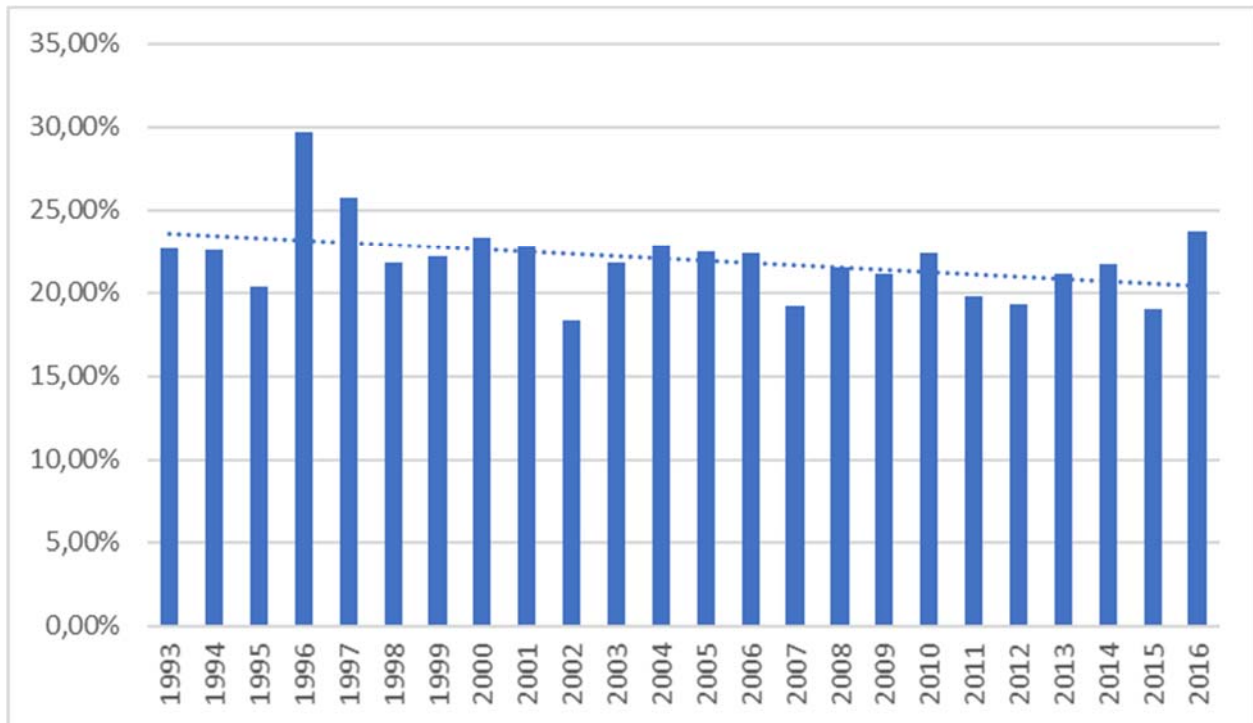


Source: Environnement Canada, 2017

Pour la **saison hiver-printemps**, le nombre d'occurrences est également fixé à 6 (très probable) (fréquence historique moyenne de 21,12%). **Les tendances historiques indiquent une légère diminution en fonction des données accumulées pour la période 1993-2016** (Figure 54).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
21,12%	5	5 à 6	Diminution

Figure 54. Pourcentage de jours de brouillard léger (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

3.2. Brouillard dense

Le seuil de brouillard dense

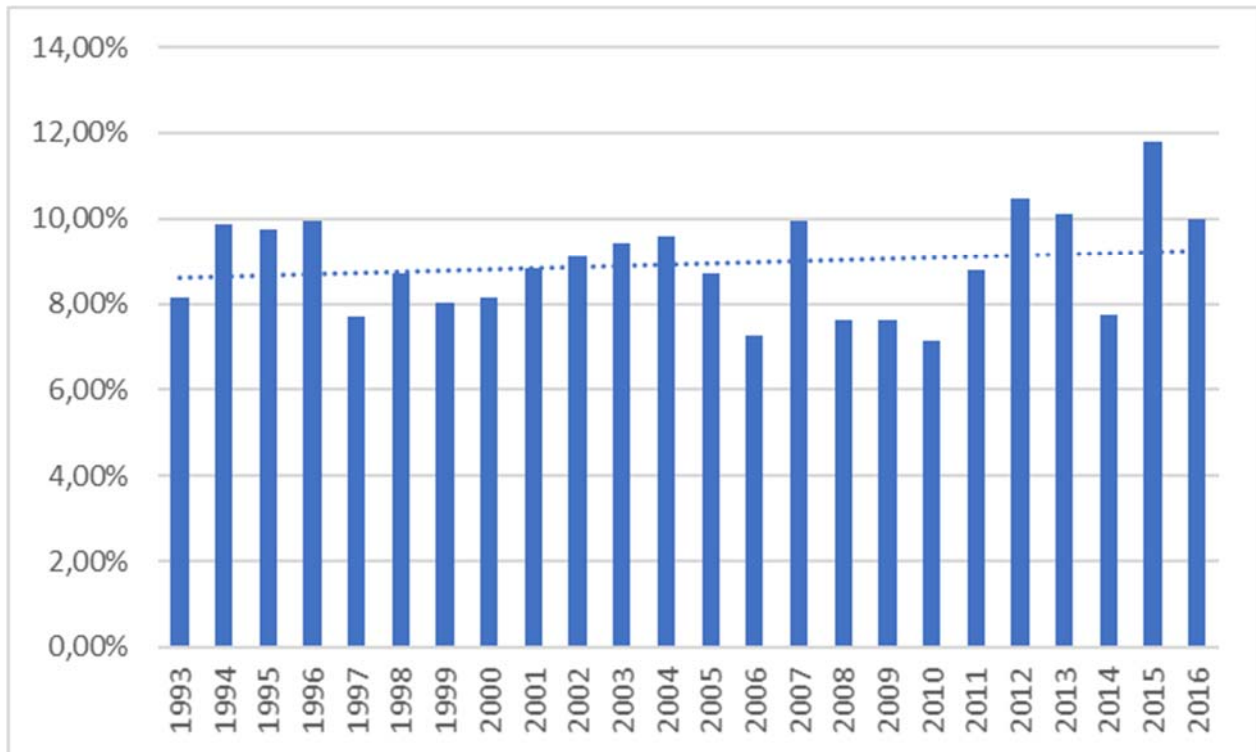
Aux fins de l'étude la présence de brouillard dense est associée à **une visibilité maximale en mer de 550 mètres**. Le seuil a été établi en fonction des limites utilisées par le transporteur Pétro-Nav pour sa desserte du Nunavik. Le seuil de 2 (550 m) sur l'échelle du *Meteorological Optical Range* (MOR) a été retenu, car il représente le niveau de visibilité à partir duquel il est dangereux d'effectuer des activités de déchargement.

Les fréquences historiques de jours de brouillard dense entre 1993 et 2016

Une analyse de données météorologiques d'Environnement Canada pour la période 1993-2016 indique une fréquence historique moyenne de 8,84% durant la **saison été-automne** et de 7,59% pour la **saison hiver-printemps**. Ce constat correspond à une probabilité d'occurrence de 5 (très probable), soit entre **une fois par mois et une fois aux trois jours**. Les tendances observées durant la période 1993-2016 suggèrent une **certaine stabilité du nombre de jours de brouillard dense durant la saison été-automne** (Figure 55) et **une légère diminution durant la saison hiver-printemps** (Figure 56).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
8,84%	5	4 à 5	Stable

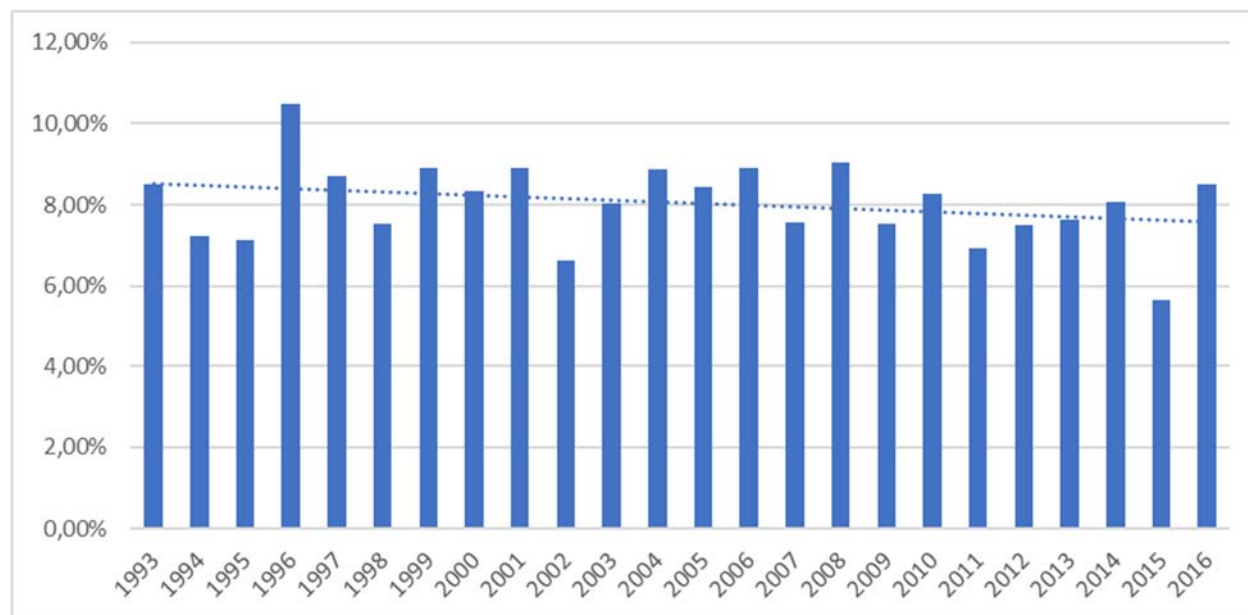
Figure 55. Pourcentage de jours de brouillard dense (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
7,59%	5	5	Légère diminution

Figure 56. Pourcentage de jours de brouillard dense (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de brouillard entre 2017 et 2040

Le document de l'AMAP (2011) mentionne que la formation de brouillard augmente lorsque l'air froid est en suspension au-dessus des eaux sans glace. Mais la fonte irrégulière des glaces ne permet pas d'évaluer les conditions qui président à la formation future du brouillard au Nunavik. L'établissement de projections sur le brouillard dans un climat du futur au Nunavik représente un exercice qui n'a pas encore été réalisé.

3.3. Jours de vent

Le seuil des jours de vent

Le vent naît sous l'effet des différences de températures et de pression. Une variation de température peut donc être associée à une variation de la force et de la direction des vents. L'hétérogénéité des données annuelles démontre que les vents ne soufflent pas toujours avec la même intensité ou dans la même direction pour un moment donné de l'année. Les vents affichent des changements de direction, de fréquence, de force qui les rendent imprévisibles. Dans le cadre de l'étude, les jours de vent correspondent à **des vents qui soufflent à ≥ 29 kilomètres à l'heure**, correspondant à une force égale ou supérieure à 5 sur l'échelle de Beaufort. L'échelle de Beaufort est une échelle de mesure comportant 13 degrés de l'état de la mer en fonction de la force du vent.

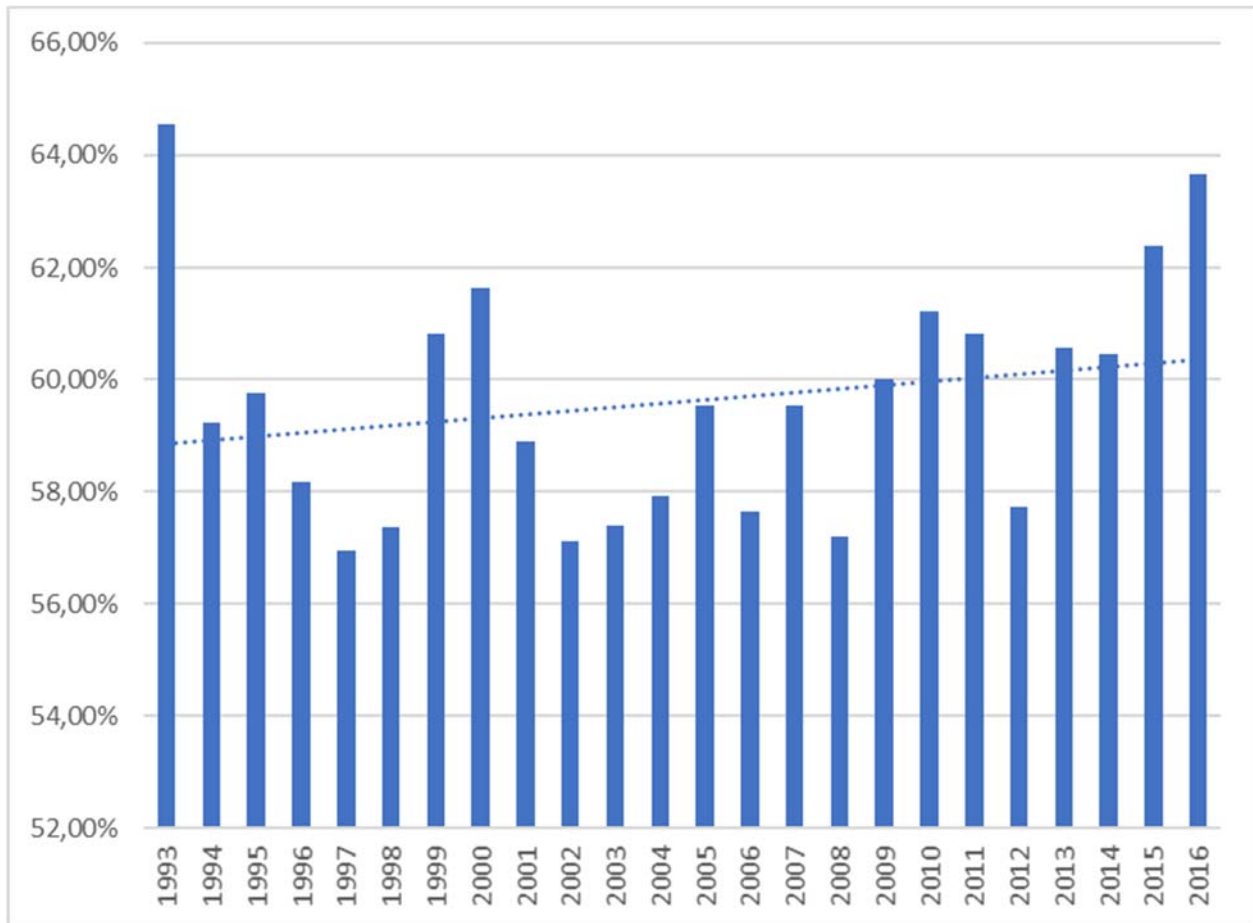
Les fréquences historiques de jours de vent ≥ 29 km/h entre 1993 et 2016

Les journées qui affichent des vents ≥ 29 km/h au Nunavik ont une fréquence historique moyenne de 59,33% durant la **saison estivale-automnale** et de 56,09% durant la **saison hiver-printemps**. Ce seuil représente une probabilité de 7 (certaine). C'est un **événement se produisant entre une fois aux deux jours et chaque jour**. Les tendances observées depuis 1993 pointent vers une légère augmentation du nombre de jours où les vents soufflent à des vitesses ≥ 29 km/h durant la saison été-automne (Figure 57) et une certaine stabilité durant la saison hiver-printemps (Figure 58).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
59,33%	7	7	Augmentation)

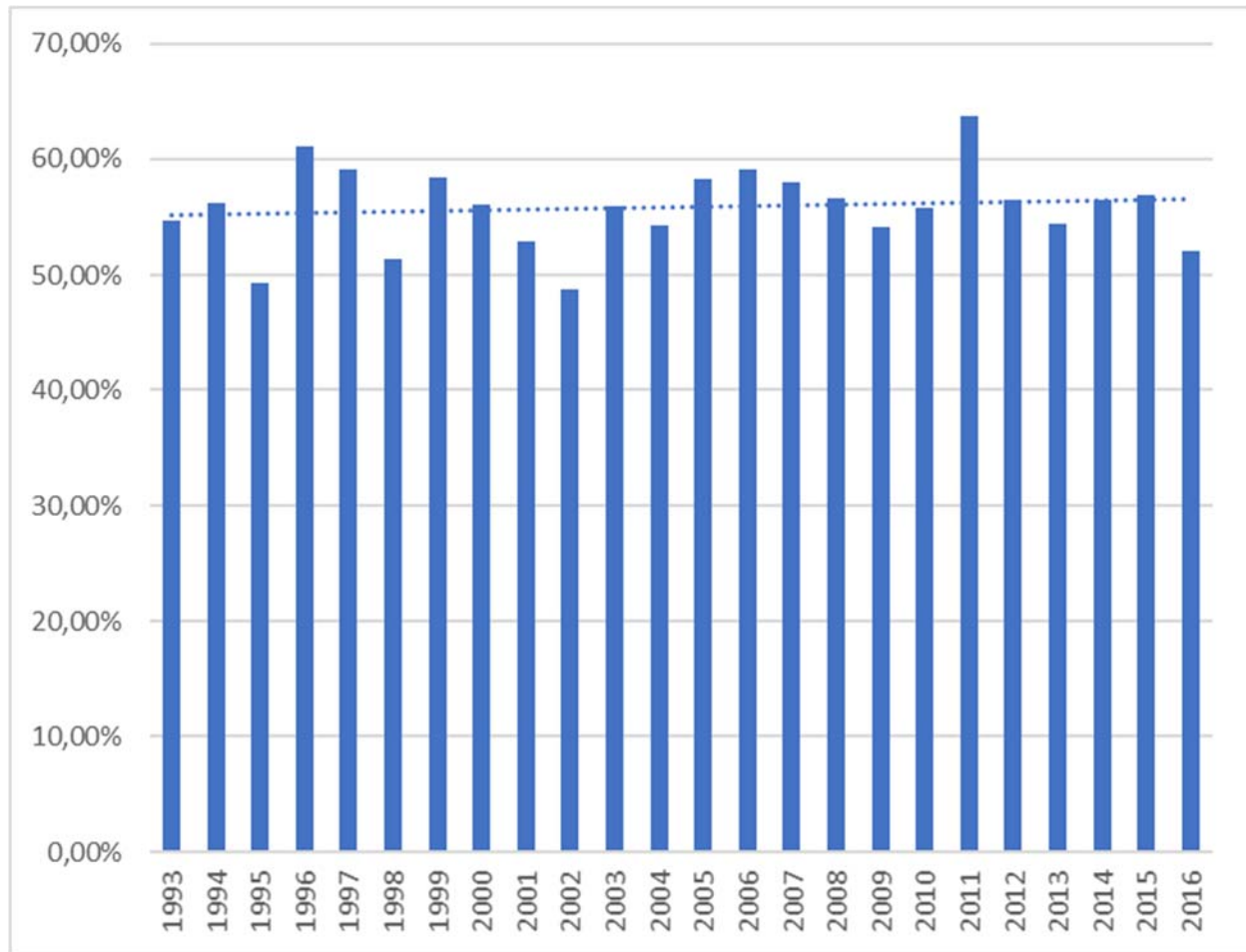
Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
56,09%	7	7	Stable

Figure 57. Pourcentage de jours de vent ≥ 29 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Figure 58. Pourcentage de jours de vent ≥ 29 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

3.4. Jours de grands vents

Le seuil des jours de grands vents

Les jours de grands vents sont associés à des vents qui soufflent à ≥ 39 kilomètres à l'heure (égal ou supérieur à 6 sur l'échelle de Beaufort).

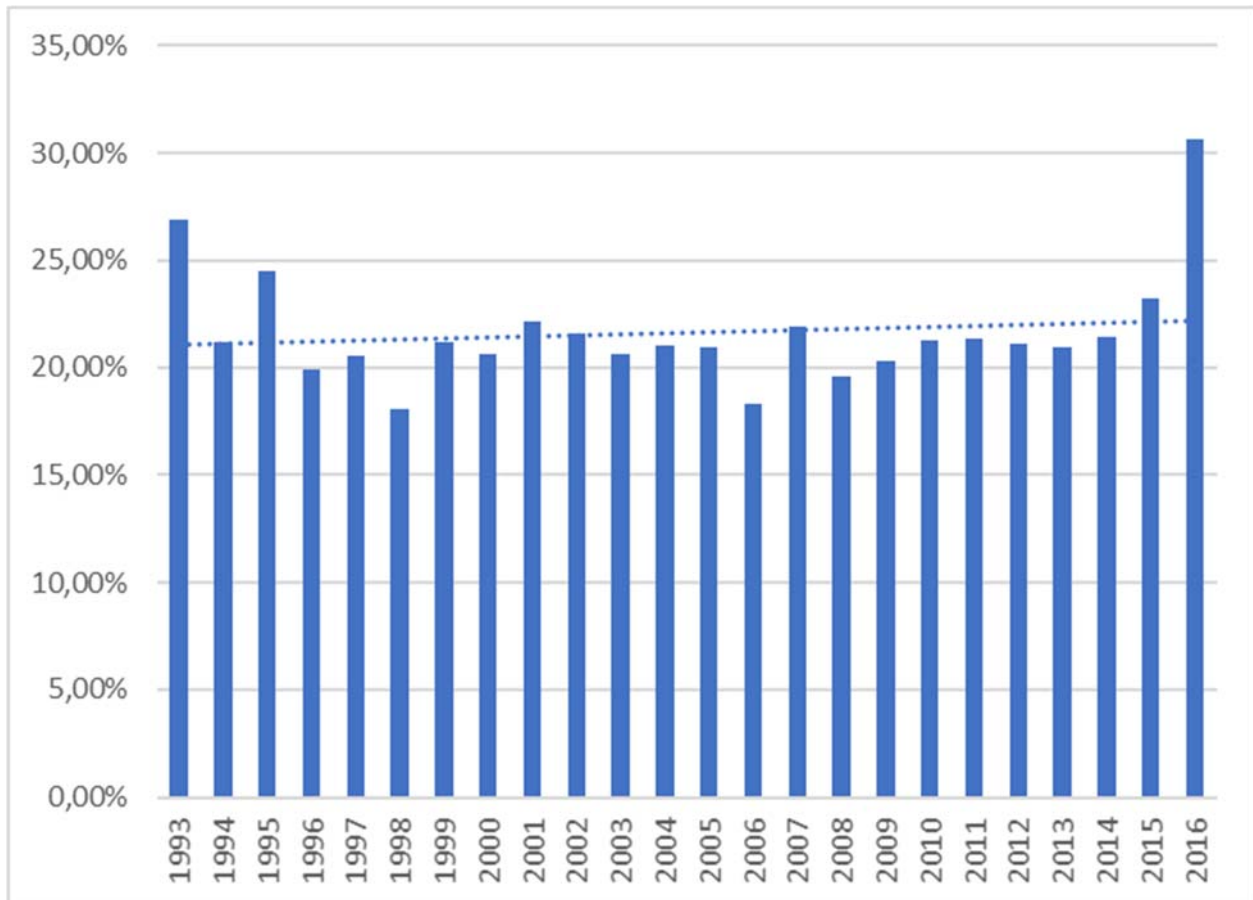
Les fréquences historiques de jours de grands vents ≥ 39 km/h entre 1993 et 2016

Environnement Canada a enregistré une fréquence historique moyenne de 21,60% durant **l'été et l'automne** au Nunavik. Ce seuil représente une probabilité de 5 (très probable, **entre une fois par mois et une fois aux trois jours**). La fréquence historique moyenne durant la **saison hiver-printemps** est estimée à 21,21%, ce qui correspond à une probabilité de 6 (habituelle, soit **un événement se produisant entre une fois aux trois jours et une fois aux deux jours**). Les Figures 59 et 60 suggèrent peu de changements significatifs en fonction des tendances observées depuis 1993.

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
21,60%	5	5 à 6	Stable

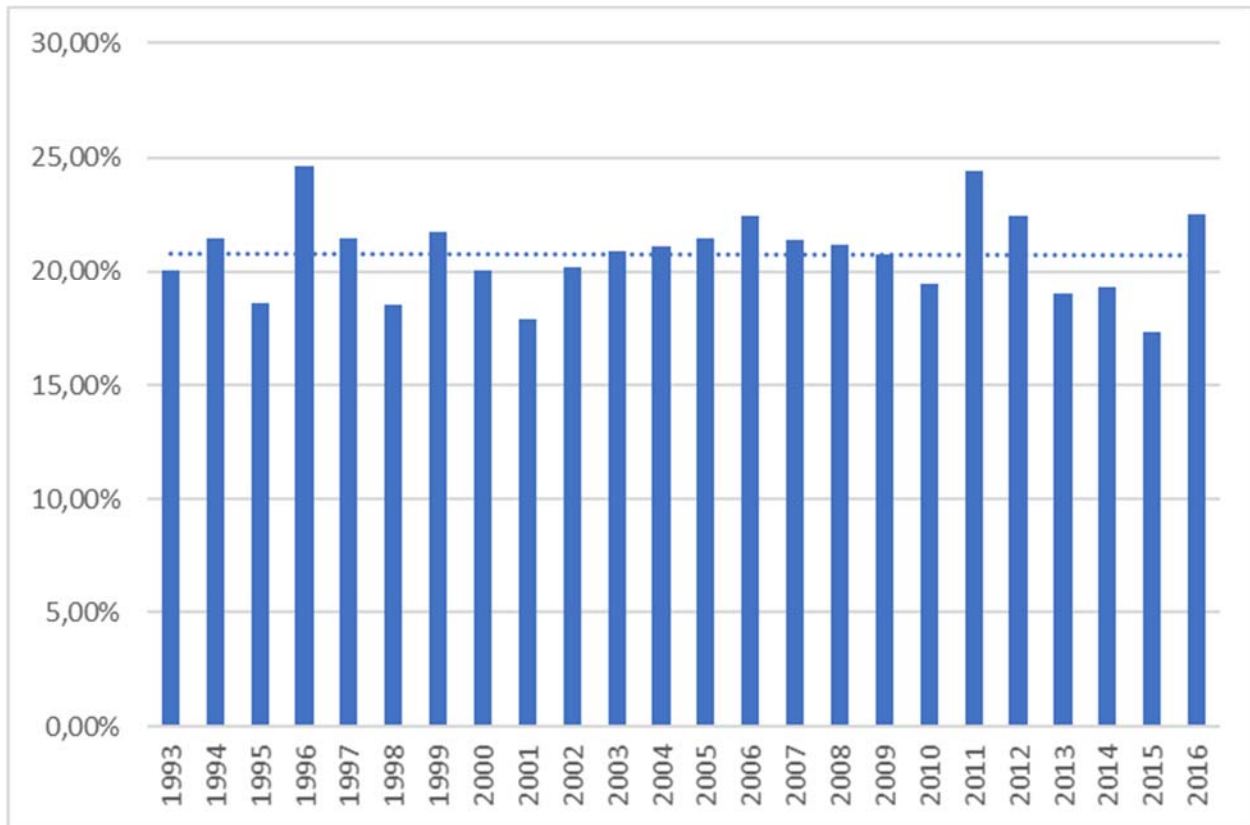
Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
21,21%	5	5 à 6	Stable

Figure 59. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 39 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Figure 60. Pourcentage de jours de grands vents ≥ 39 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

3.5. Jours de très grands vents

Le seuil des jours de très grands vents

Les jours de très grands vents correspondent à des vents qui soufflent ≥ 62 kilomètres à l'heure (égal ou supérieur à 8 sur l'échelle de Beaufort).

Les fréquences historiques de jours de très grands vents ≥ 62 km/h entre 1993 et 2016

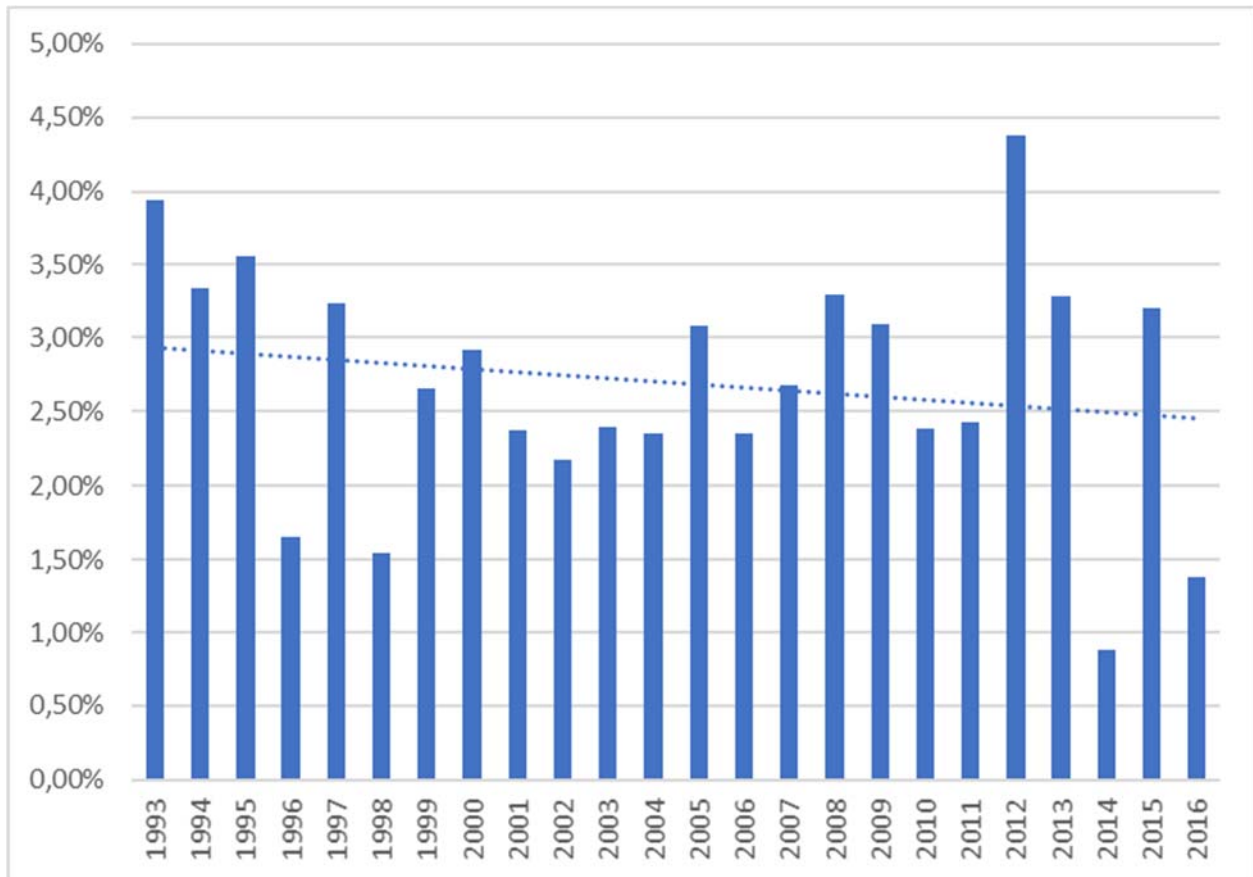
Les journées qui affichent de très grands vents atteignant ≥ 62 km/h ont une fréquence historique moyenne de 2,96% durant la **saison estivale-automnale** au Nunavik. Les tendances observées indiquent que la probabilité d'occurrence est fixée à 4 (probable, entre une fois par an et une fois par mois). Par ailleurs, **les tendances observées depuis 1993 pointent vers une légère diminution du nombre de jours de très grands vents durant la période estivale-automnale au Nunavik** (Figure 61).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
2,96%	4	4 à 5	Faible diminution

Environnement Canada a enregistré une fréquence historique moyenne de 3,60% durant la **saison hiver-printemps**. Ce seuil représente une probabilité de 5 (très probable, entre une fois par mois et une fois aux trois jours). La Figure 62 suggère **peu de changements significatifs en fonction des tendances observées depuis 1993**.

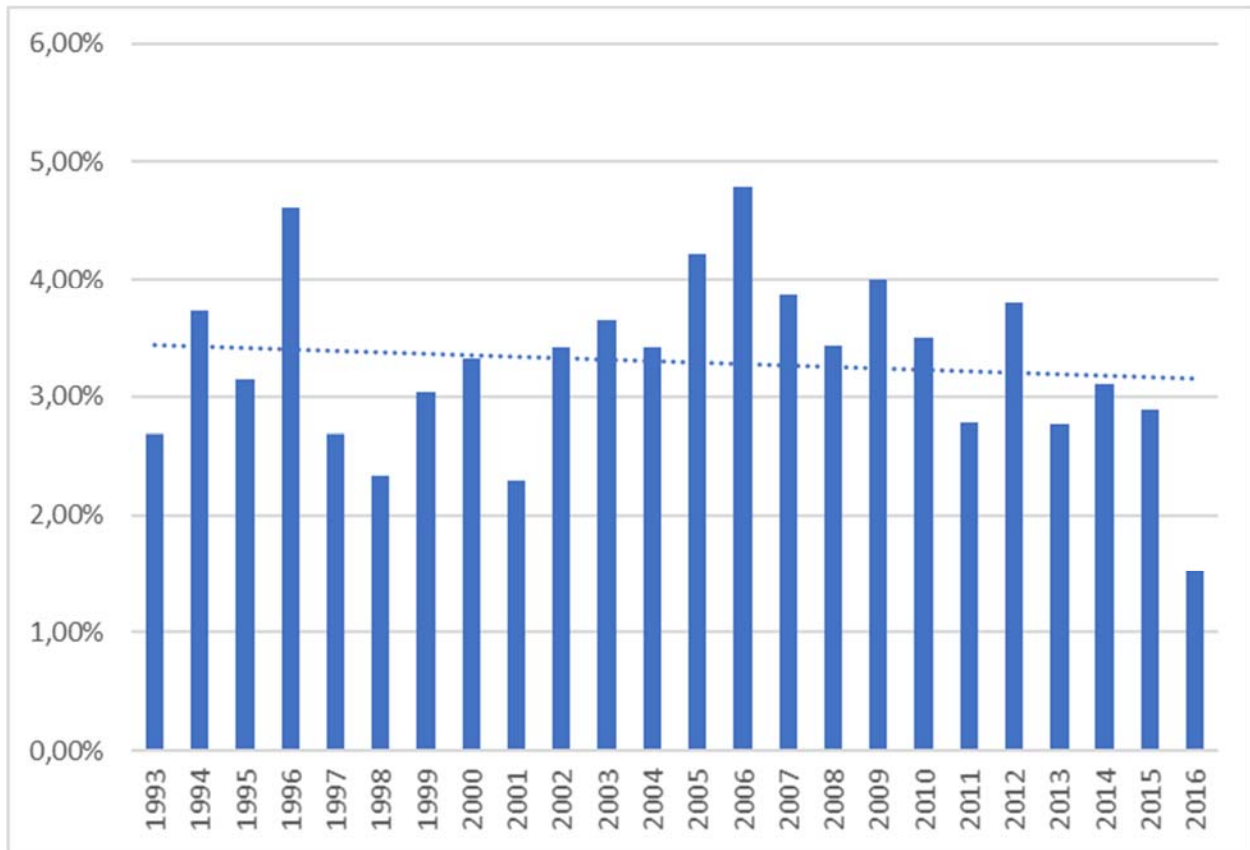
Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
3,60%	5	4 à 5	Stable

Figure 61. Pourcentage de jours de très grands vents ≥ 62 km/h (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Figure 62. Pourcentage de jours de très grands vents ≥ 62 km/h (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Une analyse des fréquences d'occurrence les plus élevés pour différents types de vent au Nunavik révèle trois grandes caractéristiques des conditions météorologiques entre 1993 et 2016.

Premièrement, les données suggèrent d'importantes variations entre les saisons et entre les villages nordiques au Nunavik concernant la force des vents (Tableau 80). Ceci est d'ailleurs confirmé par Wan et al (2010, cité par Ouranos, 2015) sur les tendances moyennes des vents observés durant la période 1953-2006 aux stations météorologiques de Kuujuaq dans la baie d'Ungava et de Kuujuarapik dans la baie d'Hudson. Clerc et al (2011) ont d'ailleurs constaté des changements dans les patrons des vents, soit des vents plus forts mais moins constants dans les villages nordiques du Nunavik.

Deuxièmement, les vents affectent davantage les activités de transport maritime (navigation et opérations) durant la saison hiver-printemps que durant l'été ou l'automne. Ouranos a d'ailleurs identifié des différenciations saisonnières: tendance à une légère augmentation de la vitesse du vent en hiver et diminution de la vitesse du vent au printemps, en été et à l'automne (Ouranos, 2015).

Troisièmement, une augmentation de la vitesse des vents (≥ 62 km/h) est corrélée à un large éventail de conditions climatiques incluant la marée, les courants et la glace. Savard et al (2014) soutiennent que l'augmentation de la force des vents a pour effet d'augmenter l'intensité des vagues.

Tableau 80. Villages du Nunavik aux fréquences les plus élevées d'occurrence des vents, 1993-2016

Vitesse des vents	Saison	Villages nordiques et fréquences d'occurrence				
Vent (≥ 29 km/h)	Été-Automne	Puvirnituq (66,34%)	Akulivik (66,27%)	Inukjuak (65,60%)	Umiujaq (63,99%)	Kangiqsujaq (61,20%)
	Hiver-Printemps	Tasiujaq (69,59%)	Kangirsuk (64,93%)	Umiujaq (63,55%)	Akulivik (60,50%)	Inukjuak (59,59%)
Grand vent (≥ 39 km/h)	Été-Automne	Inukjuak (30,12%)	Quaqtaq (28,92%)	Puvirnituq (28,32%)	Kangiqsujaq (26,20%)	Akulivik (22,50%)
	Hiver-Printemps	Tasiujaq (31,79%)	Inukjuak (28,02%)	Umiujaq (25,59%)	Kangiqsujaq (25,20%)	Quaqtaq (24,73%)
Très grand vent (≥ 62 km/h)	Été-Automne	Quaqtaq (9,45%)	Tasiujaq (5,40%)	Kangiqsujaq (4,60%)	Umiujaq (2,87%)	Puvirnituq (2,46%)
	Hiver-Printemps	Tasiujaq (11,76%)	Quaqtaq (7,30%)	Umiujaq (5,46%)	Kangiqsujaq (5,22%)	Inukjuak (2,33%)

Source: Environnement Canada, 2017

Wan et al (2010, cité par Ouranos, 2015) ont utilisé les tendances moyennes sur les vents observés durant la période 1953-2006 aux stations météorologiques de Kuujuaq dans la baie d'Ungava et de Kuujuarapik dans la baie d'Hudson pour extrapoler des

projections de données de vent. Dans la baie d'Ungava, la vitesse annuelle moyenne des vents est de 10 à 20 km/heure avec des variations interannuelles de 5 à 10 km/heure pour la période 1953-2006. La baie d'Hudson orientale est marquée par une variabilité interannuelle de la vitesse moyenne du vent plus importante en été (> 10 km/heure), mais qui ne dépasse pas la variabilité de la vitesse moyenne annuelle (20 km/heure). Des différenciations saisonnières peuvent être décelées: tendance à une légère augmentation de la vitesse du vent en hiver et diminution de la vitesse du vent au printemps, en été et à l'automne. En outre, il est possible de définir un rythme saisonnier des vents avec des périodes bien tranchées. En hiver, les vents forts soufflent plus particulièrement du Nord-Ouest. En été, les vents de l'Ouest dominant. Ce sont les vents estivaux et automnaux qui sont favorables à la formation de surcote (niveaux d'eau plus élevés que la marée prévue) dans la baie d'Hudson puis vers l'Est vers le détroit d'Hudson.

Les probabilités des conditions futures des vents entre ≥ 29 km/h et ≥ 62 km/h entre 2017 et 2040

La production de scénarios climatiques sur les changements dans la force et la direction des vents est difficilement réalisable. La circulation atmosphérique est le résultat de l'effet thermique asymétrique des radiations solaires sur les océans et les masses continentales qui varient considérablement en fonction des saisons et des lieux. Les études d'Ouranos (2015) suggèrent que la vitesse moyenne des vents au Nunavik ne devrait pas changer de façon significative à l'horizon 2040 par rapport aux tendances historiques.

3.6. Tempêtes

Le seuil des tempêtes

Les ondes de tempêtes sont des surélévations ou des sousélévations anormales du niveau de la mer qui sont produites au passage de dépressions atmosphériques vers lesquelles convergent des vents soufflant fort. Les ondes de tempête se forment généralement sous l'effet conjugué de la baisse ou la hausse de la pression atmosphérique et des vents forts qui sont produits lors du passage d'une dépression atmosphérique majeure. Les effets observés sur la mer s'associent à de grosses lames et d'épaisses trainées d'écume sur le lit du vent. La crête des lames commence à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux. Les embruns réduisent la visibilité. La crête de l'onde de tempête peut dépasser de plusieurs mètres le niveau local de la marée et menacer les côtes basses. Les forts gradients de température et de pression atmosphérique accroissent les risques de tempêtes en mer (Barber et al, 2010; Vermaire et al, 2013). De façon générale, l'augmentation des températures de l'eau de surface provoque ultimement une augmentation de la force des vents, qui eux génèrent plus de tempêtes avec une plus grande intensité.

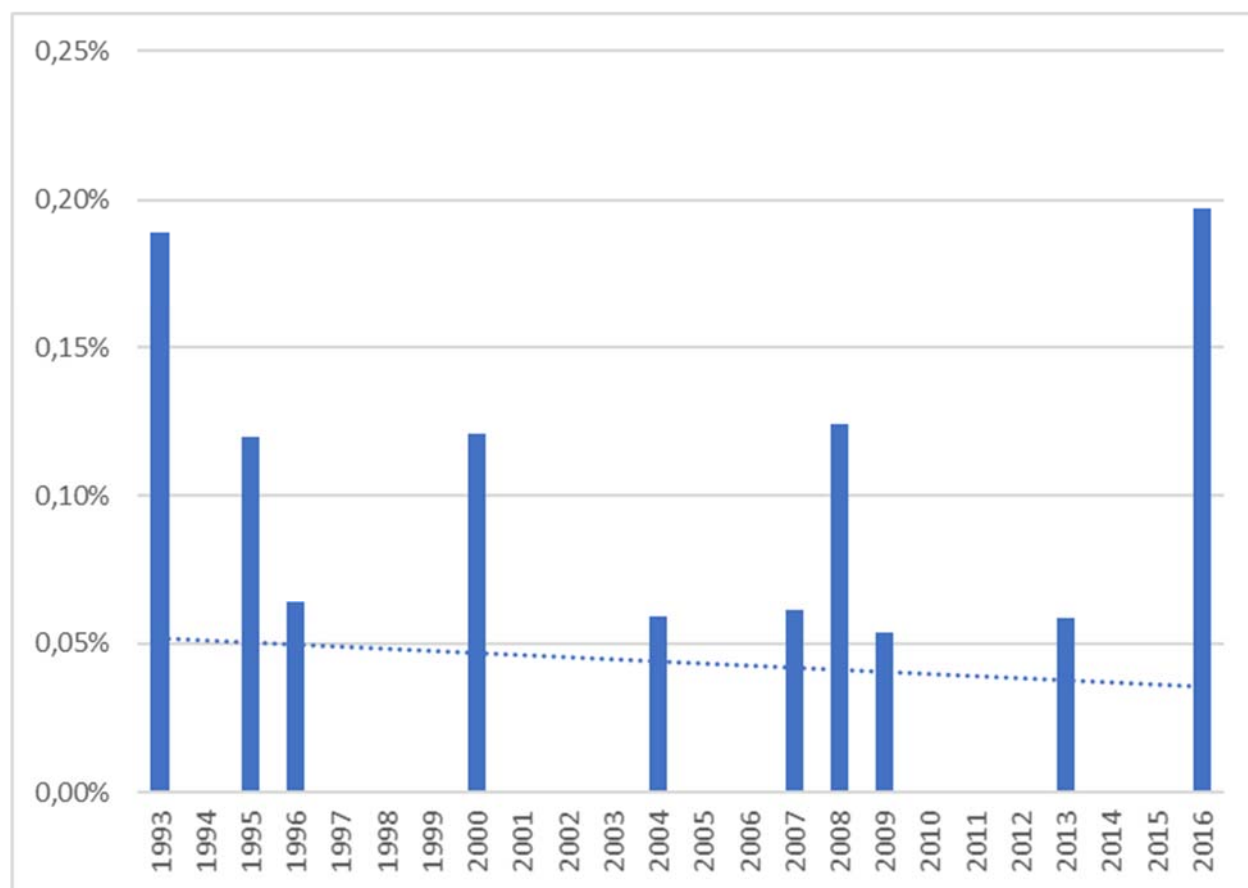
Dans le cadre de la présente étude sur le transport maritime au Nunavik, **une tempête correspond à des jours de vents qui soufflent à ≥ 89 kilomètres à l'heure** (égal ou supérieur à 10 sur l'échelle de Beaufort).

Les fréquences historiques des jours de tempête entre 1993 et 2016

Depuis 1993, les journées qui affichent des vents ≥ 89 km/h au Nunavik ont une fréquence historique moyenne de 0,05% durant la **saison été-automne**. Ce seuil représente une probabilité de 2 (faible). Les jours de tempête se produisent entre une fois aux 20 ans et une fois aux 10 ans au Nunavik. **Les tendances observées depuis 1993 pointent vers le maintien du nombre de jours où les vents soufflent à plus de 88 km/h durant l'été et l'automne** (Figure 63).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,05%	2	0 à 3	Stable

Figure 63. Pourcentage de jours de tempête (été-automne) au Nunavik, 1993-2016

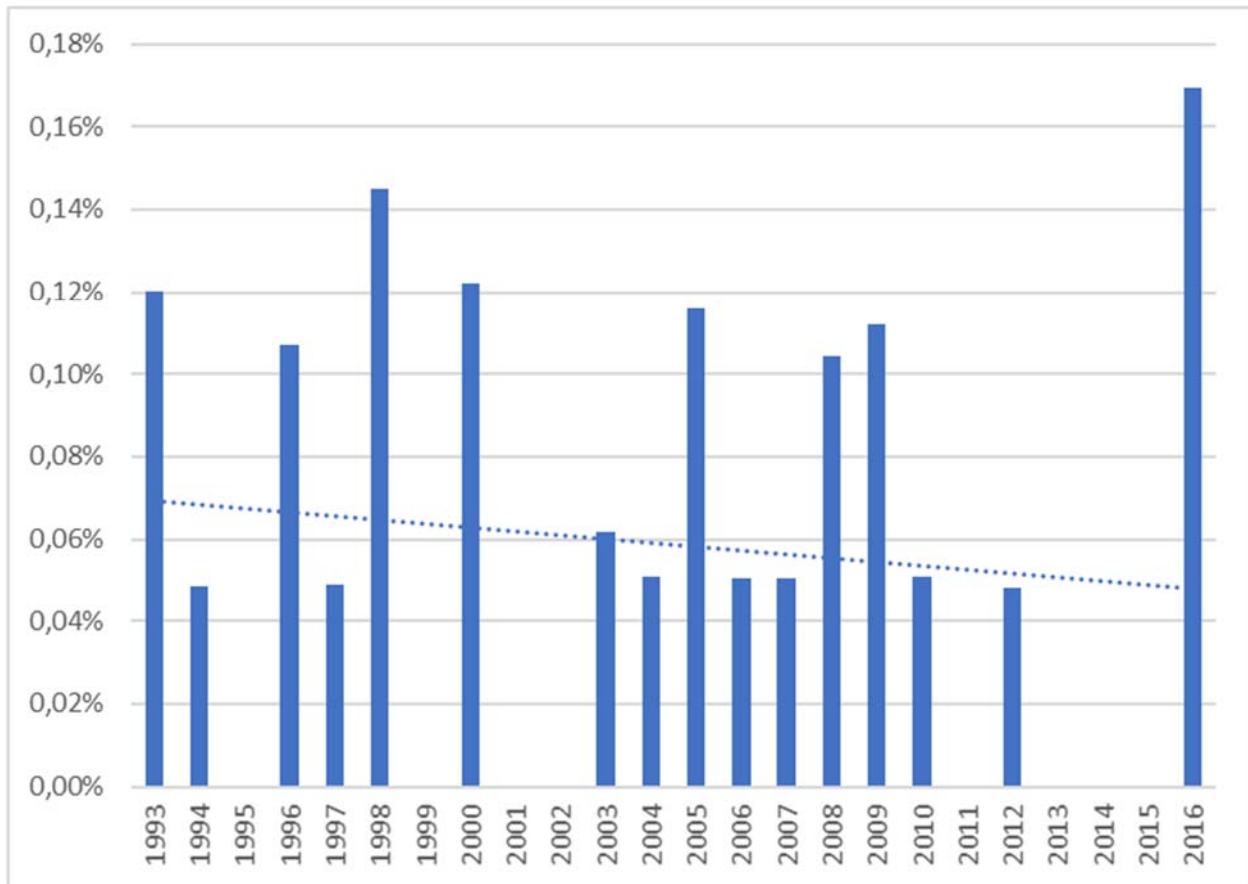


Source: Environnement Canada, 2017

Environnement Canada a enregistré une fréquence historique moyenne de 0,07% durant la **saison hiver-printemps**. Ce seuil représente une probabilité de 3 (occasionnelle, entre une fois aux dix ans et une fois par année). La Figure 64 suggère **une diminution peu significative du nombre de jours de tempête en fonction des tendances observées depuis 1993**.

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
0,07%	3	0 à 3	Diminution

Figure 64. Pourcentage de jours de tempête (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Ces tendances sont confirmées par Savard et al (2014) dont les analyses ont porté sur 1) la densité moyenne des centres cycloniques; 2) le nombre moyen de trajectoires de tempêtes; et 3) la vitesse moyenne de déplacement des tempêtes. L'analyse des tendances a porté sur le régime des tempêtes lié aux processus atmosphériques dans la baie James, la baie d'Hudson, le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava pour la période 1961-2000.

Savard et al (2014) ont enregistré une moyenne annuelle de 25 centres cycloniques dans la baie d'Hudson pour la période 1961-2000. Les auteurs démontrent que la période de l'année la plus favorable à la formation de tempêtes s'étend d'août à décembre. Dans la baie d'Hudson, l'eau de surface se réchauffe de juillet à septembre et cette chaleur accumulée active les dépressions atmosphériques qui transitent dans la région en automne, ce qui renforce la rotation des vents et provoque des tempêtes. Les systèmes dépressionnaires intenses sont plus rares dans la baie d'Hudson (1 à 2 par année) que dans l'océan Atlantique (4 à 12 par année).

L'analyse de Savard et al (2014) démontrent que le nombre moyen de trajectoires de tempêtes dans la baie d'Hudson varie de 6 à 11 par année. Il importe de souligner que

le nombre de trajectoires de tempêtes dans la baie d'Hudson demeure très en-deçà de la moyenne annuelle actuelle de trajectoires de tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent, au large de Terre-Neuve jusqu'au Sud du Groenland qui varie entre 13 et 18. Les trajectoires de tempêtes dans la baie d'Hudson affichent un cycle saisonnier alors que les plus fortes densités surviennent à l'été et augmentent à l'automne. Ces ondes de tempêtes se propagent d'abord vers la baie James puis remontent vers le Nord jusqu'au détroit d'Hudson. Cette période correspond à la formation de surcotes.

La vitesse moyenne de déplacement des tempêtes est estimée à 12 km/h dans la baie d'Hudson, plus lente que celle enregistrée près des côtes canadiennes de l'océan Atlantique estimée à 30 km/h. Savard et al (2014) confirment qu'aucun changement significatif n'est observé dans l'intensité moyenne et la fréquence des tempêtes pour la période 1961-2000.

Les probabilités des conditions futures des jours de tempête entre 2017 et 2040

Les changements de température entre les plans d'eau et la zone terrestre agissent sur les flux turbulents de chaleur et d'humidité et peuvent favoriser la formation et l'intensification des dépressions atmosphériques.

En comparant les tempêtes modélisées aux observations disponibles, Savard et al (2014) suggèrent que les changements climatiques pourraient entraîner une hausse moyenne de 2 à 4 du nombre de centres cycloniques au-dessus de la baie d'Hudson à l'horizon 2041-2070 par rapport à la moyenne annuelle de 25 centres cycloniques enregistrés pour la période 1961-2000. À l'horizon 2041-2070, les projections suggèrent une tendance à la hausse du nombre de centres cycloniques durant les mois de décembre et janvier mais très peu de changement pour les autres mois. Cette augmentation du nombre de tempêtes favorise la production de très fortes vagues de plus de trois mètres de hauteur approchant les côtes. Considérant que les vagues ne peuvent se produire en présence de glace, l'augmentation de la quantité totale de vagues approchant les côtes du Nunavik et la génération de surcote sont conditionnelles au prolongement de la saison d'eau libre de glace. L'analyse de Savard et al (2014) suggère que le régime des tempêtes continuerait de se former essentiellement entre septembre et janvier en fonction des changements dans la température de l'air, l'évolution des systèmes dépressionnaires et l'étendue de la couverture de glace marine. Un prolongement de la période libre de glace pourrait favoriser la formation de tempêtes surtout à la fin de l'automne et au début de l'hiver.

Aujourd'hui, le nombre moyen de trajectoires de tempêtes dans la baie d'Hudson varie de 6 à 11 par année. L'étude prévoit une augmentation très modeste du nombre moyen de trajectoires de tempêtes pour les mois de décembre et janvier à l'horizon 2041-2070. Par ailleurs, les simulations menées par Savard et al (2014) ne relèvent aucun changement significatif dans l'intensité moyenne et la fréquence des tempêtes entre le climat futur (2041-2070) et le climat passé (1961-2000).

4. CONDITIONS DE GLACE

4.1. Concentration de glace

Le seuil de concentration de glace

Il existe une multitude de types de glaces. Deux types de glaces sont récurrents le long des côtes du Nunavik: 1) les glaces de plusieurs années, qui sont des glaces ayant résisté à plus de deux étés consécutifs; et 2) les glaces de première année qui se sont formées au courant de l'année. Par ailleurs, la dynamique des courants marins et des vents déforme les glaces et peut créer des détachements, voire un déplacement de blocs de glace (Eicken et al, 2011; Howell et al, 2013). Certaines déformations des glaces s'apparentent à des crêtes de pression, des fissures et ouvertures, ainsi que des phénomènes de tassement ou de chevauchement (GCC, 2012). Les fissures, qui sont une absence de glace dans une forme linéaire, sont formées par des divergences de courants océaniques ou des vents de surface (Gunn, 2014). Ces ouvertures créées dans la glace constituent un problème potentiellement important lors du gel des eaux en automne. Les glaces accumulées autour de ces ouvertures se combinent avec les eaux fraîchement gelées. Il en résulte une couche de glace plus épaisse. Lors de la fonte des glaces l'année suivante, cette couche plus épaisse pourrait potentiellement résister à la chaleur estivale et se renforcer de nouveau (Serreze et Barry, 2014). Ces crêtes peuvent créer des amoncellements de glaces pouvant atteindre jusqu'à 18 mètres d'épaisseur au Nunavik (Serreze et Barry, 2014). Les courants ainsi que les vents déplacent surtout les glaces de première année qui se sont détachées, les poussant vers les bancs de glace plus importants ou vers les côtes. Par ailleurs, il importe de souligner que la glace de rive peut persister malgré le recul de la glace de mer. Ce phénomène augmente la concentration de glaces.

Au Nunavik, la présence de glace est liée à l'accumulation de jours où la température moyenne est sous le point de congélation. Selon Environnement Canada, la concentration totale de glace mesure la proportion de la surface de la mer, dans la zone considérée, qui est couverte de glace incluant tous les stades de formation présents. Cette concentration de glace s'exprime en dixième (Transport Canada, 2003). Dans le cadre de l'étude sur le transport maritime au Nunavik, les données ne concernent que la saison estivale-automnale. Puisqu'il n'est pas possible d'établir des moyennes ou des probabilités d'occurrence sur le plan d'un calendrier, trois éléments sont retenus:

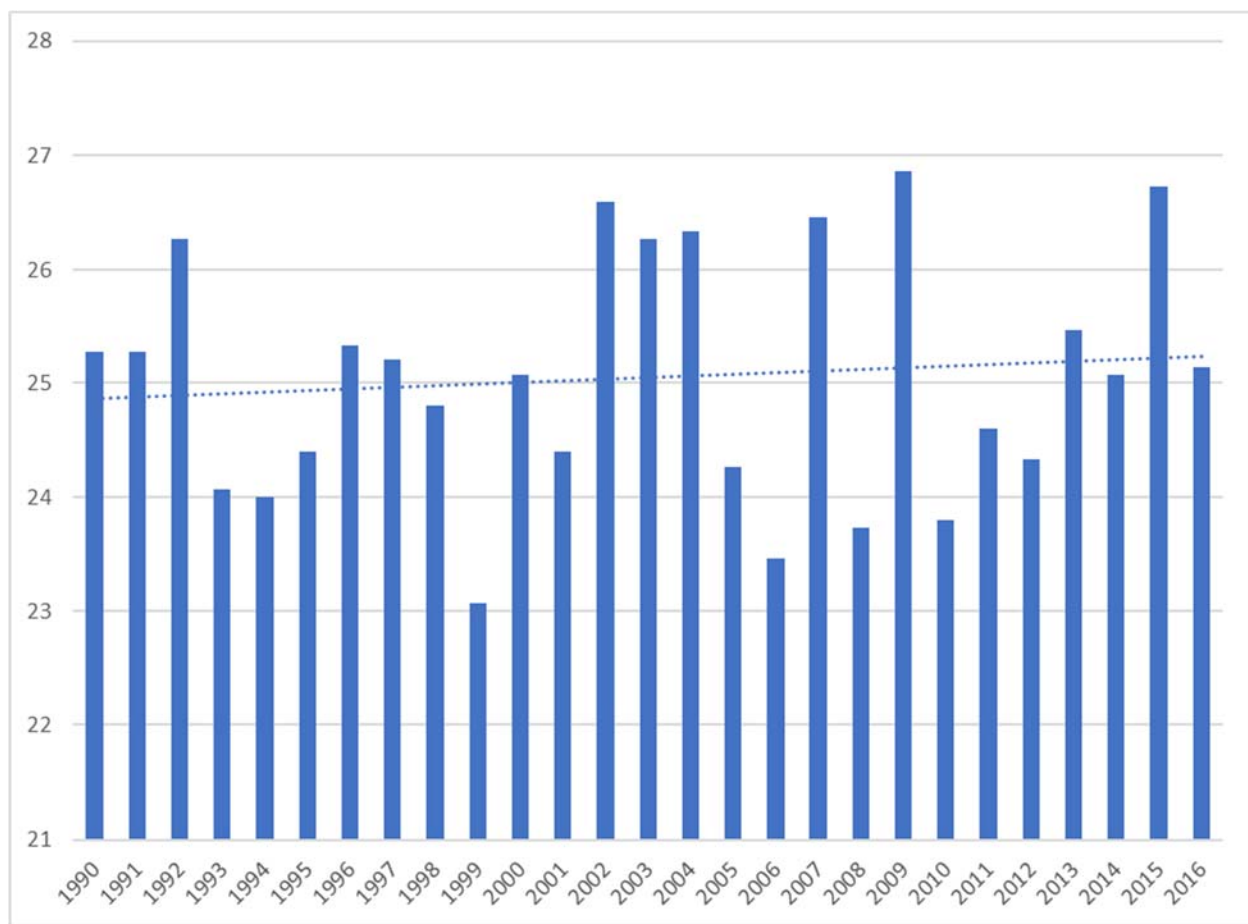
1. **Première semaine avec une concentration totale de glace inférieure à 5/10;**
2. **Première semaine avec une concentration totale de glace supérieure à 5/10;**
3. **Nombre de semaines avec une concentration de glace supérieure à 5/10 durant la saison été-automne.**

Les fréquences historiques de concentration de glace entre 1990 et 2016

Première semaine avec une concentration totale de glace inférieure à 5/10

L'analyse des données historiques depuis 1990 révèle que la première semaine avec une concentration totale de glace inférieure à 5/10 au Nunavik se situe autour de la 25^e semaine soit celle du 21 juin. Une analyse des tendances observées au cours des 25 dernières années n'indique **aucun changement significatif sur le début de la saison où 50% de la surface d'eau est librement navigable sans glace** (Figure 65).

Figure 65. Première semaine avec une concentration de glace inférieure à 5/10 au Nunavik, 1990-2016

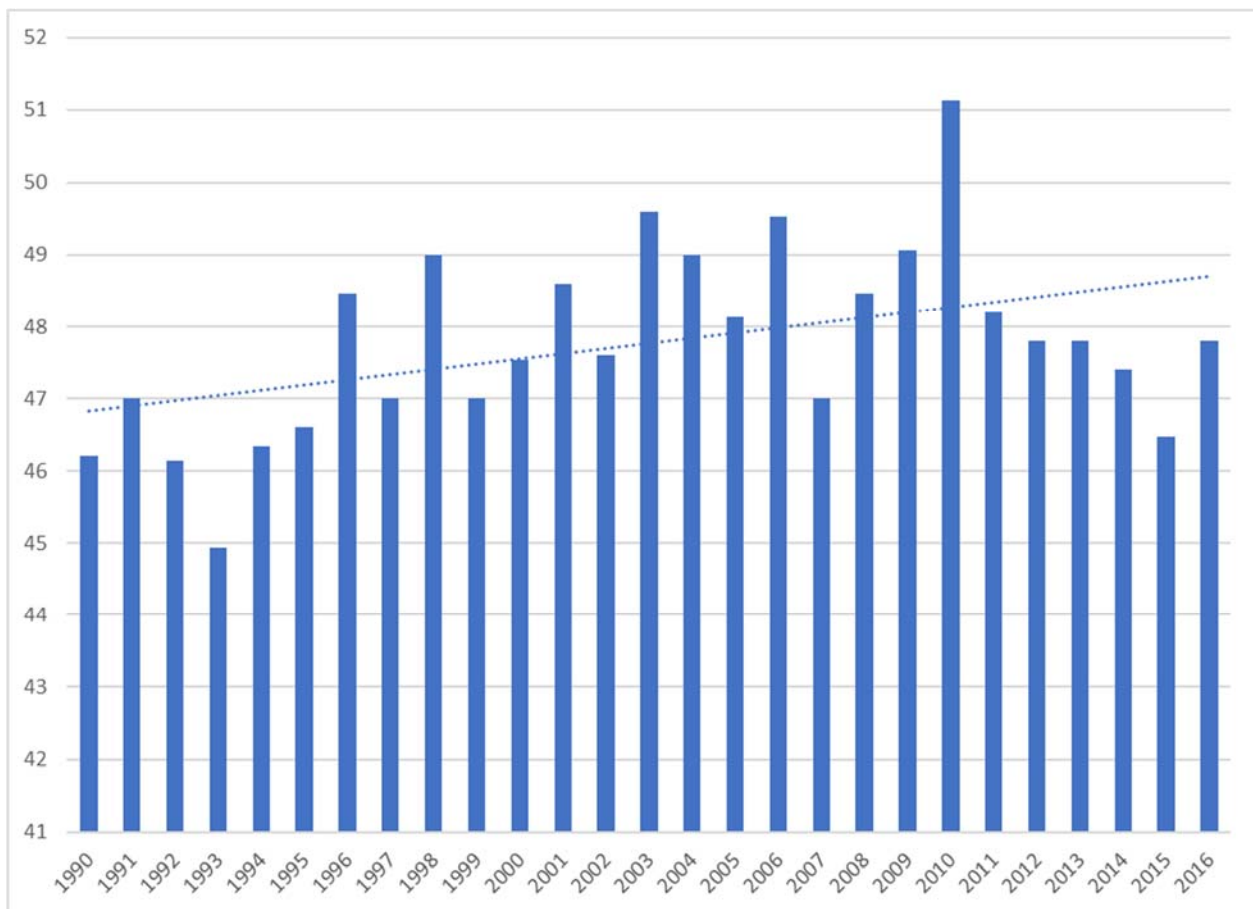


Source: Service canadien des glaces, 2017

Première semaine avec une concentration totale de glace supérieure à 5/10

En fort contraste, la Figure 66 indique que **la période d'occurrence de concentration de glace supérieure à 5/10 tend à se déplacer plus tard en automne**. Au début de la décennie 1990, la première semaine de concentration de glace supérieure à 5/10 survenait entre la semaine du 8 novembre et celle du 22 novembre. Depuis 2016, la première semaine de concentration de glace supérieure à 5/10 tend à survenir durant la semaine du 29 novembre.

Figure 66. Première semaine avec une concentration de glace supérieure à 5/10 au Nunavik, 1990-2016

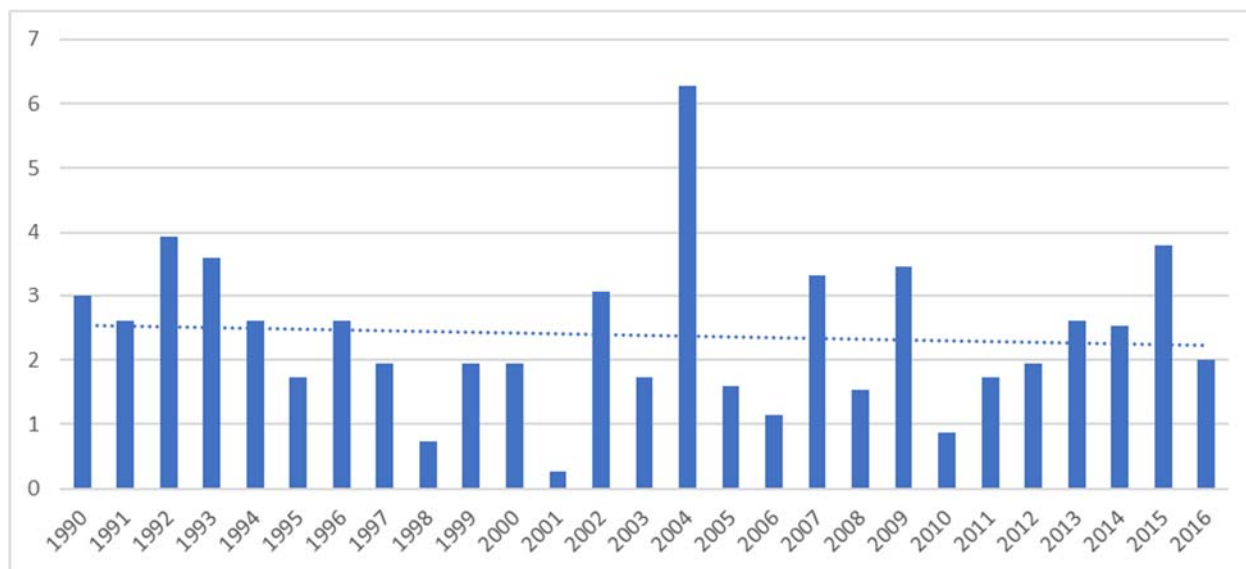


Source: Service canadien des glaces, 2017

Nombre de semaines avec une concentration totale de glace supérieure à 5/10 durant la saison été-automne

L'analyse des données compilées depuis 1990 révèle que **le nombre de semaines avec une concentration de glace supérieure à 5/10 durant la saison été-automne demeure pratiquement inchangé** (Figure 67). Des périodes de 2,39 semaines d'accumulation de glace de plus de 5/10 ont été observées en moyenne durant la saison estivale-automnale au Nunavik. Ceci suggère une fréquence de 9,95%. Cette concentration de glace représente une probabilité de 5 (très probable, se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours). **Les tendances historiques au cours des dernières décennies ne permettent pas d'attribuer de changements significatifs sur le nombre de semaines qui affichent une concentration de glace supérieure à 5/10 durant la saison estivale-automnale au Nunavik.**

Figure 67. Nombre de semaines avec une concentration de glace supérieure à 5/10 pendant la saison estivale-automnale au Nunavik, 1990-2016



Source: Service canadien des glaces, 2017

Les données sur la couverture de glace des côtes du Nunavik démontrent certains changements depuis 25 ans. Des éléments de preuve démontrent une perte partielle du couvert glaciaire pour le mois de mars et une baisse du couvert glaciaire en septembre pour les mêmes années de comparaison. Selon Joly et al (2011), les côtes du Nunavik affichent une augmentation de la couche mixte, favorisant ainsi l'absorption de radiations solaires, donc ultimement un réchauffement des eaux et un amincissement des glaces. L'analyse des tendances historiques corrobore plusieurs études sur l'évolution du couvert glaciaire le long des côtes du Nunavik. Ouranos (2015, p. 50) rapporte que le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava ont perdu entre 16% et 20% de leur couvert glaciaire pour la période 1968-2010. Avec des photos disponibles entre 2015 et 2016 ainsi que des images Landsat pour les années 2013-2017, Bernier et al (2017) démontrent que dans la baie d'Hudson (Kuujjuarapik, Ivujivik), le détroit d'Hudson (Baie

Déception) et la baie d'Ungava (Aupaluk), les eaux sont libres entre la fin mai et le début juin, mais contiennent encore d'importantes masses de glace et de blocs en dérive durant un minimum d'un mois. Clerc et al (2012) confirment que des blocs de glace sont observables jusqu'à la fin juillet. La glace demeure présente même durant la courte fenêtre de navigation de la saison estivale.

Une analyse du **nombre de jours où les côtes du Nunavik sont libres de glace pour la période 2005-2015 révèle que les conditions environnementales sont extrêmement variables et les tendances générales concernant la concentration de glace doivent être interprétées avec nuance** (Tableau 81).

Tableau 81. Nombre de jours libres de glace le long des côtes du Nunavik, 2005-2015

Année	Baie James	Baie d'Hudson Sud-Est	Baie d'Hudson Nord-Est	Détroit d'Hudson	Baie d'Ungava
2005	200	196	177	176	197
2006	188	199	177	179	187
2007	174	172	153	172	165
2008	176	180	170	170	178
2009	170	175	158	158	175
2010	200	220	194	210	207
2011	180	183	168	180	174
2012	182	176	157	164	170
2013	189	192	155	165	158
2014	169	178	159	154	161
2015	175	160	120	132	180

Source: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2005-2015

Les probabilités des conditions futures de concentration de glace entre 2017 et 2040

La production de scénarios climatiques sur la concentration de glace au Nunavik représente un exercice difficile en raison de la complexité des relations entre différentes composantes du modèle hydrologique incluant la variation des températures, le volume de précipitations, le couvert nuageux, le niveau d'humidité et les radiations solaires. Nonobstant ces difficultés, Senneville et Saint-Onge (2013) ont évalué les impacts des changements climatiques sur les infrastructures maritimes au Nunavik. L'objectif de l'étude consiste à déterminer le climat des glaces de mer et à simuler la glace de rive dans un climat futur. Les auteurs ont simulé la concentration de glaces en fonction du seuil de 30% de la concentration entre le climat actuel et le climat à l'horizon 2055. Les auteurs prévoient que les changements climatiques pourraient entraîner un retard entre 8,5 et 9 jours pour la prise de glace et une fonte 12,5 jours plus tôt (Senneville et Saint-Onge, 2013, p. 36). La période d'englacement pourrait diminuer de 21 jours par rapport au climat actuel. La concentration maximale de glace atteinte pourrait diminuer de 1,92% à 1,99%.

4.2. Jours englacés

Le seuil des jours englacés

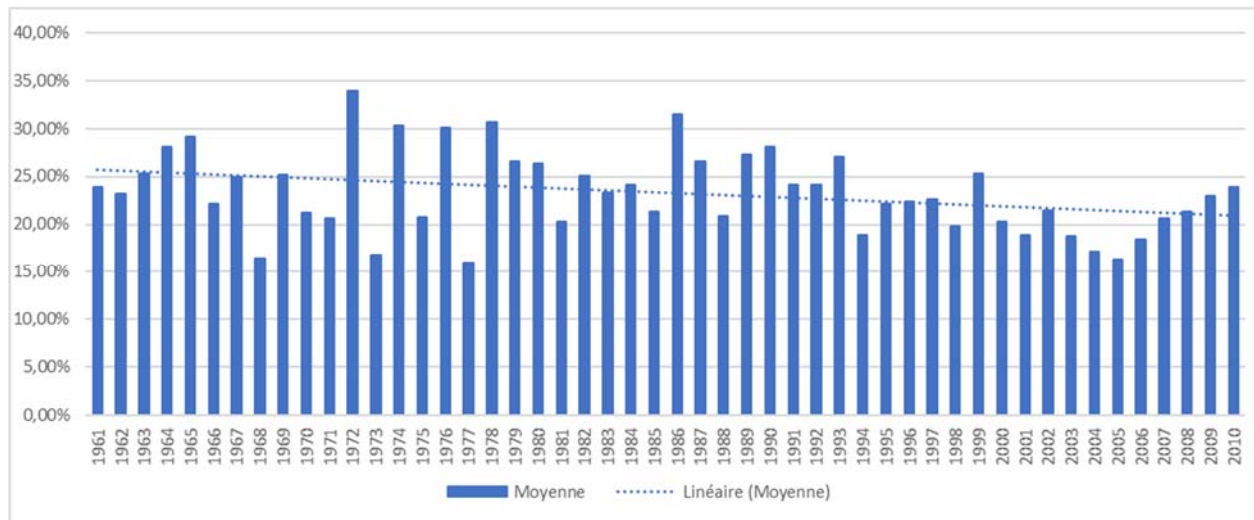
Les jours englacés sont définis comme **le nombre de jours avec une température maximale <0°C pour les saisons été-automne et hiver-printemps**. Ce sont les jours où un dépôt de glace peut se former à partir de la vapeur d'eau, au sol ou sur toutes les surfaces plus froides que l'air environnant.

Les fréquences historiques de jours englacés entre 1961 et 2010

Selon les données produites par Ouranos, la fréquence moyenne des jours englacés au Nunavik est de 23,34% pour la **saison été-automne** (probabilité de 5, très probable). C'est un événement météorologique se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours. **Les données historiques pointent vers une légère diminution** (Figure 68).

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
23,34%	5	5 à 6	Diminution

Figure 68. Pourcentage de jours englacés (été-automne) au Nunavik, 1961-2010

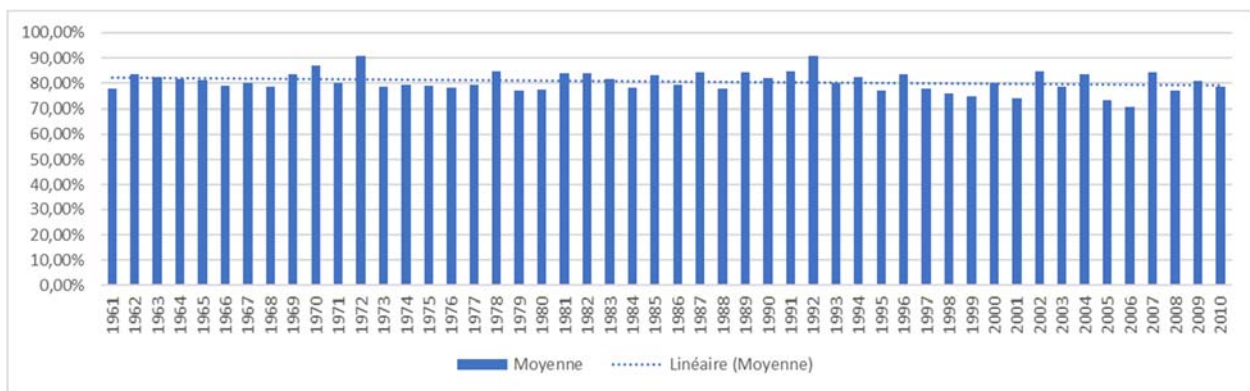


Source: Ouranos, 2017

La fréquence moyenne des jours englacés au Nunavik pour la **saison hiver-printemps** est de 80,65% (probabilité de 7, certaine). Cet événement météorologique se produit entre une fois aux deux jours et chaque jour. **Les données historiques pointent vers une certaine stabilité des jours englacés pour la saison hiver-printemps** (Figure 69).

Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1961-2010)
80,65%	7	7	Stable

Figure 69. Pourcentage de jours englacés (hiver-printemps) au Nunavik, 1961-2010



Source: Ouranos, 2017

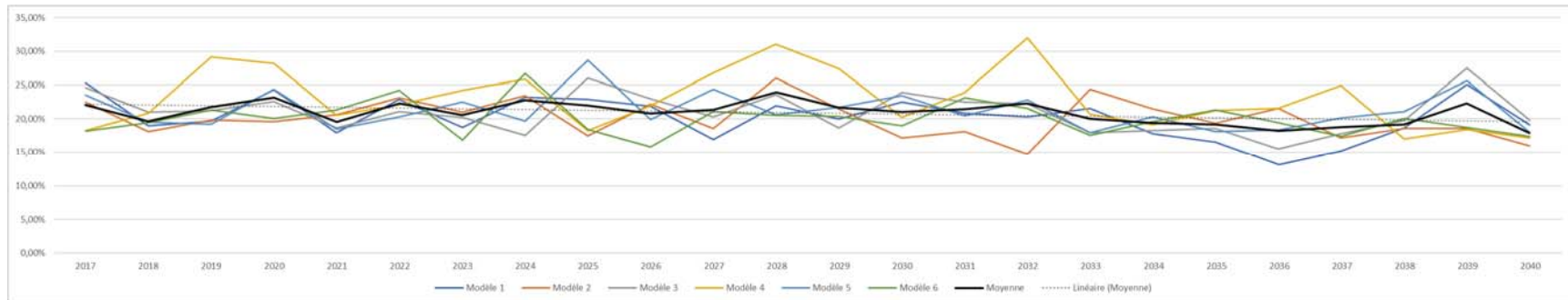
Les travaux d'Ouranos confirment que la saison de gel a tendance à raccourcir dans le Nord du Québec. La saison sans gel s'allonge en raison d'une augmentation des températures (Ouranos, 2015, p. 13).

Les probabilités des conditions futures de jours englacés entre 2017 et 2040

La simulation du climat futur en se basant sur six modèles climatiques indique que la fréquence associée à des jours englacés au Nunavik durant la **saison été-automne** varierait entre 17,91% et 23,97% (Figure 70). Bien que la tendance projetée au cours des prochaines décennies penche pour une diminution des jours englacés, la méthode qui consiste à sélectionner la borne supérieure des moyennes calculées suggère que l'indice de probabilité associé aux conditions futures soit estimé à 5 (très probable), soit **un événement se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours**.

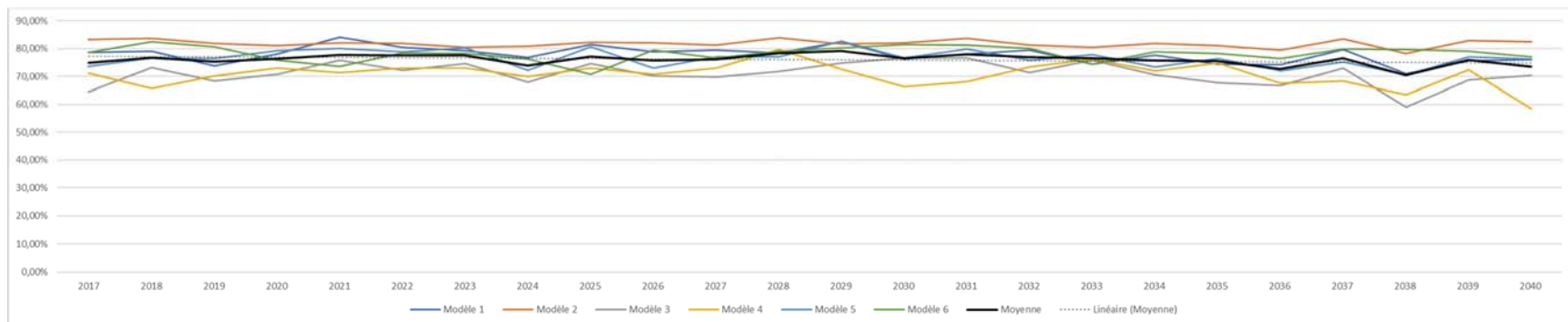
Les journées qui afficheraient des jours englacés durant la **saison hiver-printemps** auraient une fréquence moyenne variant de 70,32% à 79,06% (Figure 71). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 7 (certaine), soit **un événement se produisant entre une fois aux deux jours et chaque jour**.

Figure 70. Pourcentage de jours englacés (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 71. Pourcentage de jours englacés (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

4.3. Cycles de gel et dégel

Le seuil des cycles de gel et dégel

Les cycles de gel et dégel sont calculés en fonction du **nombre de jours où la température maximale est supérieure à 0°C et la température minimale inférieure à 0°C**.

Les fréquences historiques de jours de cycle de gel et de dégel entre 1993 et 2016

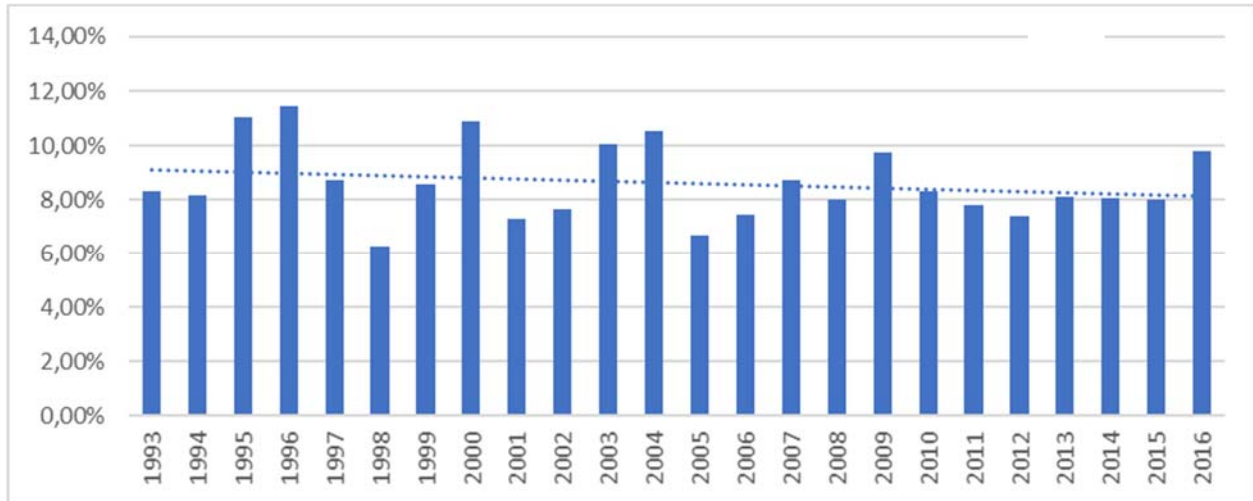
Les cycles de gel et dégel peuvent être associés à toutes les saisons de navigation. De 1993 à 2016, la fréquence historique moyenne du pourcentage de jours où la température maximale est supérieure à 0°C et la température minimale est inférieure à 0°C est de 9,79% durant la **saison été-automne**. Il s'agit d'un phénomène fréquent (entre une fois par mois et une fois aux trois jours) qui correspond à une probabilité de 5 (très probable). La Figure 72 suggère que les tendances observées au cours des dernières décennies penchent pour **une légère diminution du nombre de cycles de gel et dégel durant l'été et l'automne**.

Été-Automne			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
9,79%	5	5	Diminution

Les tendances observées pour la **saison hiver-printemps** indiquent que la probabilité d'occurrence associée aux cycles de gel et dégel est également fixée à 5 pour la période 1993-2016. La fréquence historique moyenne est estimée à 11,07%. Par ailleurs, **les tendances observées pointent vers une stabilité du nombre de cycles de gel et dégel** (Figure 73).

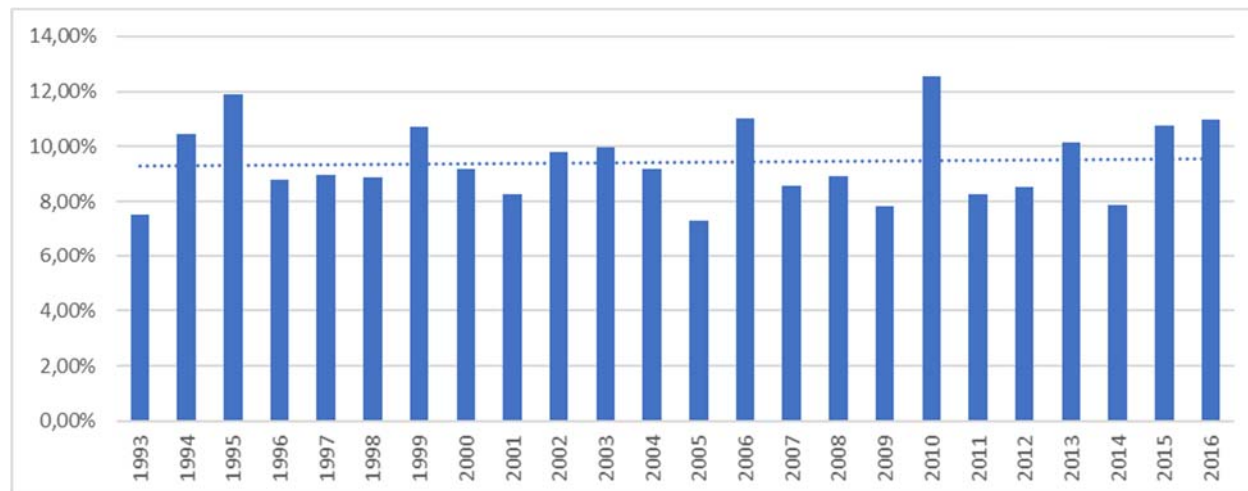
Hiver-Printemps			
Fréquence historique moyenne	Échelle de probabilité historique (Moyenne)	Échelle de probabilité historique (variabilité spatiale)	Changements observés (1993-2016)
11,07%	5	5	Stable

Figure 72. Pourcentage de jours de cycle de gel et dégel (été-automne) au Nunavik, 1993-2016



Source: Environnement Canada, 2017

Figure 73. Pourcentage de jours de cycle de gel et dégel (hiver-printemps) au Nunavik, 1993-2016

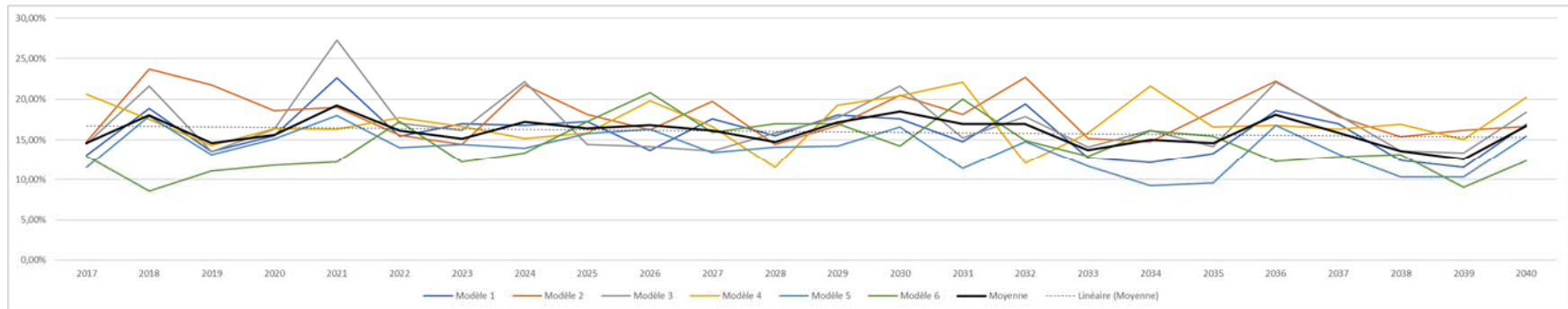


Source: Environnement Canada, 2017

Les probabilités des conditions futures de jours de cycle de gel et de dégel entre 2017 et 2040

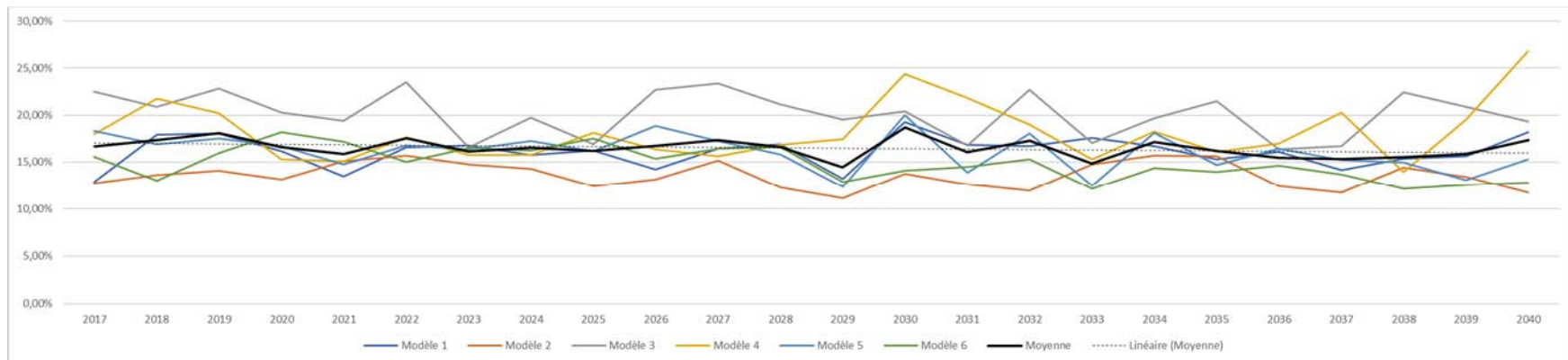
Les résultats du calcul de la moyenne de six modèles climatiques suggèrent que les journées où la température maximale est supérieure à 0°C et la température minimale est inférieure à 0°C durant la **saison été-automne** auraient une fréquence variant entre 12,58% et 19,24% à l'horizon 2040 (Figure 74). Cette fréquence varierait entre 14,44% et 18,67% pour la **saison hiver-printemps** (Figure 75). L'indice de probabilité associé aux conditions futures est estimé à 5 (très probable), soit **un événement climatique se produisant entre une fois par mois et une fois aux trois jours**.

Figure 74. Pourcentage de jours de cycle de gel et dégel (été-automne) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

Figure 75. Pourcentage de jours de cycle de gel et dégel (hiver-printemps) au Nunavik, 2017-2040



Source: Ouranos, 2017

5. NIVEAUX D'EAU

Les seuils

En transport maritime, **les niveaux d'eau sont mesurés à partir du zéro des cartes**. Ceci représente le plan de référence verticale à partir duquel toutes les profondeurs d'eau sont mesurées. Au Nunavik, le zéro des cartes nécessite une connaissance approfondie de la marée. Les marées sont caractérisées par deux pleines mers et deux basses mers d'amplitudes inégales et à intervalles irréguliers. Le marnage est la différence entre l'étale de pleine mer (marée haute) et l'étale de basse mer (marée basse). Le zéro des cartes est fixé à partir du niveau de basse mer inférieure lors de grande marée. Cette référence indique la profondeur d'eau minimale dans des conditions hydrologiques normales.

Les fréquences historiques des niveaux d'eau

Le Tableau 82 démontre que les trois façades maritimes du Nunavik affichent des caractéristiques de marnage très différentes. Dans la baie d'Hudson l'amplitude des marées est faible. Les villages nordiques présente un marnage de moins de 3 mètres. L'amplitude des marées tend à diminuer d'Ouest en Est dans le détroit d'Hudson. Le marnage varie de 4,6 m à 5,0 m à Salluit et Baie Déception et atteint 8,2 m à Kangiqsujaq et Quaqtac. La baie d'Ungava affiche de très grandes marées. Le marnage atteint 13,5 m à Tasiujaq, diminue de part et d'autre de la rivière aux Feuilles, mais demeure supérieur à 10 m à Kangiqsualujjaq et Aupaluk. Le village nordique de Kuujuaq situé à 48 km en amont de la rivière Koksoak connaît un marnage de 6,1 m.

Tableau 82. Marnage des façades maritimes au Nunavik

Baie d'Hudson		Détroit d'Hudson		Baie d'Ungava	
Village	Marnage moyen	Village	Marnage moyen	Village	Marnage moyen
Inukjuak	0,40	Salluit	4,60	Kuujuaq	6,10
Puvirnituk	0,40	Baie Déception (sites miniers)	5,00	Kangirsuk	9,80
Akulivik	0,50	Kangiqsujaq	8,20	Kangiqsualujjaq	11,60
Umiujaq	1,40	Quaqtac	8,20	Aupaluk	12,50
Kuujuarapik	1,80			Tasiujaq	13,50
Ivujivik	2,80				

Source: MTQ, 2002

Les paramètres géophysiques au Nunavik sont complexes et les impacts associés à une fluctuation des niveaux d'eau varient en fonction des façades maritimes. Ainsi, les côtes autour du Nunavik sont vulnérables à une variation des niveaux d'eau en raison du cycle des marées qui est important. Le Nunavik affiche des tendances de niveau d'eau positives et négatives.

Les enregistrements sont positifs lorsque le zéro des cartes est plus élevé que la moyenne des basses eaux. Les membres du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) avancent que le niveau moyen des océans aurait augmenté de 1,8 mm par année de 1961 à 2003. Il pourrait y avoir des effets de l'augmentation du niveau des océans sur les façades maritimes du Nunavik. Le passage de dépressions atmosphériques, combinées à de forts vents et d'importantes précipitations pendant les grandes marées ont déjà engendré une hausse exceptionnelle des niveaux d'eau dans le détroit d'Hudson et dans la baie d'Ungava (L'Hérault et al, 2017, p. 44).

Une analyse de la variation des niveaux d'eau en lien avec le régime de tempêtes pour la période 1979-2011 démontre que les surcotes et les décotes les plus fortes se produisent dans la région Sud-Est de la baie d'Hudson et diminuent en amplitude vers le Nord-Est de la baie d'Hudson puis le long du détroit d'Hudson (Savard et al, 2014). Ces résultats sont concomitants à l'étude du Groupe Conseil Lasalle (2013).

En fort contraste, l'isostasie entraîne un soulèvement de masses terrestres d'environ 1 centimètre par année conduisant à une baisse du niveau marin. L'analyse des données de marées indique des enregistrements négatifs de niveau d'eau lorsque le zéro des cartes est plus bas que la moyenne des basses eaux. C'est notamment le cas dans la baie d'Hudson où des données de marées affichent des enregistrements de plus d'un mètre sous le zéro des cartes (L'Hérault et al, 2017, p. 121). Des augmentations de l'intensité et de la fréquence des décotes (bas niveaux d'eau extrêmes) ont été enregistrées sur la côte Est de la baie d'Hudson.

Les probabilités des conditions futures des niveaux d'eau entre 2017 et 2040

Ouranos (2015) a élaboré des projections de variation du niveau relatif de la mer sur les côtes du Nunavik pour l'horizon 2081-2100. Les projections de variation des niveaux d'eau sont fondées sur les fluctuations interannuelles des niveaux d'eau et modifiées par des facteurs inhérents aux changements climatiques incluant la fonte des glaciers, des calottes glaciaires et du stockage terrestre. Les variations s'expliquent par l'utilisation de la méthode delta dans l'élaboration de scénarios. La méthode delta utilise les moyennes de niveau d'eau d'une série chronologique de référence (1985-2006) et applique un delta (différence) aux valeurs moyennes projetées des niveaux d'eau pour la période 2081-2100. Les valeurs obtenues représentent la différence entre les conditions historiques des niveaux d'eau des années 1985-2006 et les niveaux d'eau projetés des années

2081-2100. Ces projections des niveaux d'eau pour les zones côtières du Nunavik sont ensuite corrélées avec les paramètres du scénario «RCP4.5» duquel est extraite une valeur médiane.

La valeur médiane du niveau d'eau dans le cadre du scénario «RCP4.5» utilisé par Ouranos indique que la baisse des niveaux d'eau serait plus prononcée le long des côtes du Nunavik à l'horizon 2100. La baie James afficherait une baisse de 1,2 mètre du niveau d'eau. Toute la côte orientale de la baie d'Hudson ainsi que le détroit d'Hudson seraient marqués par une baisse de niveau d'eau variant entre -0,90 mètre et -1,2 mètre. La baie d'Ungava serait affectée par une baisse de -0,30 mètre à -0,60 mètre de niveau d'eau.

ANNEXE 3. PARTICIPANTS À L'ATELIER DE TRAVAIL DU 27 JUILLET 2017

Participant	Expertise
Claude Comtois, Ph.D. Professeur Titulaire Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport Université de Montréal	Transport maritime Système portuaire Géographie environnementale Logistique
Capitaine Georges Tousignant Vice-président opérations Nunavut Eastern Arctic Shipping Inc	Transport maritime Opération navigation Nunavik
Marie-Andrée Giguère, M.Sc. Analyste des glaces Enfotec Technical Services Inc. Fednav	Transport maritime Géographie environnementale Paramètres glaciels
Diane Chaumont, M.Sc. Chef de Groupe Scénarios et Services climatiques Ouranos	Analyse de données climatiques observées Développement de scénarios hydroclimatiques
Nathalie Bleau, M.Sc. Coordonnatrice du programme Environnement Bâti Groupe Vulnérabilités, Impacts et Adaptation Ouranos	Gestion des risques naturels
Ross Brown, M.Sc. Scénarios et Services Climatiques Ouranos	Climat nordique Neige Changements climatiques
Brian Slack, Ph.D. Professeur Émérite Distingué Université Concordia	Transport maritime Système portuaire Intermodalité et logistique
Alex Champagne-Gélinas, M.Sc. Agent de recherche Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport Université de Montréal	Logistique Changements climatiques Géographie de l'industrie
Simon Savard, M.Sc. Agent de recherche Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport Université de Montréal	Transport maritime Changements climatiques Impacts environnementaux Gestion de risque
Philippe de Champlain, B.Sc. (M.Sc. en cours) Auxiliaire de recherche Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport Université de Montréal	Transport maritime Géographie environnementale