

**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

**L'impact économique et environnemental de la  
création d'un corridor à travers l'Arctique**

Théo Herry

Mémoire présenté pour l'obtention  
du titre de  
Master en Sciences Nautiques

Promoteur: Dr.Geert Potters  
et Patricia Van Langenhoven  
année académique: 2019 - 2020

## **Avant-propos**

J'ai choisi ce sujet de mémoire pour des raisons personnelles et d'actualité. J'ai un profond intérêt pour l'environnement et j'aimerais durant ma carrière pouvoir naviguer dans le cercle polaire. L'actualité est très alarmiste sur notre environnement et avec mon futur travail je me sens directement concerné pour le préserver.

Remerciements : Je remercie mes deux promoteurs qui m'ont permis de travailler dans de bonnes conditions. Mes remerciements vont aussi à Giovanni Kappenberger (glaciologue Suisse) pour avoir répondu à mes questions et qui m'a aidé avec des pistes de recherche. Je remercie aussi ma famille qui m'a permis de travailler dans de bonnes conditions.

## **Résumé**

Réduire la durée de voyage en permettant le passage des navires par l'Arctique est passé du mythe à la réalité. Cette réalité devient de plus en plus viable, notamment à cause d'un des effets du réchauffement climatique, l'accélération de la fonte des glaces.

Cette nouvelle route de l'arctique, doit répondre à deux contraintes : économique et écologique. Elle devra respecter l'environnement et la sécurité maritime dans un milieu où la navigation est dangereuse ; notamment à cause de l'éloignement et un climat hostile pour l'activité humaine. Navires, armateur et équipages devront alors se conformer à toutes règles en vigueur.

La conception d'une telle route est un atout économique de taille pour les nations de l'Arctique, elle promet de nouvelles alliances gouvernementales pouvant consolider la paix.

Même si cette nouvelle route présente des avantages évidents par rapport à d'autres plus traditionnelles, elle a aussi ses limites et ne doit pas être considérée comme une concurrente mais comme un nouveau pilier de l'économie maritime mondiale.

## **Abstract**

The idea of decreasing the time travelling by ships transiting through the arctic is not a myth anymore but it became a reality. Ice melting due to global warming makes this reality more and more possible.

This new Arctic route must answer to two majors constrains : economic and ecological. It should respect the environnement and the maritime safety in a hazardous area for the navigation du to remoteness and the rough climate for any human activity. Ship-owners, crew and ships will have to strictly adhere to the rules put into force along this route.

The concept of this new route is a tremendous economical asset for the different arctic countries, it can bring new alliances which could strengthen the peace. Even though this route has got a lot of advantages in regard to other traditional routes, but it has got some limitations and it cannot be considered like an other competitors route but like another pillar of the worldwide maritime economie.

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
<b>I) Région polaire : un environnement</b> .....	2
1 Environnement polaire.....	2
1.1 Les types et formes de glaces.....	3
1.2 Une vie microscopique.....	8
1.3 Faune et flore polaire.....	9
<b>II) Contexte historique et économique</b> .....	12
1 Les routes de l'Arctique.....	12
1.1 Découverte.....	12
1.2 Création des nouvelles routes.....	14
2 L'arctique et la globalisation.....	14
2.1 Contexte économique.....	14
2.2 Contexte géopolitique.....	15
<b>III) Description et conséquences de la pollution maritime</b> .....	17
1 Pollution globale du navire.....	17
1.1 Les déchets des navires.....	17
1.1.1 Les déchets dégradables.....	17
1.1.2 Les déchets solides.....	18
1.1.3 Les déchets conservatifs.....	20
1.2 Le navire.....	20
1.2.1 Les machines.....	20
1.2.2 Pollution biologique.....	21
1.2.3 La coque du navire.....	21
1.2.4 Pollution atmosphérique du navire.....	22
1.2.5 La pollution sonore du navire.....	23
1.2.6 Le déversement de pétrole.....	23
1.2.7 La pollution visuelle.....	25
2 Marpol et lutte contre la pollution.....	25
2.1 Bio carburant.....	25
2.2 Gestion des déchets à bord, Marpol annexe V.....	26
2.3 Une pollution contrôlée.....	26
<b>IV) Conclusion</b> .....	28
<b>V) Introduction</b> .....	29

<b>VI) Création d'un corridor en Arctique</b> .....	30
1 Navigation dans la route Nord Est.....	30
1.1 Mers de Barents et mer blanche .....	31
1.2 La Mer de Kara.....	32
1.3 Mer de Laptev.....	34
1.4 Mer de Chukchi.....	35
1.5 Contrôle de la navigation.....	36
1.6 Vue d'ensemble.....	37
1.7 L'Arctic Bills .....	42
1.8 Droit et transit.....	43
2 Sécuriser la navigation.....	45
2.1 MRCC et DST.....	45
2.2 Le CROSS Corsen.....	46
2.3 L'utilisation de brise-glaces et pilotes de glace.....	48
2.4 Application sur le corridor .....	49
2.5 Les aspects température et concentration glaciale.....	50
2.5.1 Études des températures polaires.....	50
2.5.2 Étude de la concentration glaciaire .....	51
2.5.3 Méthodes de réduction de la glace .....	54
2.6 Conversions thermique de l'énergie solaire.....	55
2.6.1 Capteur avec miroir de concentration parabolique .....	56
2.6.2 Lentilles de Fresnel.....	57
3 Gestion de la pollution dans le corridor.....	57
3.1 La gestion des déchets .....	58
3.2 La Réduction des émissions polluantes.....	60
3.2.1 Zone ECA.....	61
3.2.2 La limitation de la vitesse.....	62
3.3 Autorisation des navires.....	64
3.3.1 Les navires à gaz naturel liquéfié.....	65
<b>VII) Les atouts du corridor</b> .....	66
1 Canal de Suez ou Corridor polaire.....	66
1.1 Les routes.....	66
1.2 Le contexte géopolitique et sécuritaire de ces routes .....	66
1.2.1 Suez : une région instable.....	66
1.2.2 Une route de dangers .....	67

1.2.2.1 La piraterie .....	67
1.2.2.2 Une zone conflictuelle .....	68
1.2.3 Un trajet de plus en plus compliqué.....	69
1.2.3.1 Rotterdam-Shanghai victime de son succès.....	69
1.2.3.2 Le point de vue météorologique .....	70
1.3 La route de l'Arctique : une navigation périlleuse.....	71
1.3.1 Les risques de la navigation polaire.....	73
1.3.2 Une difficulté économique .....	75
1.3.3 Aspect technique des navires dans la région polaire.....	76
1.3.4 Polar code/ réglementation .....	78
1.4 Le choix économique de ces routes.....	79
2 Une retombée économique et géopolitique.....	81
2.1 Un atout pour la Russie.....	81
2.2 L'atout géopolitique.....	82
3 Un exemple de canal et ses répercussions écologiques et économiques : le canal de Panama.....	83
3.1 Histoire.....	83
3.2 L'importance géopolitique et économique du Canal.....	84
3.3 L'incidence environnementale du Canal de Panama .....	88
4 L'échec de l'élaboration d'un canal : Le canal de Nicaragua .....	88
4.1 Analyse de la conception du canal.....	88
4.2 Le problème environnemental du canal.....	90
4.3 La chute d'un projet non viable .....	92
<b>VIII) Vision globale de cette recherche.....</b>	<b>93</b>
1 Route du Nord ou canal de Suez : que choisir ?.....	93
2 Discussion.....	95
<b>IX) Conclusion finale .....</b>	<b>96</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>99</b>

## Liste des figures

Figure 1 Les Types de Glaces : (A) Nouvelles glaces, (B) Nilas, (C) Jeunes glaces, (D) Glace de première année, (E) Vieilles glaces.....	5
Figure 2 : Forme de glaces, (A) Glace en crêpes, (B) Floe, (C) Sarrasin (Brash) .	7
Figure 3 Diatomées pénales .....	8
Figure 4 Mammifères marins, (A) Narval, (B) Baleine boréale, (C) Beluga, (D) Baleine de Minck .....	10
Figure 5 Carex Source.....	11
Figure 6 Les routes de l'Est et Ouest.....	13
Figure 7 Oiseau ingérant du plastique .....	19
Figure 8 Oiseau piégé dans une marée noire.....	24
Figure 9 vision globale du corridor : mer de Barents et mer de Kara .....	32
Figure 10 vision globale du corridor : mer de Kara et Tiksi.....	33
Figure 11 vision globale du corridor : Mer de Laptev et mer de Sibérie.....	35
Figure 12 vision globale corridor : Pevek et détroit de Béring Source .....	36
Figure 13 Système de report .....	42
Figure 14 centre de secours mondial.....	45
Figure 15 zone de compétence du CROSS Corsen.....	47
Figure 16 anomalie de la température moyenne sur la période octobre-septembre.....	51
Figure 17 concentration glaciaire octobre au 15/10/2019 .....	52
Figure 18 concentration glaciaire le 15/10/2002 .....	53
Figure 19 L'étendu de la banquise .....	54
Figure 20 concentrateur cylindro-parabolique .....	56
Figure 21 Scrubbers .....	62
Figure 22 simulation vitesse, efficacité énergétique selon la concentration de glace .....	63
Figure 23 Carte piraterie 2019 .....	68
Figure 24 trafic canal de suez décembre 2019.....	69
Figure 25 Brise-glace russe en opération de déglacage.....	73
Figure 26 Navire « normal » .....	77
Figure 27 Brise-glace .....	77
Figure 28 Suez toll .....	79
Figure 29 Canal de Panama .....	84
Figure 30 ralentisseur de courant .....	90

## Liste des tableaux

Tableau 1 Récapitulatif de la route à travers le corridor.....	38
Tableau 2 récapitulatif des différentes stations côtières sur le corridor .....	39
Tableau 3 tarifs Arctic Bills .....	43
Tableau 4 vitesse optimale selon la concentration de glace.....	63
Tableau 5 Bénéfices route de Suez .....	80
Tableau 6 Bénéfices corridor de L' Arctique.....	80
Tableau 7 top 5 des pays utilisant le canal de Panama en 2019.....	85
Tableau 8 dimensions Panamax/Neopanamax .....	85
Tableau 9 Bénéfices par le passage du canal de Panama .....	87
Tableau 10 Bénéfices par le passage par Cap Horn .....	87
Tableau 11 Navires cibles du canal de Nicaragua .....	89
Tableau 12 Tableau de choix route de l'arctique et suez. ....	93

## Listes des abréviations

ALRS : Admiralty List of Radio Signals  
ACAP : Arctic Contaminants Action Program  
AMAP : Arctic Monitoring and Assessment Programme  
CAFF : Conservation of Arctic Flora and Fauna  
CHNL : Centre for High North logistics  
CMA CGM : Compagnie Maritime d’Affrètement-Compagnie Générale Maritime  
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
CO<sub>2</sub> : Dioxydes de carbone  
COLREG : COLLision REGulations  
CP : Classe Polaire  
CPA :Closest Point of Approach  
C.R.O.S.S : Centre Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage  
DNV,GL : DET Norske Veritas and Germanischer Lloyd  
DST : Dispositif de Séparation du Trafic  
ECA : Emission Control Area  
EPPR : Emergency Prevention, Preparedness and Response  
GIEC : Groupe d’expert Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat  
GPS : Global Positioning System  
HF : Haute Fréquence  
HFO : Heavy Fuel Oil  
HKND : HK Nicaragua canal Developement investment  
ICC : International Chamber of Commerce  
IPEV : Institut Paul-Emile Victor  
LNG : Liquified Natural Gas  
LPG : Liquified Petroleum Gas  
Marpol : MARine POLLution  
MRCC : Marine Rescue Coordination Centre  
MRSC : Marine Rescue Sub Centre  
MV : Motor Vessel  
NOAA : National Oceanic Atmospheric Administration  
NOx : Oxyde d’azote  
OMI : Organisation Maritime International  
OTAN : Organisation du Traité de l’Atlantique  
PAME : Protection of the Arctic Marine Environment  
PIB : Produit Intérieur Brut  
POP : Pollutions Organiques Persistantes  
SAR : Search And Rescue  
SDWG : Sustainable Development Working Group  
SECA : Suplur Emission Control Area  
SOLAS : Safety Of Life At Sea  
SO<sub>2</sub> : dioxydes de souffre  
TCPA : Time of Closest Point of Approach  
UE : Union Européenne  
UNCLOS : United Nations Convention on the Law Of the Sea  
VTS : Vessel traffic service  
WWF : World Wild Life Fund

## **Introduction**

Le troisième millénaire théâtre de la mondialisation, génère des apports économiques considérables, mais aussi des problèmes environnementaux tout aussi considérables.

Avec plus de 8,7 milliards de tonnes de marchandises transportées en mer, le transport maritime représente 90% du transport mondial.

Aujourd'hui ce mode de transport arrive à ses limites (Verny, 2014) ; la taille grandissante des navires et leur nombre en constante augmentation induisent une saturation des routes classiques (Canal de Panama, canal de Suez, etc...). Le monde maritime se devait de trouver un moyen de réduire cette saturation, et les routes du cercle polaire apparaissent comme une solution de plus en plus évidente. En effet les routes de l'Arctique deviennent de plus en plus praticables et les bénéfices économiques sont intéressants pour les armateurs.

Toutefois même si l'exploitation de la région reste encore limitée, son augmentation inquiète les associations environnementales.

À travers cette thèse de master nous allons étudier les apports, le fonctionnement et les dangers sur l'environnement de cette nouvelle exploitation.

Pour cela la thèse se divisera en 2 grandes parties. La première partie traitera de la pollution des navires et l'environnement polaire ainsi que le contexte économique et géopolitique de cette région.

Ceci afin de répondre à la question : Quel sont les impacts économiques et environnementaux des routes de l'Arctique ?

Dans une seconde partie, l'étude se portera sur la création d'une nouvelle route à travers l'Arctique. Cette étude devra déterminer si une telle route est faisable et sous quelle condition.

## **I) Région polaire : un environnement**

### 1 Environnement polaire

Les régions polaires font partie des régions les plus hostiles du monde. Leur difficulté d'accès pour l'activité humaine rend propice le bon développement de l'environnement.

Cette région contient 10% des glaces continentales mondiales et cumule 7% des réserves d'eau douce sur terre (Educapoles).

La superficie est de 21 millions de km<sup>2</sup> dont 14 millions de km<sup>2</sup> pour l'océan Arctique. La profondeur maximale est de 4km, on y retrouve une chaîne de montagnes : la dorsale de Lomonosov rejoignant le nord du Groenland jusqu'aux îles de Sibérie (Institut Polaire Français).

A cause du changement climatique, la diminution de la banquise permet l'exploitation de cette zone par l'homme.

Depuis l'industrialisation du monde, on relève une augmentation considérable des températures moyennes de la Terre.

Le 7 avril 2009, la plaque de Wilkins s'est rompue. Avec une surface de 16000 km<sup>2</sup>, c'est le plus grand effondrement de glace jamais enregistré (Greenpeace France, 2018).

La fonte des glaces ne cesse d'augmenter chaque année. Depuis 2007, grâce au modèle de prévision d'un Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), on prévoit une diminution de 20 à 30% du permafrost dans l'hémisphère Nord pour la moitié du 21<sup>ème</sup> siècle (Anisimov, Lavrov & Reneva, 2005).

Le climat en Arctique peut varier selon la latitude, l'altitude et les phénomènes météorologiques locaux. Nous pouvons trouver des températures allant de -33 degrés dans le centre et -7 degrés proche des côtes. On envisage une augmentation variant entre 2 et 9 degrés d'ici la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle (Anisimov et al., 2007).

La circulation de l'eau dans l'océan Arctique a son importance dans la régulation du climat planétaire. Notamment avec le Gulf Stream, qui va amener l'eau de l'océan atlantique, plus chaude et avec une salinité différente, en contact avec l'eau de l'océan Arctique. Ceci va avoir pour effet une baisse des températures. Ce

phénomène se nomme la circulation thermo haline.

La glace recouvre 75% de la surface de l'océan, l'épaisseur varie entre 3 et 3,5 mètres et atteint les 10-12m pour les crêtes créées par le chevauchement de la glace par le vent.

Courants et vents vont transporter des pollutions organiques persistantes (POP's) et plus précisément des organo-halogènes pouvant affecter la faune, la flore et la vie humaine ( Brown, Macdonald, Muir , Letcher, 2017) .

Les vents catabatiques propres aux régions polaires, sont très forts avec un record de 320km/h (Escourrou, 1989) leur présence modifie considérablement la température ressentie.

Il y a trois courants principaux présents : les courants Atlantique, Pacifique et d'autres courants comme le Beaufort Gyre, qui est un courant circulaire se trouvant au centre de l'océan arctique (Brown, Macdonald, Muir, Letcher, 2017). L'orientation de ces courants est principalement Sud, ce qui concentre donc la pollution atmosphérique dans cette région. Ces courants vont jouer un rôle dans le transport de pollution mais seront surtout responsables de l'apport en plastique (Brown, Macdonald, Muir, Letcher, 2017).

### 1.1 Les types et formes de glaces

La glace sous ces différentes formes constitue le visage de l'Arctique. L'étude et l'analyse des glaces se fait grâce à la télédétection. Cette technologie utilise des capteurs aériens et des satellites et permet de recueillir de nombreuses informations sur les glaces tel que l'épaisseur et le type de glace. Au premier abord, la glace de l'Arctique paraît homogène mais c'est tout l'inverse. Elle va varier selon sa rugosité, son âge, sa formation.

On compte 5 types de glaces différents:

- Nouvelles glaces : Ce sont les glaces jeunes (figure n°1.a), récemment formées et dont les cristaux sont peu soudés ensemble. On la distingue normalement à l'état non structuré d'une épaisseur avoisinant 1 mètre à la surface de l'eau. Ce type regroupe Frasil, Sorbet, Gadoue et Shuga correspondant aux différents aspects de la glace (Gouvernement du Canada, 2013).

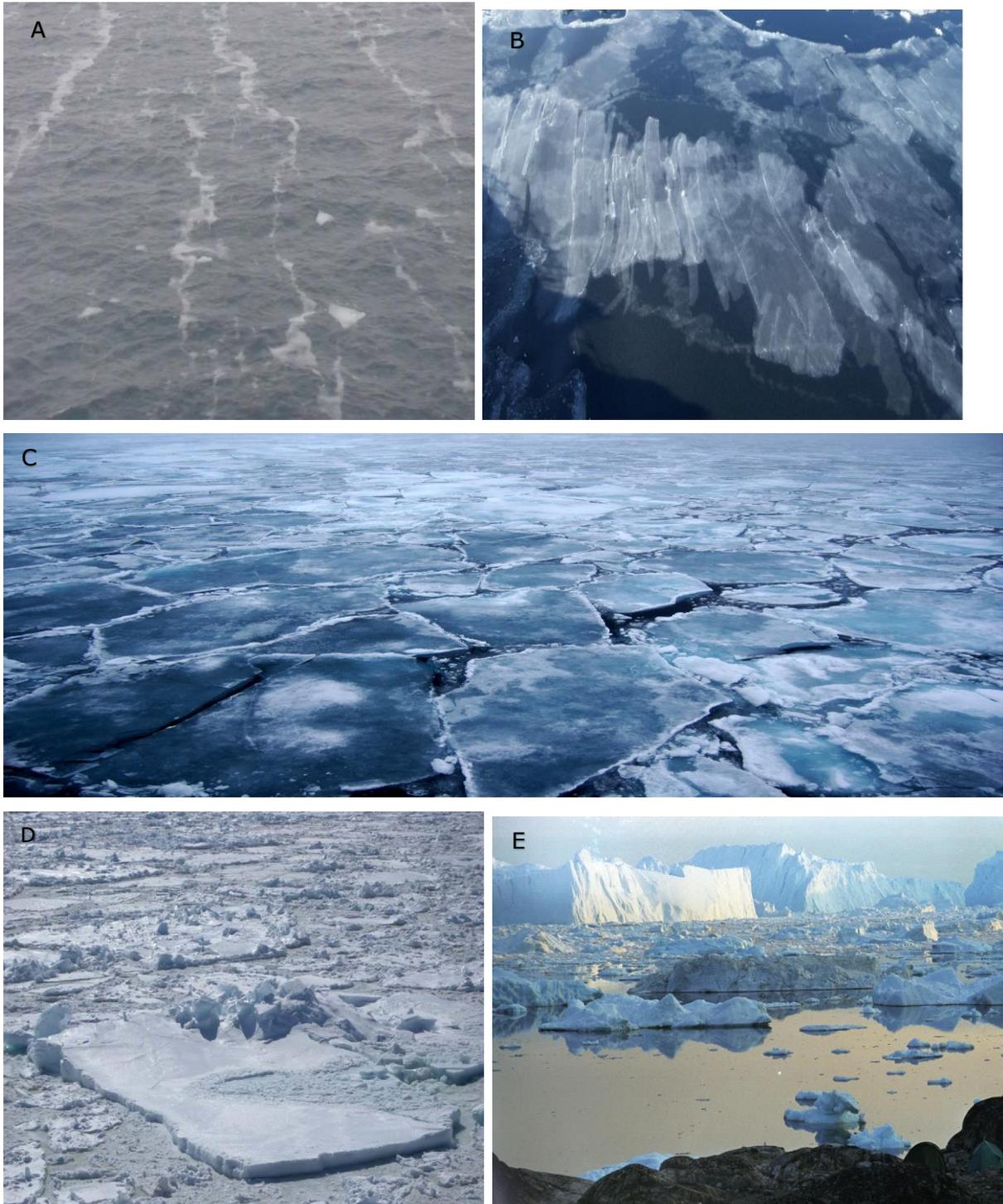
- Le Nilas : mince couche élastique ondulant facilement sous l'effet des vagues, de la houle ou dans le sillage des navires (figure n°1.b). Son épaisseur est de 10

centimètres et peut être une Nilas sombre ou clair (National Snow and Ice Data Center, 2020).

- Jeune glace (figure n°1.c) : elle se distingue par sa glace grise (épaisseur 10 à 15 cm), elle forme aussi de glace blanchâtre (épaisseur 15 à 30 cm). C'est un type transitoire entre le Nilas et la glace de première année (National Snow and Ice Data Center, 2020).

- Glace de première année : Aussi appelée glace blanche, elle a une épaisseur de 30 cm ou plus (figure n°1.d), elle a au moins un hiver de croissance. Elle peut être mince, moyennement épaisse ou épaisse. La façon la plus précise d'estimer cette épaisseur est d'observer les morceaux contre la coque du navire (Garde côtière canadienne, 2012).

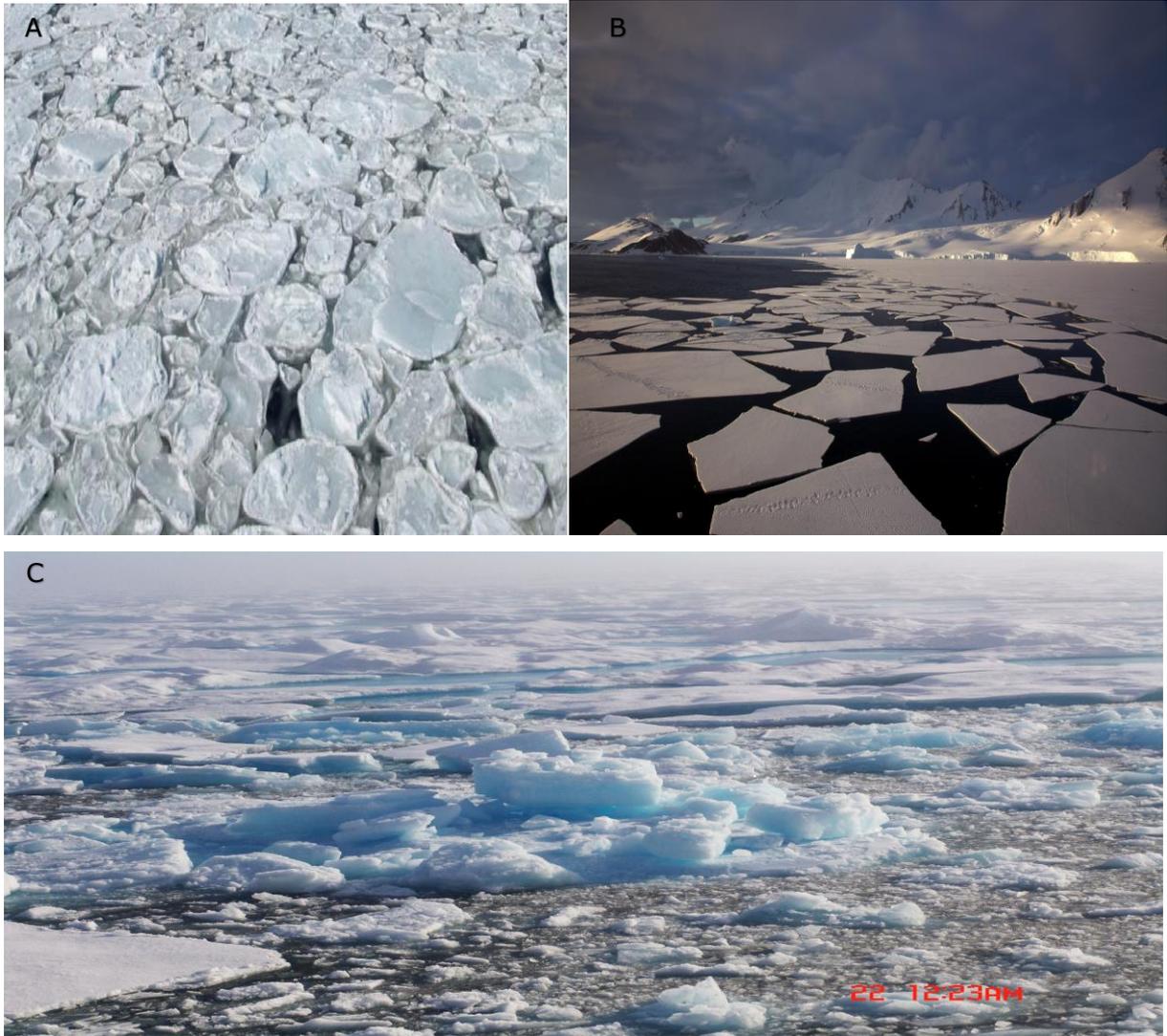
- Vieille glace : c'est une glace de plus d'un 1 an (figure n°1.e) ayant résisté à une saison de fonte, la période de fonte va donner une teinte plus sombre due à la création de mares (petite étendue d'eau douce) sur la glace ; celle-ci va absorber plus de rayonnement solaire que la glace blanche. En survivant à plusieurs périodes de fonte, elle va se former et gagner en épaisseur à travers le gel et le dégel ainsi que l'ondulation due à l'environnement. En moyenne son épaisseur est de 50 à 100 cm pour une glace de deuxième année (Garde côtière canadienne, aout 2012).



*Figure 1 Les Types de Glaces : (A) Nouvelles glaces Source : Garde côte canadienne (2012), (B) Nilas Source : Garde côte Canadienne (2012), (C) Jeunes glaces Source : Wikipédia (2009), (D) Glace de première année Source : Garde côte Canadienne (2012), (E) Vieilles glaces Source : Michael Haferkamp, wikipédia (2005)*

La glace de mer peut se trouver sous différentes formes en fonction des conditions extérieures ; on compte les quelques formes les plus communes dans la région Arctique :

- La glace en crêpe (figure n°2.a) : Morceaux de glace circulaire de diamètre compris entre 30 centimètres et 3 mètres et allant jusqu'à 10 centimètres d'épaisseur. Sa formation est due principalement à la houle ou les vagues par le biais de Gadoue, Sorbet, Shuga ou par la fragmentation de Nilas ou glace grise. Elle peut aussi se former en profondeur phénomène dû à la différence physique entre 2 masses d'eau (Gouvernement du Canada, 2013)).
- Sarrasins (ou Brash) : C'est une accumulation de glace flottante (figure n°2.c) dont les fragments n'ont pas plus de 2 mètres d'extension provenant de la dislocation d'autres glaces.
- Glaçons : tout fragment de glace relativement plat ayant moins de 20 mètres d'élargissement (Gouvernement du Canada, 2013).
- Floe (figure n°2.b): Ils regroupent tout fragment de glace de plus de 20 mètres d'élargissement horizontale, ils sont subdivisés selon leur grandeur :
  - Petit : De 20 à 100 m d'extension
  - Moyen : De 100 à 500 m d'extension
  - Grand : De 500 à 2000 m d'extension
  - Immense : De 2 à 10 km d'extension
  - Géant : Plus de 10 km d'extension
- Banquise côtière : Glace se formant le long de la côte où elle va rester fixe durant toute sa vie. Elle ne varie que selon la variation du niveau de la mer causée la plupart du temps par la marée, elle peut s'étendre sur de grandes distances. Elle peut être âgée de plus d'un an et si sa hauteur dépasse les deux mètres on l'appellera plateau de glace.
- Plateau de glace : elles prennent la forme d'une langue dont le point culminant est la côte et elle se déverse sur la mer, elle se forme grâce à l'accumulation de la neige. Le plateau de glace peut former une falaise de glace verticale, d'épaisseur variant de 50 à 600 mètres (National Snow and Ice Data Center, 2020).



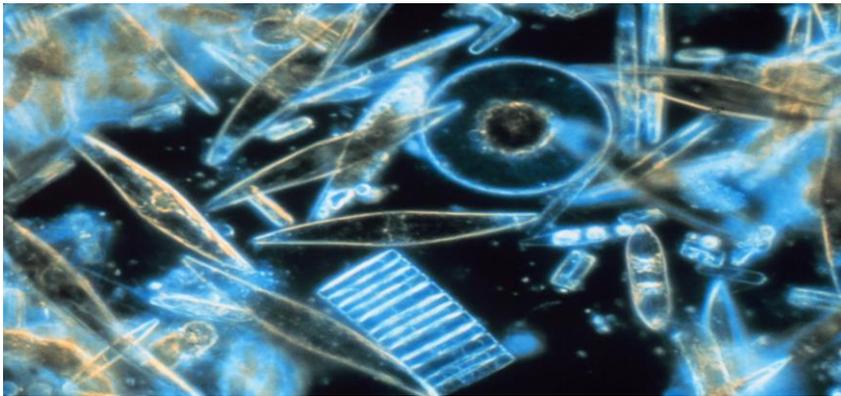
*Figure 2 : Forme de glaces, (A) Glace en crêpes Source Garde côtière canadienne (2012), (B) Floe Source : Jason Auch, Wikipédia( 2010), (C) Sarrasin (Brash) Source : DrPablo Clemente-Colon (2008)*

L'une des figures emblématiques du paysage de l'arctique est l'iceberg. C'est un morceau de glace se détachant d'un glacier, sa taille peut varier de façon spectaculaire, le plus gros iceberg rencontré à ce jour faisait la taille de la Belgique (« C'est pas sorcier », 2013). Les 4/5 de sa surface se trouve sous l'eau il n'est pas composé d'eau douce mais d'eau légèrement salée. Il est très craint de tous les marins navigants en arctique car il est très difficile à localiser au radar, à cause des courants et des vents sa position reste rarement fixe.

## 1.2 Une vie microscopique

D'un point de vue microscopique, la vie est présente dans la glace. Elle comporte bactéries, virus et petits organismes. La glace permet de protéger ces organismes. En outre, la population de ces organismes dépend de la température de façon positive ou négative.

Un exemple d'organisme très présent : les diatomées pénales (figure n°3), sorte de micro algue unicellulaire, permettent l'approvisionnement en ressource alimentaire.



*Figure 3 Diatomées pénales Source : Prof. Gordon T. Taylor, Stony Brook University , Wikipédia*

On distingue sur cette photo la diatomée pénales, reconnaissable par sa forme « allongée » et sa couleur jaunâtre.

On retrouve aussi des protistes hétérotrophes s'accumulant et pouvant atteindre des centaines de milliers d'individus par litre (Kaiser, Attril&al., 2011).

L'interaction entre les basses températures et la salinité élevée permet un changement dans la structure biochimique de ces organismes et améliore en outre la qualité de ressources alimentaires pour les protozoaires et métazoaires. L'augmentation de la température par l'activité humaine, diminuant en outre l'épaisseur de la glace et la teneur en sel de l'eau, agit sur l'apport nutritionnel de la chaîne alimentaire.

En profondeur, on dénombre plusieurs espèces de Benthos ; c'est un ensemble d'organismes aquatiques vivant à proximité du fonds des mers ou des océans.

Les blocs de glace et les changements de marées permettent de décrocher les petits organismes (mollusques, algues) qui se retrouvent par la suite proche des fonds marins. Cette communauté va surtout dépendre du changement de structure de la glace en fonction des températures.

On retrouve dans cette communauté des éponges, bryozoaires, échinodermes, etc... (Kaiser,Attril&al., 2011).

Ils se nourrissent d'éléments nutritifs en suspension dans l'eau pendant la période Printemps-Automne. En hiver c'est la re-suspension des sédiments ou des matériels organiques riches qui permettent à ces espèces de se nourrir.

Les benthos sont de bien plus grande taille que leurs homologues hors régions polaires, nous pouvons retrouver des espèces comme l'araignée de mer étant cent fois plus grande que leurs consœurs européennes.

Une température basse va réduire le taux de métabolisme qui va avoir pour résultat un accroissement de la longévité. De plus l'apport en oxygène étant plus faible en eau froide, il peut avoir un effet sur le gigantisme des espèces marines en région polaire.

Les ballasts des navires peuvent être une source enrichissante ou un danger pour les benthos. En effet les ballasts peuvent apporter des organismes vivants qui très vite peuvent devenir envahissants. La présence de plastiques déposés au fond détruit le mode de vie des benthos.

### 1.3 Faune et flore polaire

Les stars des régions polaires sont les animaux et les oiseaux, très convoités par de nombreux touristes et scientifiques.

La glace permet d'avoir une structure solide et protectrice pour la reproduction des populations polaires comme le phoque ou le pingouin empereur.

La glace permet aussi aux oiseaux de venir s'y poser pour renouveler leur plumage et procure une zone protectrice à l'encontre de certains prédateurs aquatiques comme les orques.

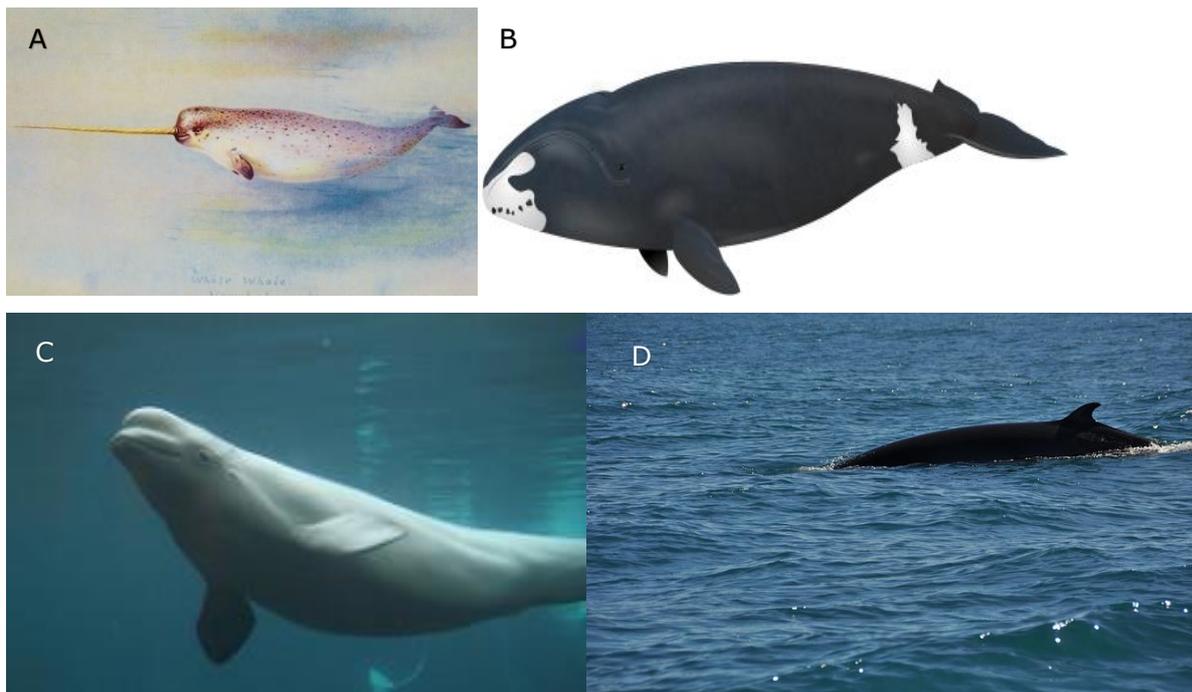
Ainsi, la chaîne alimentaire propre à cette région agit avec à la base le plancton qui va nourrir les poissons qui à leur tour vont nourrir les prédateurs (phoques, pingouins).

L'animal emblématique de cette région est l'ours polaire, c'est le plus grand carnivore terrestre. Il passe la grande majorité de son existence sur la banquise qui lui fournit une plateforme pour attraper des phoques, il est aussi un très bon nageur.

On ne connaît pas avec certitude sa population, car ce mammifère peut se déplacer sur de grandes distances et le comptage est difficile. L'ours polaire est le premier exemple quand on parle des victimes de l'amointrissement de la banquise due au réchauffement climatique ; sa population est en déclin.

Les eaux polaires sont aussi pourvues de différentes sortes de baleines qui chaque année, migrent dans ces régions reculées jusqu'en automne.

En Arctique, on retrouve des Belugas, Baleine de Minke, Narval et Baleine Boréal (Kaiser, Barnes&al., 2011).



*Figure 4 Mammifères marins, (A) Narval Source : Domaine publique, (B) Baleine boréale Source : Domaine publique, (C) Beluga Source : Wendell Reed (2010), (D) Baleine de Minck Source : Domaine publique*

Celles-ci vont casser la glace pour respirer et vont se nourrir de plancton. Leur présence permet de réduire celle des orques et donner donc un peu de répit aux autres animaux aquatiques dont l'orque est le prédateur.

Au niveau végétal, on ne recense aucune espèce végétale sur la banquise.

La flore s'épanouie exclusivement sur les terres de l'Arctique principalement représentée par la toundra.

Il est très difficile pour un organisme végétal de creuser ces racines dans les sols gelés ; la luminosité est très basse et on constate de très faibles précipitations de neige fondue (15 à 20 cm par an) produisant des caractéristiques de vie similaires aux régions désertiques ; c'est pour cela que la population végétale est très faible (Kankaanpää, 2001).

Selon la fédération canadienne de la faune (2012), on compte néanmoins 2000 espèces de plantes dans la toundra, constituées principalement de plantes à fleurs, mousses, des carex ou laïches.



*Figure 5 Carex Source : Derek Ramsey, Wikipédia (2006)*

On peut trouver quelques arbres ; comme le bouleau ou le saule poussant à l'horizontal au lieu de la verticale. Ces végétaux ont dû s'adapter au faible apport en nutriments des sols, aux vents violents et à la faible humidité (Kankaanpää, 2001).

L'écosystème polaire est fragile, rare et doit être préservé. La question se pose donc de l'impact d'un trafic maritime régulier sur cet environnement. Mais tout d'abord essayons de comprendre le contexte géopolitique et économique promettant l'ouverture de voie maritime dans le grand Nord.

## **II) Contexte historique et économique**

### 1 Les routes de l'Arctique

Comme notifié précédemment (§I, 1), le réchauffement global de la terre induit une impressionnante et fulgurante fonte des glaces dans les régions polaires.

Un problème récent se rajoute et qui change considérablement le paysage de l'Arctique : l'exploitation des ressources naturelles.

D'une part l'exploitation pétrolière induit de nombreux forages, car l'Arctique est l'une des plus grosses réserves mondiales de pétrole (Eschard, Vially, & Bénard, 2011) et d'autre part l'extraction des minerais exploités par les pays limitrophes de cette région (Têtu, Mottet & Lasserre, 2015).

Ces nouvelles exploitations sont une véritable aubaine économique mais les répercussions écologiques qui en résultent sont inquiétantes.

La navigation polaire va pouvoir être facilitée ; prenons exemple de la route du Nord Est.

En été entre 2010- 2020 la concentration de mer glacée est de 70 à 100 % cette glace est compacte et solide, dans la majorité des cas un brise-glace sera demandé afin de créer un passage sans risque.

En 2030 la concentration de glace serait de 40-60%, ce qui permettrait un passage sûr pour les navires ayant des caractéristiques nécessaires au niveau de leur coque et de leur moyen de propulsion, leur permettant naviguer avec une certaine concentration de glace.

Après 2050, les glaces d'été seront fortement réduites avec une épaisseur inférieure à 0,2m assurant une navigation sûre à tout type de navire (Aksenov, Popova&al., 2017).

Les navires vont jouer un rôle catalyseur dans le phénomène de fonte des glaces ; en effet les rejets des cheminées vont se poser sur la glace et augmenter ainsi le rayonnement du soleil sur la glace entraînant une fonte plus rapide de celle-ci (Kappenberger, 2018).

#### 1.1 Découverte

Nous distinguons deux routes praticables (figure n°6), communément dites « passage », d'une part le passage Nord-ouest long de 1500 km reliant le nord-

est américain au nord-est asiatique. Le trajet se trouve au bord des côtes du Groenland, du Canada et de l'Alaska, débouchant ainsi dans le pacifique par le détroit de Béring.

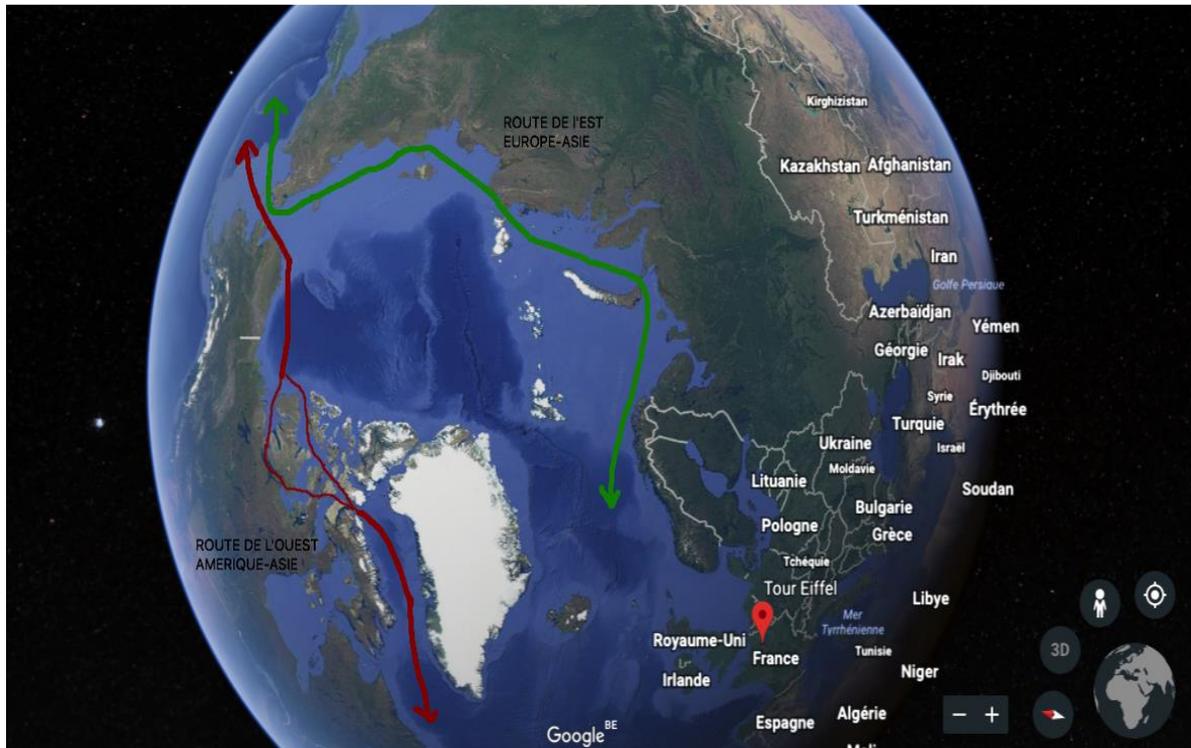


Figure 6 Les routes de l'Est et Ouest Source : Google Earth, travail personnel, (2018)

La seconde route est le passage du Nord Est qui longe les côtes russes et norvégiennes reliant ainsi l'Europe du nord-ouest à l'Asie orientale.

C'est en 1616 que la découverte du passage du Nord-ouest par William Baffin fut faite mais cette découverte sera authentifiée en 1853 par l'anglais Robert Maclure. Le passage du Nord Est sera quant à lui découvert en 1878.

Ce n'est que récemment que ces routes sont utilisées. La plus fréquentée est la route du nord-est car elle est plus facile d'accès par rapport à la route du nord-ouest souvent impraticable à cause d'une forte couche de glace sur les voies navigables.

## 1.2 Création des nouvelles routes

C'est au XVI<sup>ème</sup> siècle que les Européens comprennent l'importance d'une nouvelle route plus rapide vers l'Asie. Le passage du Nord Est a fait l'objet de convoitises pour les grands explorateurs partant à la découverte d'un nouveau monde. Son exploration a pris fin en 1845 après une succession d'échecs.

La même histoire pour le passage du Nord-Ouest se réécrit au XX<sup>ème</sup> siècle avec le pétrolier américain « Manhattan » et sa coque renforcée qui lui permet de transporter le pétrole découvert en Alaska (Lasserre, 2010).

Ce n'est qu'au XXI<sup>ème</sup> siècle que l'utilisation du passage par l'Arctique prend son essor avec le secteur marchand du monde maritime.

La création de ces nouvelles routes dans l'arctique est due au réchauffement climatique que connaît la planète.

L'augmentation des températures océaniques et atmosphériques entraîne une diminution de la calotte glacière de l'ordre de 2,7% par décennie. Cette diminution des couches de glace a permis la mise en service de navires marchands sur ce secteur sans causer de dégâts aux navires et par conséquent, apporter de nombreux avantages financiers aux compagnies et pays qui exploitent ces nouvelles routes (Verny, 2014).

Le monde maritime reste convaincu que ces routes maritimes seront utilisables toute l'année dans les prochaines années du fait de l'augmentation du phénomène climatique.

## 2 L'arctique et la globalisation

### 2.1 Contexte économique

La grande majorité du trafic mondial passe par la voie des mers, ce qui impose donc au secteur maritime un renouvellement constant afin d'être au niveau économique, écologique et technologique imposé par les temps modernes.

Les routes maritimes traditionnelles ont peu changé depuis l'ouverture du canal de Suez et du Panama.

L'augmentation de la demande due à une forte mondialisation oblige ce secteur à s'adapter pour répondre à la demande ; c'est ainsi que les routes de l'Arctique ont commencées à être utilisées. En effet ces routes permettent de ne pas passer par

les routes traditionnelles qui sont saturées. Elles permettent aussi un gain de temps et une diminution de la consommation de carburant pour les navires.

À titre de comparaison, le trajet Tokyo-Rotterdam via le Canal de Suez est de 21 200 km soit 30 jours de navigation et un coût moyen de carburant s'élevant à 1 008 000 USD ; ce même trajet effectué via la route du Nord-Est arctique est de 13 500 km soit 19 jours de navigation et un coût moyen s'élevant à 798 000 USD soit un gain de 20,8% par rapport à la route traditionnelle (Verny, 2014).

En analysant le nombre de transits entre 2015 et 2016, données par le Centre for High North logistics (CHNL) pour le passage du Nord-Est, on remarque une nette augmentation du transport de cargaison. Il passe de 39 586 tonnes métriques en 2015 à 214 513 tonnes métriques en 2016, soit une augmentation de 22,6%.

Ces routes polaires sont économiquement très intéressantes sur les relations Asie-Europe pour des ports situés à une latitude supérieure à 30° Nord comme Le Havre, Hambourg, Anvers, Tokyo, Shanghai (Verny, 2014).

L'un des problèmes majeurs de ces routes est la restriction au niveau de la taille des navires et par conséquent la quantité de cargaison transportée due à la faible profondeur des détroits à l'Est (6,7 mètres au détroit de Dmitri Laptev) (Lasserre, 2010).

S'ajoutant à ce problème, le risque de navigation dans ce milieu reculé induit une augmentation du prix des assurances pour les navires navigants sur ces routes. Pour le ralliement au port de Churchill dans la baie d'Hudson situé dans la zone subarctique du Canada la surprime s'élève à 15% chez la Lloyd's. En outre certaines assurances refusent d'assurer les navires ordinaires (non type glace) voulant emprunter ces routes Arctiques (Lasserre, 2010).

## 2.2 Contexte géopolitique

L'ouverture de ces nouvelles routes a engendré des tensions et des convoitises entre les 5 pays riverains du cercle polaire (La Russie, Le Danemark, Le Canada, Les États-Unis et la Norvège).

Ce n'est qu'en 1991 après la chute de l'Union Soviétique que les tensions internationales ont diminué, permettant ainsi l'ouverture des routes du Nord.

Mais avec l'augmentation constante du trafic maritime, chaque pays veut mettre la main sur cette économie fleurissante. Cette économie bénéficierait aux

compagnies nationales et à la croissance de ces 5 pays sans compter la récente découverte de grandes réserves de pétrole dans les sols du cercle polaire.

Cette réserve est évaluée à 22% des ressources énergétiques exploitables selon le United States Geological Survey. C'est donc une immense course au pouvoir économique qui se joue dans le cercle polaire. Cette « bataille » se joue aussi au-delà des latitudes avec la Chine, le Japon et l'Union Européenne qui veulent eux aussi exploiter cette région.

D'un point de vue territorial, on retrouve les mêmes conflits d'intérêts autour du globe. Le Canada et la Russie ont tous deux de nombreuses îles et ont donc un statut d'eau archipel mais chacun d'eux revendique par le biais de ces îles un statut d'eau intérieure et exerce donc un droit absolu sur ces eaux ; ce qui fâche le gouvernement nord-américain qui défend un passage de droit international ouvert à tous (Lasserre, 2010).

Le Canada ne veut pas utiliser ce droit afin d'interdire la navigation mais plutôt l'utiliser comme un outil permettant de réglementer cette zone pour préserver l'environnement (Lasserre, 2013).

Afin de répondre aux demandes des différents gouvernements des pays limitrophes ou ayant une partie de territoire dans le cercle arctique, ceux-ci ont créé en 1996 par la déclaration d'Ottawa, le « Conseil de l'Arctique ». Il s'agit d'une institution intergouvernementale comportant huit états membres : Suède, Etats-Unis, Canada, Russie, Islande, Danemark, Norvège et la Finlande.

Depuis 2013, la Chine, l'Inde, la Corée du Sud et la Pologne sont admis comme pays observateurs en raison de leur intérêt pour l'exploitation économique de ces régions.

La présidence du conseil tourne entre chaque état et chacun défend un projet qui lui tient un cœur (Lassere, 2014). Par exemple le Canada a choisi d'utiliser ses deux années de présidence à améliorer la sécurité du trafic maritime dans l'océan arctique.

Cette institution comporte six groupes de travail : Arctic Contaminants Action Program(ACAP), Arctic Monitoring and Assessment Programme(AMAP), Conservation of Arctic Flora and Fauna(CAFF), Emergency Prevention, Preparedness and Response(EPPR), Protection of the Arctic Marine Environment(PAME), Sustainable Development Working Group(SDWG).

Malgré cette collaboration, la revendication de territoires est toujours d'actualité (Maré, 2008) le Canada et la Russie réclament 1,2 millions de km<sup>2</sup>, les Etats-Unis 1 millions de km<sup>2</sup> et le Danemark 895000 km<sup>2</sup>.

Pour l'instant les dossiers sont toujours en cours de traitement, seule la Norvège a réussi à obtenir 235000 km<sup>2</sup> sur les 250000 km<sup>2</sup> qu'elle réclamait à la commission des limites de plateau continental (Le Monde, 2017).

Quel serait alors l'impact environnemental dans cette région dû à l'augmentation du trafic maritime boostée par l'économie à échelle locale et mondiale.

### **III) Description et conséquences de la pollution maritime**

#### 1 Pollution globale du navire

Le navire est le moyen de transport le plus efficace en quantité de marchandise. Ramené au kilo transporté, le transport maritime est souvent plus écologique que d'autres moyens comme les camions ou les avions.

Quoi qu'il en soit, les navires ne sont bien-sûr pas 100% vert, et ont donc un impact important sur la pollution de notre planète. La pollution est une contamination dangereuse pour l'écosystème en changeant le taux de développement et de reproduction des organismes vivants. Ils peuvent aussi apporter une modification physique qui change le courant énergétique de la radiation dans un environnement. Une espèce invasive peut être définie comme une pollution.

L'activité maritime représente 12% de la pollution globale du monde maritime, la majorité de la pollution venant des terres ou de l'atmosphère (Clark, 2001).

#### 1.1 Les déchets des navires

##### 1.1.1 Les déchets dégradables

Les déchets dégradables ne sont pas considérés comme nocifs pour notre environnement.

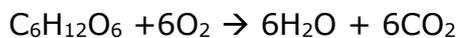
En faible quantité, c'est effectivement vrai ; ce type de déchets grâce à leur consistance en matériaux organiques contiennent des bactéries qui enrichissent l'écosystème ; elles sont la base de la chaîne alimentaire.

Le problème existe lorsque ces déchets s'accumulent en masse dans les eaux.

Si l'apport excède celui de la dégradation par les bactéries, les matériaux organiques vont s'accumuler. Cette accumulation produit une désoxygénation de l'eau induisant un important impact sur la faune et la flore marine.

Cette dégradation par les bactéries est le résultat de la respiration de molécules organiques en un composant inorganique stable (Clark, 2001). La plus commune est la bactérie aérobie utilisant l'oxygène présent dans l'eau.

La formule d'oxydation se présente comme suit :



Ce processus va avoir pour résultat une réduction de l'oxygène et une augmentation de la population bactérienne.

Certains déchets inorganiques quant à eux peuvent s'oxyder sans l'intervention de bactéries. Chaque constituant des déchets n'aura pas le même besoin en oxygène pour l'oxydation. Pour trouver la quantité d'oxygène propre à un déchet il faut prendre en compte la demande d'oxygène chimique et la demande d'oxygène biochimique.

Aujourd'hui les gouvernements tentent de réduire les déchets organiques mais ceci est un problème pour le monde maritime surtout pour la navigation en Arctique où le nombre de ports pour jeter les déchets est réduit par rapport aux routes principales.

Le déchet le plus commun dans le monde maritime est l'huile, résultat d'une fuite, un naufrage, ou un acte volontaire. Un grand nombre d'espèces vivantes sont tuées à cause d'une exposition à l'huile.

### 1.1.2 Les déchets solides

La plupart des déchets solides sont les plastiques produits par l'homme comme les cordages en nylon, les filets ou les outils de pêche. Les plastiques sont pour la plupart rejetés à l'eau par accident. 80% des plastiques présents dans la mer proviennent de la terre. Sur 5kg de déchets 1 kg finira dans les océans où sa dégradation prendra des siècles (Potters, 2013).

Les particules fines de ces déchets peuvent détériorer les structures respiratoires des animaux marins et réduire la photosynthèse des plantes aquatiques en bloquant la pénétration de la lumière.

Les plastiques peuvent recouvrir les petits organismes comme les algues et autres plantes. Les plus gros organismes peuvent quant à eux ingérer le plastique. La plupart des gros poissons et 59% des tortues échouées ont été retrouvés avec du plastique dans leurs systèmes digestif (Clark, 2001).

Les filets de pêche étant souvent composés de nylon rendent le filet quasiment indestructible et peuvent étrangler ou lacérer les espèces marines.

De plus, certains additifs toxiques présents dans le plastique (Bisphénol...) vont se répandre dans l'eau et ainsi entrer dans la chaîne alimentaire.

Le problème est que le plastique a été conçu pour résister à la dégradation causée par l'environnement et les UV. Il va néanmoins se diviser en petits morceaux à cause du sel rendant sa repêche plus compliquée et les animaux marins vont être plus enclins à avaler ces morceaux de plastique (figure n°7).



*Figure 7 Oiseau ingérant du plastique Source : Chris Jordan (2009)*

### 1.1.3 Les déchets conservatifs

Ce type de déchets regroupe les métaux lourds (zinc, cuivre,...), les hydrocarbures halogénés (pesticides, polychlorinés, biphényles...), les matériaux radioactifs.

Les métaux ne sont pas sujets aux attaques bactériennes et ne se dissipent pas dans l'environnement. Ils peuvent agir de différentes manières avec les espèces vivantes et souvent avec un effet nocif. Les organismes vivants ne parviennent pas à rejeter le métal présent en eux. On appelle cela une bioaccumulation et le déchet en question va augmenter sa concentration dans l'organisme jusqu'au moment où la limite létale sera atteinte.

Les hydrocarbures sont très peu solubles dans l'eau et peuvent donc s'accumuler en menaçant les animaux vivants à la surface. L'hydrocarbure va entrer dans la chaîne alimentaire, ainsi des traces d'hydrocarbures sont retrouvées dans l'organisme de nombreux animaux marins. Ils vont de plus perturber la fécondation et la fixation des larves planula<sup>1</sup> sur les récifs de coraux (Ramade & Roche, 2006).

Les déchets radioactifs sont eux aussi très peu solubles dans l'eau : ils vont se retrouver absorbés par certaines matières et vont s'accumuler dans les sédiments ; ce qui va rendre l'eau de mer radioactive. La dose létale peut être décelée après plusieurs générations rendant la tâche difficile.

Tous ces types de déchets peuvent se retrouver dans l'océan Arctique qui jusqu'à présent, était dépourvu de traces de déchets. Ces déchets représentent une réelle menace pour la faune polaire qui va les associer à son schéma nutritif.

<sup>1</sup> larve aplatie qui va se fixer sur les rochers ainsi créer les récifs de coraux.

## 1.2 Le navire

### 1.2.1 Les machines

La salle des machines est pourvue d'un incinérateur de déchets afin de réduire les déchets et éviter que ceux-ci se retrouvent par-dessus bord. Mais l'incinération relâche du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et les oxydes d'azotes (NO<sub>x</sub>) (Jahangiri et al., 2017) qui sont responsables du

réchauffement de l'atmosphère et de la formation de pluies acides. En outre le système de refroidissement peut toujours utiliser le fréon ou d'autres chlorofluorocarbones et les extincteurs peuvent utiliser du gaz halon.

Ces utilisations ne sont pas recommandées et ont tendance à disparaître du monde maritime car elles ont un effet nocif sur la couche d'ozone.

L'eau de cale (bilge water) rejetée à la mer peut contenir pétrole, détergents, solvants, urines et produits chimiques (Magnusson et al., 2018).

Selon MARPOL la quantité de ces polluants rejetés à la mer ne doit pas excéder 15 parties par million (ppm). Ces rejets vont accentuer la fonte des glaces déjà bien présente du fait de la pollution humaine.

### 1.2.2 Pollution biologique

Avec l'eau de ballast, le navire peut transporter des espèces présentes dans l'eau d'une région géographique à une autre région. C'est ainsi qu'on voit apparaître des espèces invasives qui peuvent porter préjudice aux espèces déjà présentes (Hallegraeff & Bolch, 1991).

Certains organismes peuvent s'accrocher à la coque du navire, bien qu'il existe des peintures qui essaient de prévenir cette situation, celles-ci ne sont pas efficaces à 100% et on retrouve donc le même schéma d'invasion que pour l'eau de ballast.

Certaines espèces viables dans l'eau de l'Arctique (organismes provenant de l'Antarctique, de la mer Baltique, ou toute autre région froide du globe) vont s'approprier les lieux et provoquer dans certains cas le déclin d'autres espèces environnantes.

Un exemple actuel est la surpopulation du crabe du Kamtchatka qui envahit la côte Norvégienne et migre vers les côtes de l'Europe de l'Ouest.

### 1.2.3 La coque du navire

Comme présenté dans la partie précédente, la coque est peinte pour éviter que les organismes s'accrochent dessus. Ces peintures sont composées de produits chimiques polluants comme le biocide qui tue les organismes marins (Batista-Andrade, 2018).

Le zinc et l'aluminium provenant de l'anode anti corrosif sont des métaux hautement actifs qui permettent de réduire la corrosion de la coque. Cette anode va se consumer à la place du métal de la coque, c'est ainsi que le zinc et l'aluminium vont se dissoudre dans l'eau.

#### 1.2.4 Pollution atmosphérique du navire

Les navires relâchent dans l'atmosphère des Oxydes de Soufre SO<sub>x</sub> et Oxydes d'Azote NO<sub>x</sub>. On attribue aux navires 15% des NO<sub>x</sub> et 5 à 8 % des SO<sub>x</sub> relâchés dans l'atmosphère.

Le NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub> pénètrent dans les plus fines ramifications respiratoires pouvant entraîner des dégradations respiratoires, une hyperactivité des bronches pour les personnes asthmatiques ou une augmentation de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les enfants. La raison majeure de ces émissions est l'utilisation du fuel lourd comme carburant. En Arctique les populations humaines, la faune et la flore pourront souffrir de ce problème dans des périodes de vents faible.

Les navires rejettent d'autre-part du monoxyde de carbone, de l'acide bicinchonique, des sulfates et des polyoxométallates (Corbett, Winebrake&al, 2007). Ces éléments très nocifs et cancérigènes, sont responsables d'un grand nombre de problèmes de santé comme l'asthme, les attaques cardiaques, le cancer des poumons. Ils induisent donc un risque pour les populations animales et humaines dans ces régions normalement épargnées par ce genre de problème.

Autour des navires on compte 100 fois plus de particules fines qu'ailleurs, un navire émet en moyenne l'équivalent par jour d'un million de voitures. En Europe la pollution de l'air par le transport maritime serait responsable de 60 000 morts par an (France Nature environnement, 2015).

### 1.2.5 La pollution sonore du navire

Les passages de navires dans les régions polaires de l'Arctique induisent une augmentation importante du bruit alentours des routes maritimes, et ce d'autant plus, que cette région est naturellement beaucoup moins soumise au bruit qu'ailleurs.

Les animaux Arctiques sont très vulnérables car grand nombre d'entre eux utilisent le bruit pour communiquer et survivre, il est donc plus facile pour eux de se développer dans un environnement calme.

Une étude californienne a pu démontrer que l'augmentation du trafic maritime est responsable d'une augmentation de 2,5 à 3 Décibels tous les 10 ans (Andrew & al., 2002); McDonald et al., 2006).

Un navire à lui seul peut émettre un bruit sonore de 200 Décibels. La « National Oceanic and Atmospheric Administration » (NOAA) stipule qu'un animal commence à être gêné à partir d'une nuisance sonore s'élevant à 120 Décibels.

Un navire très bruyant peut être entendu sous l'eau à une distance dépassant les 100kms. Le comportement animal peut être dérangé jusqu'à 2 kms d'un brise-glace et 52 kms d'un pétrolier (Halliday, Insley, Hilliard&al., 2017).

L'épaisseur de la glace étouffe certains bruits nuisibles comme le vent (connu pour être très fort dans ces régions). Les glaces ne permettant la navigation des navires dans l'arctique que pendant la période Août – Octobre (Halliday, Insley, Hilliard&al., 2017), le trafic maritime n'est donc actif que pendant une courte période. On peut donc estimer de façon rationnelle que les nuisances sonores ont encore très peu d'effets.

Mais cela peut changer ; la fonte des glaces liée au réchauffement climatique, permettra d'accroître la navigation dans cette région peuplée de nombreux animaux dont la survie est déjà très menacée.

### 1.2.6 Le déversement de pétrole

Chaque marée noire causée par un accident de navire (nauffrage, collision, etc...) induit d'énormes conséquences sur la biologie et l'environnement marin.

Le pétrole est un mixe de plusieurs composés chimiques principalement les atomes de carbone et d'hydrogène. Il se divise en catégories correspondant à sa

gravité spécifique ; on parle de pétroles dit « persistants » et de pétroles « non-persistants ».

La marée noire va se répandre sur une surface variant en fonction de sa viscosité. La portion la plus légère va s'évaporer grâce aux rayonnements du soleil. Une autre partie va subir une émulsion avec l'eau due aux vagues. Les parties restantes vont se dissoudre ou se diluer dans l'eau, ou bien vont couler et se sédimenter au fond des mers (Laubier, 2004).

Ces procédés d'élimination sont naturels mais ils sont pour la plupart très lents ou incomplets et menacent la vie marine, c'est pour cela que des protocoles de nettoyage sont en vigueur dans chaque pays maritime. L'impact sur la faune et la flore est destructif ; il va affecter la chaîne alimentaire, détruire des espèces, diminuer la fécondité.

Les oiseaux vont s'asphyxier en se retrouvant emprisonnés dans le pétrole (figure n°8) et les survivants vont ingérer du pétrole en faisant leur toilette ou en mangeant des aliments contaminés par le pétrole. Le mazout ou pétrole raffiné va provoquer la perte des plumes, l'oiseau va ainsi rencontrer des difficultés à voler et il perdra une importante protection thermique qui peut donc causer une hypothermie.

Les effets internes d'une ingestion de pétrole pour les animaux sont nombreux : destruction des globules rouges, pneumonie, diminution de la fertilité et de la taille des coquilles d'œufs, dommages au foie, à l'intestin et aux glandes surrénales. Certains animaux marins peuvent avoir un changement de comportement lié à l'apparition de stress dû à l'exposition surprise au pétrole (Monnat, 1978).

L'environnement Arctiques a été plutôt épargné par rapport aux autres régions mais l'augmentation du trafic maritime peut augmenter les risques.



*Figure 8 Oiseau piégé dans une marée noire Source : Igor Goluenkov (2007)*

### 1.2.7 La pollution visuelle

La pollution dite visuelle est plus une formulation pour montrer que l'introduction de navires dans une région où la nature est préservée n'apporte en rien un bénéfice esthétique à cette région. De plus le passage des navires brise la formation de la glace, ce qui détruit l'habitat des animaux terrestres comme le phoque ou l'ours polaire. Les routes maritimes qui passent sur des zones de reproduction ou de chasse peuvent avoir de lourdes conséquences sur le développement démographique d'espèces en cassant la glace ou en effrayant les habitants de cette zone. Il n'est pas exclu que des débris passant par-dessus bord et qui se retrouvent sur la glace soient avalés par des animaux, et peuvent induire des dommages sur la santé de ceux-ci. De plus les navires vont briser la glace de tout part, détruisant ainsi le paysage de la banquise.

## 2 Marpol et lutte contre la pollution

### 2.1 Bio carburant

Depuis quelques temps les différentes compagnies maritimes ou groupes spécialisés dans le transport maritime développent les biocarburants dans le transport maritime.

Un groupe néerlandais « Royal Boskalis » a effectué des tests pendant 6 mois sur l'un de ses navires. Les résultats sont sans équivoque : les rejets de CO<sub>2</sub> peuvent être réduits de 80% à 90%, sans émission de soufre, la diminution d'azote quant à elle serait moindre, aux alentours de 10% et 50% de réduction pour les particules fines.

Le biocarburant est dans la classe des carburants liquides dérivés de la biomasse, celui-ci va fournir un gain d'énergie par rapport au carburant fossile. On prévoit une augmentation de 5 à 10% des biocarburants dans le monde maritime d'ici 2030 (ENL-France, 2016).

## 2.2 Gestion des déchets à bord, Marpol annexe V

Dans un premier temps la gestion des déchets à bord est influencée par la disponibilité des installations dans les zones portuaires. Les gouvernements sont donc obligés de mettre en place des installations adéquates permettant la réception des déchets. L'un des problèmes est que le nombre de ports est réduit dans les régions polaires et le compartiment de stockage des ordures a une capacité limitée.

L'utilisation d'incinérateur est une option mais elle est polluante pour l'atmosphère. Les ports peuvent aussi contrôler les navires étrangers s'ils pensent que ceux-ci n'ont pas respecté les méthodes demandées de prévention de la pollution par les ordures.

Les navires ayant une jauge brute supérieur ou égale à 100 et tout navire transportant 15 personnes ou plus doivent être munis d'un plan de gestion des déchets (registre à jour des déchets rejetés ou incinérés).

Concernant les résidus de cargaison, seuls les résidus ne pouvant être traités avec les techniques modernes à disposition peuvent être évacués par-dessus bord.

La plupart des navires organisent à leur bord un tri des déchets ; avec une séparation des ordures organiques, des plastiques, et des papiers.

Le point inquiétant est que pour l'instant la région Arctique ne figure pas parmi les zones spéciales de l'annexe 5 de Marpol vis à vis des ordures. Ces zones spéciales sont désignées ainsi à cause de leurs spécificités océanographiques et écologiques, elles doivent être munies de méthodes obligatoires particulières pour prévenir la pollution des mers.

Actuellement seule la région Antarctique est qualifiée de zone spéciale. Connaissant la fragilité de l'environnement de la région Arctique, celle-ci devrait être qualifiée « zone spéciale » avant l'ouverture constante des routes du Nord et la surexploitation maritime.

## 2.3 Une pollution contrôlée

La convention sur le changement climatique de Copenhague en 2009 stipule que pour baisser l'effet de serre dû aux émissions mondiales et plafonner

l'augmentation de température mondiale à 2 degrés, l'émission des navires doit elle aussi être limitée.

Du fait de l'augmentation de la flotte maritime mondiale, l'émission due aux navires augmentera entre 20-60% en 2050.

Pour éviter une telle augmentation, la flotte maritime doit réduire ces émissions de 2,6% par an dans la période 2020-2050 (convention des Nations Unies sur le changement climatique, 2009). Cette réduction du taux d'émissions peut être atteinte en utilisant des carburants à faible émission comme le Liquified Natural Gas (LNG), l'hydrogène, le biocarburant ou grâce à la propulsion solaire ou éolienne.

La navigation sur les routes maritimes polaires peut contribuer à réduire ce taux. En effet comme vu précédemment, l'utilisation de ces routes diminue considérablement le temps de trajet et donc la consommation de carburant et le taux d'émission. On peut estimer à 40% la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> en empruntant les routes de l'arctique (Aksenov, Popova&al., 2017).

Récemment de nouvelles techniques sont mises en place afin de nettoyer les mers et les océans.

Le projet Manta créée par la compagnie « the Sea Cleaner » a pour but d'utiliser un navire de type catamaran de 70 mètres de long, autonome en énergie afin de ramasser, trier et compacter les déchets à la surface de l'eau avant que ceux-ci ne coulent ou soient absorbés par les animaux marins (Sea cleaner).

Dans un contexte différent, des chercheurs britanniques ont trouvé une bactérie « *Ideonella sakaiensis* » qui absorbe le plastique, son émancipation dans les océans est pour l'instant visionnaire mais elle annonce de nouvelles perspectives pour le nettoyage des océans (Yoshida, Hiraga&al., 2016).

À quai, les navires produisent leur propre énergie (maintenance, chauffage, appareils électriques etc...). Cette production génère des émissions évacuées par les cheminées des navires, et ont un réel impact sur l'environnement proche. Certains ports, comme celui de Marseille, ont commencé à brancher au réseau électrique la plupart des navires qui accostent afin que ceux-ci n'utilisent pas les cheminées à quai. Ce genre d'utilisation dans les quelques ports présents dans le cercle Arctique serait une première avancée.

La garde côte canadienne a relevé 100 déversements de carburants divers dans ses eaux entre 2002 et 2013. Dans cet ordre le ministère du Canada travaille afin de produire des cartes marines, déployer et entretenir l'aide à la navigation, fournir

des informations météorologiques et glaciologiques, fournir un service de déglacement, surveiller et contrôler le trafic maritime. D'un point de vue plus global le Conseil de l'Arctique s'est réuni en Finlande en mars 2018 afin de mettre en place l'amélioration des informations météorologiques et la télécommunication dans le cercle Arctique. Ceci en promouvant la coopération des gouvernements et l'amélioration des structures (conseil de l'arctique, mars 2018). Le conseil de l'arctique permet de réunir à une même table les différents pays polaires ayant des intérêts partagés dans cette région.

#### **IV) Conclusion**

L'Arctique se rapproche de l'épicentre économique, et devient un enjeu géopolitique pour tout pays voulant contrôler cette zone.

Sa capacité de ressources est très importante et une bonne partie n'a pas encore été découverte. Grand nombre de pays veulent mettre la main sur ces ressources et cela ne se réduit pas aux pays limitrophes mais aussi aux pays Européens et Asiatiques.

La navigation dans ces eaux reste limitée à quelques mois dans l'année mais elle n'en reste pas moins une navigation dangereuse, du fait de conditions climatiques rudes et une isolation extrême. Cependant si le trajet se déroule sans problème, un important temps de navigation est gagné et une forte somme d'argent économisée.

Bien qu'à première vue cette activité semble idéale, elle n'en reste pas moins un réel danger pour l'environnement. L'écosystème de la zone arctique est très fragile du fait de son isolement et le risque lié à la pollution est plus accru que dans d'autres régions. Les navires sont de fortes sources de pollution et malgré tout l'augmentation du trafic maritime dans cette région polaire a un impact relativement minime au regard de la pollution mondiale. Ce problème reste tout de même à prendre très au sérieux.

À l'avenir, les compagnies maritimes prévoient d'envoyer plus de navires et veulent pouvoir naviguer tout au long de l'année dans l'océan Arctique. Les navires vont jouer un rôle de catalyseur sur la fonte des glaces. De plus, les déchets jetés, accidentellement ou non, sont une menace pour la faune et la flore polaire.

Pour éviter un drame écologique perpétré par la flotte maritime, la navigation doit devenir exemplaire du point de vue écologique. Elle doit promouvoir et utiliser les avancées technologiques actuelles et concevoir de nouveaux bateaux permettant de réduire les dégâts dans la région polaire.

La deuxième partie de cette thèse de master, se concentrera sur la réalisation d'un corridor en Arctique afin de contrôler les navires voulant transiter par l'Arctique. Pour cela il faudra étudier la faisabilité, les risques et les opportunités qui découleront de cette nouvelle route.

## **V) Introduction**

Le réchauffement climatique et la fonte des glaces dans l'Arctique ont ouvert de nouvelles opportunités pour le commerce maritime, l'utilisation d'une nouvelle route par le passage du Nord Est permettrait aux navires de réduire leur temps de navigation et ainsi créer un nouveau foyer économique dans une région hostile à l'activité humaine. Cependant, l'augmentation du trafic dans une telle région pourrait menacer un environnement fragile.

Pour contrer ce problème, la régulation du trafic par la création d'un corridor payant semble être une solution viable. La réalisation d'un corridor dans l'Arctique sera donc le point d'étude de cette deuxième partie. Pour cela nous allons créer cette route et montrer ses avantages et ses défauts en la comparant avec d'autres routes traditionnelles.

Afin de mieux comprendre la complexité de la tâche, nous allons étudier une zone plus tropicale : Le Panama et le Nicaragua. Ces deux pays sont tous deux des exemples de réussite ou d'échec de la création d'un canal dans une région aussi fragile qu'hostile.

## **VI) Création d'un corridor en Arctique**

### 1 Navigation dans la route Nord Est

Il existe différents types de routes conseillées par les cartes Russes : les routes costale, centrale et la route de haute latitude. Pour notre recherche les routes centrale et costale seront préférées à celle de haute latitude.

En effet la route de haute latitude est la plus rapide (2900 miles contre 3200 miles pour la route centrale) mais elle est de ce fait, la plus dangereuse car plus proche du pôle, elle est sujette à une concentration de glace plus importante et un plus grand éloignement de la côte qui rend les communications et les opérations de sauvetage difficiles.

Lors de la conception de la route objet de cette étude, il faudra toujours garder suffisamment d'eau sous la quille des navires, un under keel clearance de 6 à 10 mètres sous la quille est préférable. Pour cela la route suivra des profondeurs autour de 30 mètres minimum, avec des navires d'un tirant d'eau maximum de 15 mètres, néanmoins il faudra toujours privilégier des profondeurs supérieures pour limiter l'impact du mouvement de l'hélice sur la faune et la flore aquatique (Hamill, Johnston, Stewart, 1999).

Un autre point très important est l'étude de la concentration de glace ; il nous faut essayer le plus possible de créer le corridor là où les derniers relevés de concentration indiquent une présence plus faible de glace.

Prenons comme position de départ 70°56'8N 18°49'8E afin de tracer une route viable à travers l'océan Arctique. Cette position se situe dans les eaux Norvégienne au large de Tromso. A ce point, les navires entreront dans le tracé du corridor de l'Arctique, ils devront donc suivre toute règle en vigueur dans le corridor, ils devront aussi prouver qu'ils ont payés l'Arctic Bills. La station de Vadso sera la dernière station Norvégienne contrôlant les navires.

Pour la suite les navires entreront dans les eaux russes (mer de Barents et mer blanche) et devront se référer aux différentes stations de contrôle ou Marine Rescue Coordination centre (MRCC) russes.

## 1.1 Mers de Barents et mer blanche

Le premier MRCC dans les eaux russes sera celui de Mourmansk avec la station de « Set Navolok » qui est plus proche de la mer. Cette station pourra assurer le contrôle des navires, le quartier central à Mourmansk gèrera quant à lui la partie administrative.

Les navires, après s'être reportés à Vadso devront suivre un cap de 106° jusqu'à la position 69°52'N 48°31'E.

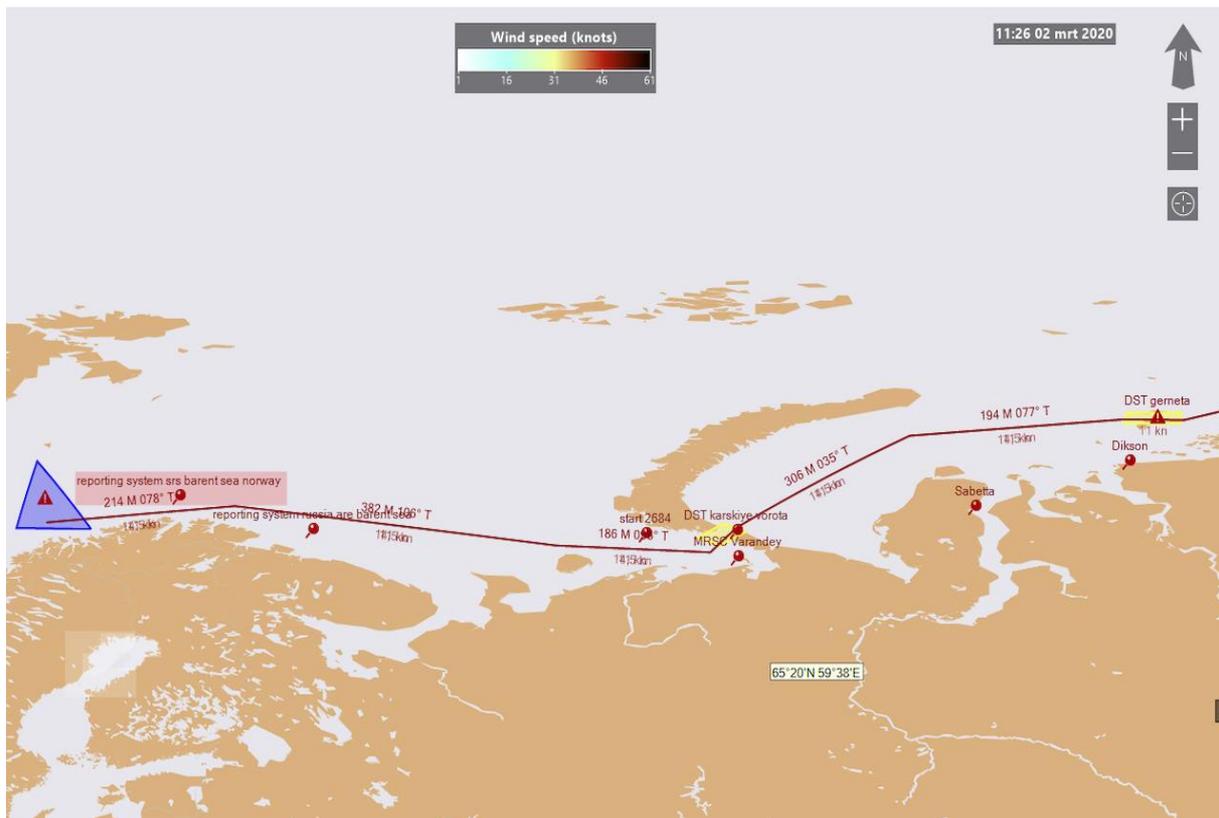
A cette position ils devront changer de cap sur 96° jusqu'à la position 69°36'N. Là, ils devront suivre une route aux alentours des 26° et commencer à se placer afin de prendre le bon côté pour utiliser le Dispositif de Séparation du Trafic (DST) de Karskiye Vorota.

Au départ du large de Tromso jusqu'à l'entrée en mer de Kara (figure n°9), le tracé réalisé ne sera pas obligatoire mais vivement conseillé car il sera le plus sûr : la mer de Barents et mer blanche sont libres de glace toute l'année grâce à l'apport de courant chaud du Gulf Stream.

Par ailleurs à partir de la mer de Kara le Gulf Stream n'a plus d'influence et la glace sera omniprésente. Ici le tracé proposé sera obligatoire et pourra être dévié par le capitaine pour raison de sécurité ou sur ordre des autorités du corridor.

Le fait de suivre un même tracé permet d'améliorer la sécurité de la route en proposant diverses opérations de dragage, hydrographie, balisage.

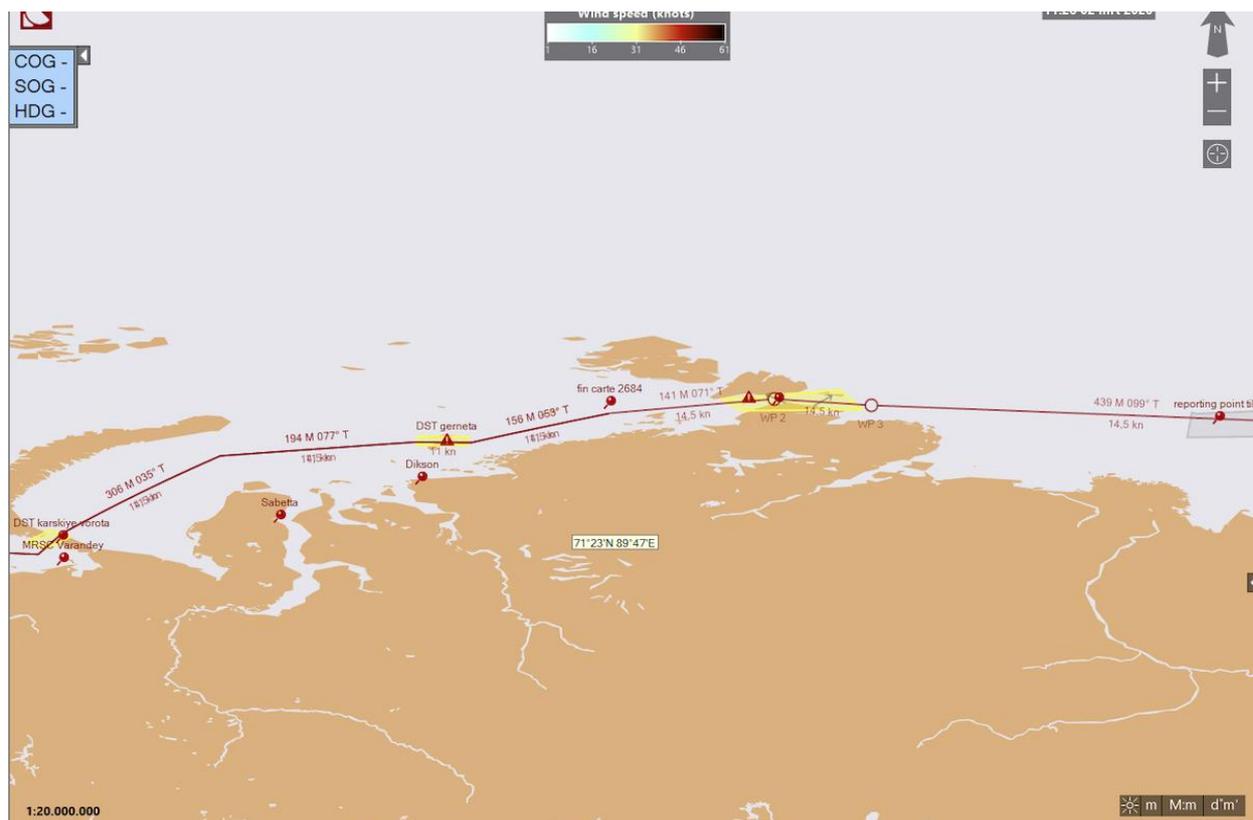
Un même tracé permet de ralentir la formation de glace, en effet si plusieurs navires passent au même endroit, la glace n'aura pas le temps de se solidifier. De plus concentrer les navires à un même endroit permettra d'endommager la glace seulement dans une petite zone et laisser les autres zones intactes, ce qui est primordial pour le développement de l'environnement polaire.



*Figure 9 vision globale du corridor : mer de Barents et mer de Kara Source : travail personnel réalisé avec chart track navigator*

## 1.2 La Mer de Kara

Le tracé réalisé s'aide majoritairement des routes conseillées par la fédération de Russie dans la mer de Kara. En effet les routes conseillées sont des routes avec le plus de tirant d'eau, cette vision d'un tel type de route sera pris en compte tout le long du tracer du corridor.



*Figure 10 vision globale du corridor : mer de Kara et Tiksi Source : travail personnel réalisé avec chart track navigator*

Afin d'entrer dans la mer de Kara il faut emprunter la séparation du trafic de « Proliv Karskiye Vorota » ( $69^{\circ}37'N$   $56^{\circ}59'E$ ), ce DST peut permettre le contrôle des navires voulant emprunter le corridor Arctique. Ce passage mesure 25 miles nautiques de largeur permettant une navigation dans les deux sens.

Durant les mois d'Août, Septembre et Octobre la mer est libre de glace ce qui permet une navigation sans brise-glace. Néanmoins, les relevés de concentration de glace de Juillet 2019 indiquent que la mer de Kara est libre de glace à cette période. Il est donc clair que l'utilisation des brise-glaces peut-être alors inutile et les prochaines années leur utilisation peut baisser si les températures arctiques ne cessent d'augmenter.

Afin d'améliorer la sécurité, la création d'un Marine Rescue Sub Centre (MRSC) à Varandey (figure n°10) non loin du DST, permettrait d'ajouter un MRSC dans cette zone. Ceci permettra d'améliorer les opérations dans la région et renforcer l'intégrité du DST, grâce à la création de « Varandey Traffic ». Il permettra de vérifier que les navires suivent la règle 10 du Colreg, stipulant les devoirs du personnel navigant dans une zone DST.

Ce MRSC pourra contrôler la pollution, relever les reports des navires, donner des notes d'attention à la navigation, la météo, etc... et permettre un déploiement plus efficace des secours en cas d'incident maritime.

Il permettra de plus de réduire la charge de travail du MRCC de Mourmansk, ce MRCC contrôle toute la partie du secteur Ouest de l'Arctique, quant à la partie Est, elle est contrôlée par le MRCC de Dikson.

À la sortie du détroit ( $70^{\circ}42'N$   $58^{\circ}33'E$ ) les navires devront suivre un cap de  $035^{\circ}$ , un changement de cap sur  $077^{\circ}$  sera nécessaire afin de se diriger vers le détroit de Gerneta.

La mise en place d'un DST dans le « Proliv Gerneta » ( $75^{\circ}40'N$ ,  $82^{\circ}E$ ) devra être réalisé (figure n°10), ce détroit mesure 20,5 miles nautiques laissant une marge importante aux navires pour se croiser. En effet la route manque de séparation de trafic et s'il y a une augmentation du trafic il est d'autant plus important de diminuer le risque de collision dans ces eaux.

Ces eaux même sans glace restent dangereuses car il y a très peu de relèvement hydrographique et de petits ilots ou icebergs sont présents. L'augmentation des relèvements hydrographiques peut être rendue possible grâce à l'« Arctic Bills ». Le cap à suivre le long du DST de Gerneta sera de  $092^{\circ}$  jusqu'à la position ( $75^{\circ}34'N$  $84^{\circ}17'E$ ) étant la sortie du DST, par la suite le cap à suivre sera de  $053^{\circ}$ . À la position  $77^{\circ}09'N$   $93^{\circ}04'E$  le cap sera de  $071^{\circ}$  jusqu'à l'entrée du détroit de Proliv Vil Kitskogo, la création d'un DST sera possible, la largeur du détroit est d'environ 30 miles nautiques, un changement de cap dans le DST devra être effectué à la position  $77^{\circ}54,2'N$   $103^{\circ}22,1'E$  afin de suivre un cap de  $105^{\circ}$  jusqu'à la position  $77^{\circ}34,3'N$   $109^{\circ}31,8'E$ .

### 1.3 Mer de Laptev

Après avoir quitté le DST de Proliv Vil Kitskogo les navires entreront dans la mer de Laptev (figure n°11).

Le nouveau cap sera de  $099^{\circ}$  jusqu'au détroit d'Ostrova ( $76^{\circ}31'N$   $141^{\circ}37'E$ ). Ce détroit, d'une largeur minimale de 41 miles nautiques, devra être dragué car les relevés très imprécis décrivent une moyenne de profondeur assez faible.

Il faudra ensuite prendre le cap 112° jusqu'à la position 75°14'N 154°31'E puis, changer de cap sur le 128° jusqu'au large de Pevek (70°50'N 173°40'E) il faudra passer dans le détroit d'une largeur minimale de 77 miles nautiques.

La création d'un DST ne sera pas de nécessaire mais une vigilance accrue des marins et un contrôle constant du MRSC de Pevek sera de mise.

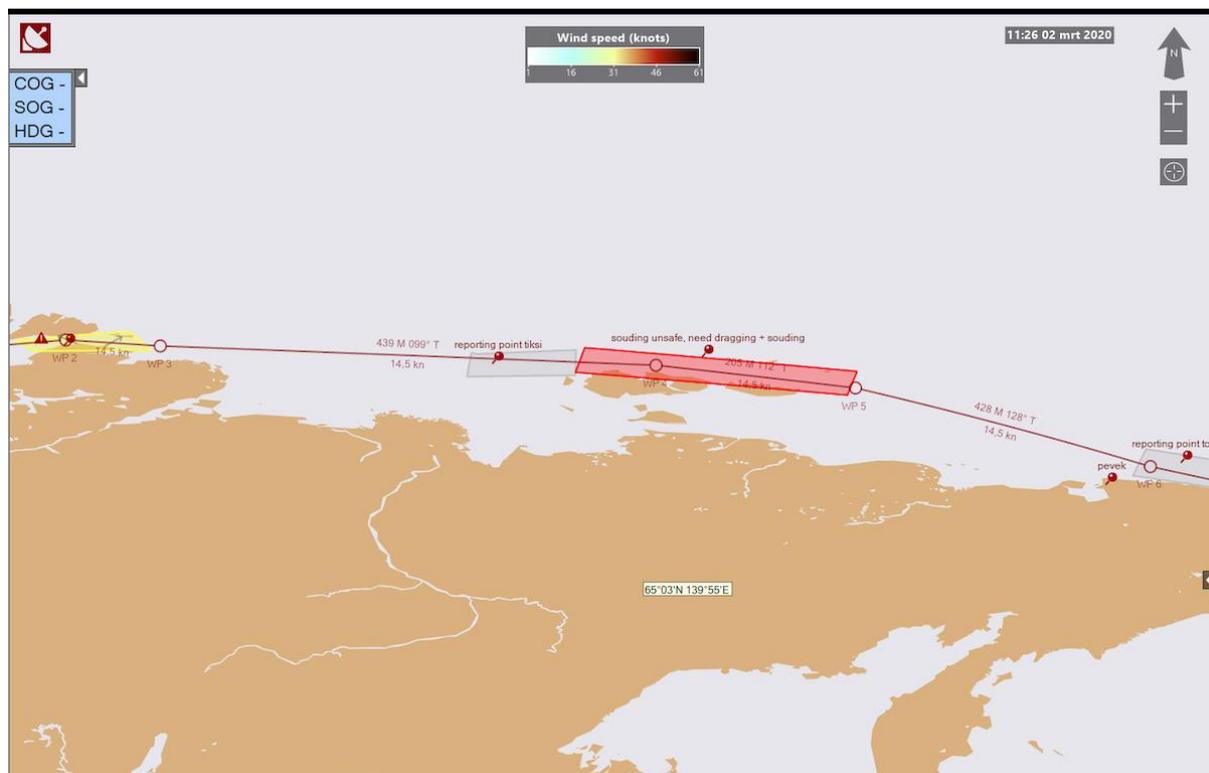


Figure 11 vision globale du corridor : Mer de Laptev et mer de Sibérie Source : travail personnel réalisé avec chart track navigator

#### 1.4 Mer de Chukchi

La suite de cette route (figure n°12) passe par le cap 119° jusqu'à la mer de Chukchi (67°47'N 171°14'W), ici le nouveau cap sera de 153° jusqu'à 66°50,3N 169°53,3W. A ce point, le cap sera de 158° jusqu'à l'entrée dans le détroit de Béring (66°12,9N 169°13,2'W). Le cap à suivre pour sortir du corridor sera de 206°, la création d'un DST (à 5 miles nautiques de la côte russe, position approximative : 66°04'N 169°26'W) dans le détroit de Béring est important afin de mieux contrôler les navires entrants et sortants dans le corridor. Les navires sortants devront se reporter au MRSC Lavrentiya (Russie) et les navires entrants devront se référer au coast guard américain à Nome ou Kotzebue.

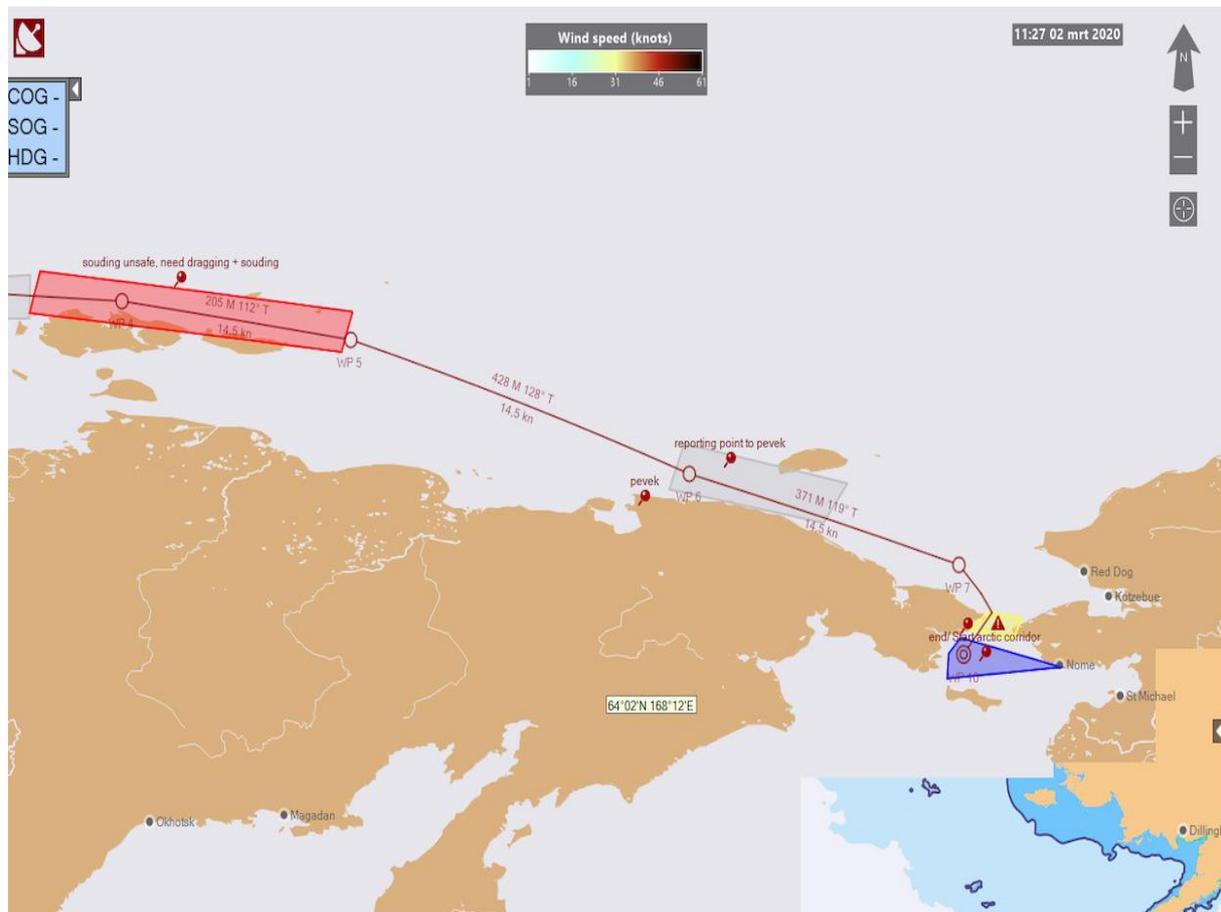


Figure 12 vision globale corridor : Pevek et détroit de Béring Source : travail personnel réalisé avec chart track navigator

### 1.5 Contrôle de la navigation

On compte très peu de zones de report, en effet dans le Admiralty list of radio signals (ALRS) volume 6 on en compte seulement 2, une en Norvège et l'autre en Russie dans la mer de Barents.

C'est pour cela qu'un report sera obligatoire pour tous les navires dans les zones de DST, soit 4 zones.

De plus, deux zones de reports obligatoires seront ajoutées au large de Tiksi (76°38'N 131°15'E) et au large de Pevek (71°18'N 173° 06'E).

Les navires doivent se reporter 2 fois par jours aux différentes stations à proximité : position, météo, état de la glace et de la mer.

Dans les zones de reports obligatoires les navires devront en plus signaler le niveau de bunkering, vitesse, cap, et tout problème pouvant avoir eu lieu

(solutionné ou en cours de traitement). Un test des différents moyens de communications peut être aussi demandé.

La répartition des reports des navires présents dans les différents DST sera établie comme suit :

- le DST de Proliv Karskiye Vorota sera géré par le MRSC de Varandey,
- le DST de Gernetta sera sous contrôle du MRCC de Dikson,
- le DST Proliv Vil Kitskogo sera géré par le MRSC de Tiksi,
- le DST dans le détroit de Béring sera géré par deux MRSC : Lavrentiya et Nome/Kotzebue.

La création d'un sémaphore sur la côte non loin du détroit permettrait une veille plus accrue du DST Proliv Vil Kitskogo.

Il n'y a aucune présence humaine proche de ce détroit ; c'est pourquoi le MRSC de Tiksi reste une option plus viable car la construction d'un MRSC dans cette zone devrait être effectuée avec l'aide de navires ou d'hélicoptères afin d'amener le personnel et le matériel de construction.

Évidemment certaines solutions économiques et écologiques existent, comme simplement déposer un bâtiment préfabriqué puis disposer d'une équipe qui restera sur place durant la totalité de la période de navigation afin de limiter les aller-retour de transports polluants pour effectuer un approvisionnement et une rotation des équipes.

## 1.6 Vue d'ensemble

Après finalisation de la route, la véracité de celle-ci reste à être prouvée sur le terrain. La navigation dans l'Arctique reste une navigation récente ne bénéficiant pas de support hydrographique. Les autorités du corridor des différents pays ayant un intérêt à naviguer dans cette région, doivent permettre le financement de campagne annuelle d'hydrographie et de dragage ; ce qui renforcera la facilité de navigation dans cette région.

Afin de faciliter la compréhension de la route, vous trouverez ci-dessous un tableau récapitulatif listant les différents Caps (Tableau 1), de plus une annexe (annexe I) représentera la route de façon plus détaillée.

Un second tableau liste les stations opérationnelles, stations météo et zones de report déjà en place, et celles qui devront être créées dans une seconde étape.

Tableau 1 Récapitulatif de la route à travers le corridor

Source : Travail Personnel (2020).

Waypoint	Position/distance	Cap
Tromso	70°56'8N ; 18°49'8E	078°
Vadso	214 nm	106°
WP3	69°52'N ; 48°31'E	096°
Entrée DST karskiye vorota	69°40'N ; 57°30'E	026°
Sortie DST karskiye vorota	70°42'N ; 58°33'E	035°
WP6	306 nm	077°
Entrée DST Proliv Gerneta	75°40'N ; 82°E	092°
Sortie DST Proliv Gerneta	75°34'N 84°17'E	053°
WP9	77°09'N 93°04'E	071°
Entrée proliv vil kitskogo	77°54'2N ; 103°22'1E	105°
WP11	77°34'2N ; 109°31	099°
Détroit Ostrova	76°31'N ; 141°37'E	112°
WP13	75°14'N ; 154°31'E	128°
Pevek	70°50'N ; 173°40'E	119°
Mer de Chukchi	67°50'3N ; 171°14'W	153°
WP16	66°50'3N ; 169°53'3W	158°
Entrée détroit de Béring	66°12'9N ; 169°13'E	206°
Fin du corridor	Zone : 65°30'N ; 170°W	/

Pour la navigation Arctique on recense très peu de MRCC, zone de report, etc... Le tableau récapitulatif est donc divisé entre les stations côtières déjà opérationnelles et les stations qu'il faut mettre en place (en italique dans le tableau) afin de renforcer la sécurité dans le corridor. Les lignes du tableau remplies de « / » sont des informations non connues ou qui doivent être déterminées lors de la conception du corridor. Il faut avoir les fréquences que les stations peuvent utiliser afin de contrôler et donner des informations (navigation, météo...) aux navires. L'ensemble des données complètes pour chaque station utilisée se trouvera dans les annexes.

Tableau 2 récapitulatif des différentes stations côtières sur le corridor Source : Travail personnel (2020)

Station	Position	VHF/MF/HF	Météo/aide navigation	Report
Tromso	69°39'13N 18°56'83E	CH16 VHF MF(T/R) : 1770/2114KHZ 2177/2189,5KHZ 2182/2182 KHZ	Zone E Météo : 0900,1200,1500, 1800,2100LT Information de sécurité : 0233,0633,1033, 1433,1833,2233LT Sur demande : ice report, navigation/storm warning	Barent SRS Vardo VTS CH16 Report system : AMVER
Vardo	70°20'13N 31°02E	VHF CH 01 ;16 MF(T/R) : 1713/2138KHZ 2182/2182KHZ 2642/3203KHZ 3631/2449KHZ	Zone E : identique à stations Tromso	Barents SRS Vardo VTS CH16
Murmansk	68°69'N 33°04'E	CH3,16,62 VHF MF(T/R) : 2182 :2182KHZ HF(T/R) : 4411 /4119KHZ 6507 /6206KHZ 8773/8249 KHZ 13149/12302KHZ 17275/16393KHZ Radiotelex operationel	Météo : 0420,1740 LT Navigation : 0400,1730 Par radio telex : 6395,5/13050 KHZ	Murmansk traffic CH 12
Arkhangelsk	64°32'N 40°32'E	VHF : CH :2,6,9,14,16,18,25 MF (T/R) : 2325,2630,2182/2182KZ HF(T/R) : 4399/4107KHZ	Météo/navigation : 0150,0550,0950,1350,1750, 2150 LT	Murmansk traffic CH 12
Varandey	68°59'N 33°04'E	/	/	Varandey traffic

Sabetta	71°17'N 72°01'E	Navtex 518KHZ	Météo : 0600,1800LT Navigation :0200,0600, 1000,1400,1800,2200 LT	/
Dikson	73°30'N 80°31'E	VHF : CH16 MF (T/R) 2182/2182kHz	Radio telex :428,6kHz Navigation :0818,2018 LT	/
Tiksi	71°41'N 128°52' E	VHF CH16 MF (T/R) : 2182/2182kHz HF (T/R) 4351/4015kHz 6522/6221kHz	Radio telex : 4351kHz Météo : 0900,2300	/
Pevek	69°42'N 170°15' E	VHF : CH16 MF (T/R) 2182/2182kHz	/	/
Kotzebue	66°89'N 162°57' W	VHF CH : 16,68	Surveillance météo : 0000- 1600LT	Weather report
<i>Lavrentia</i>	65°58'N 171°01' W	/	/	<i>Lavrentia</i> <i>traffic</i>
Nome	64°30'N 165°26' W	VHF CH16 HF (T/R) : 4125/4125kHz	Surveillance météo : H24	Weather report

Pour mieux comprendre le système de report des navires, vous trouverez ci-dessous un exemple de procédure (figure n°13) et d'informations demandées aux navires par Vadso (Norvège) et Murmansk (Russie). Ainsi tous les prochains reports devront se baser sur ces exemples. Ces reports sont basés sur les directives données par l'Organisation Maritime International (OMI), le Safety Of Life At Sea (SOLAS) ainsi que Marpol afin de préserver la sécurité et l'environnement dans les zones où la navigation est importante et, comme constaté dans la route du nord, une navigation dans des milieux confinés réduisant la marge de manœuvre des navires.

[See diagram IN THE BARENTS AREA \(BARENTS SRS\).](#)

## REPORTING SYSTEM [Scroll Chart](#)

### AREA:

The In the Barents Area (Barents SRS) Ship Reporting System is bounded by the following positions:

ID	Position
A - Norway	67°10' 00N - Norwegian Coast
B - Norway	<a href="#">67°10' 00N 8°00' 00E</a>
C - Norway	<a href="#">68°15' 00N 9°30' 00E</a>
D - Norway	<a href="#">71°15' 00N 19°00' 00E</a>
E - Norway	<a href="#">71°50' 00N 24°00' 00E</a>
F - Norway	<a href="#">71°50' 00N 28°00' 00E</a>
G - Russian Federation	<a href="#">71°00' 00N 33°20' 00E</a>
H - Russian Federation	Coast - 33°20' 00E

NOTE: Datum is WGS84

### DESCRIPTION:

- 1) IN THE BARENTS AREA (BARENTS SRS) is a **Mandatory Reporting System under SOLAS Regulation V/11.**
- 2) Shore based facilities at Murmansk VTS and Vardø VTS are able to monitor shipping movements and provide shipping with information concerning positioning, weather forecasting, navigational warnings and other hazards in the ship reporting area.
- 3) If necessary, the VTS centres can provide individual information to a vessel, particularly in relation to positioning or local conditions.

### PARTICIPATION:

- 1) Participation in the Reporting System is **mandatory** for the following:
  - (a) All vessels of 5000 gt and above
  - (b) All tankers
  - (c) All vessels carrying hazardous cargoes
  - (d) Vessels towing when the length of the tow exceeds 200m
  - (e) Any vessel not under command, restricted in their ability to manoeuvre or having defective navigational aids
- 2) Hazardous cargoes are defined as:
  - (a) Goods classified in the International Maritime Dangerous Goods (IMDG Code)
  - (b) Substances classified in chapter 17 of the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code) and chapter 19 of the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)
  - (c) Oils as defined in MARPOL Annex I
  - (d) Noxious liquid substances as defined in MARPOL Annex II
  - (e) Harmful substances as defined in MARPOL Annex III, and
  - (f) Radioactive materials specified in the Code for the Safe Carriage of Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Wastes in Flasks on Board Ships (INF Code)
- 3) Vessels not listed above may participate in the Ship Reporting System on a voluntary basis.

**CONTACT DETAILS:**

**Murmansk VTS**  
 Call: Murmansk Traffic  
 VHF Channel: Ch 12  
 Fax: +7 8152 479026  
 E-mail: [vts@mfrmp.ru](mailto:vts@mfrmp.ru)  
 MMSI: 002734484  
 002734466

**Vardø VTS**  
 Call: Any Norwegian Coast Radio Station requesting NOR VTS  
 VHF Channel: Ch 16  
 Telephone: +47 78 989898  
 Fax: +47 78 989899  
 E-mail: [nor.vts@kystverket.no](mailto:nor.vts@kystverket.no)  
 MMSI: 002573550

**HOURS:** H24

**REPORTING:**

(1) Vessels entering the Barents SRS operational area shall submit a report when entering into the area or on departure from a port or anchorage within the operational area.  
 (2) Reports forwarded prior to entering the area can be submitted at any time after entering the Norwegian Economic Zone or the Russian Federation Exclusive Economic Zone and until 1h prior to entering the Barents SRS operational area. (It will not be possible to undertake pre-entry reports any later than 1h prior to entering the area).  
 (3) Vessels departing a port or leaving an anchorage within the Barents SRS area, may also submit a pre-entry report for designators H, P, T, Q and X if transmitted 1h prior to departure.  
 (4) All Barents SRS reports must be sent to either Vardø VTS or Murmansk VTS. Vessels within the Norwegian monitoring area report to Vardø VTS and vessels within the Russian Federation monitoring area report to Murmansk VTS.  
 (5) Reports shall be given using AIS, Norwegian Ship Reporting System website ([www.shiprep.no](http://www.shiprep.no)), e-mail, fax, satcom, mobile telephone, VHF voice or by a combination of these communication means.  
 (6) The use of correct and updated AIS information can accomplish the reporting requirements for designators A, B, C, E, F, I, O and W.  
 (7) Reports from vessels to Barents SRS by AIS, non-verbal means or by voice communications, or combinations thereof must include the following information (as per the IMO Standard Ship Reporting System table):

ID	Information required
A	Name of vessel, call sign, IMO number and MMSI
B	A 6 digit group giving date and time in UTC
C	A 5 digit group giving latitude in degrees and minutes, decimal, suffixed with N (north), and a 6 digit group giving longitude in degrees and minutes, decimal, suffixed with E (east) or W (west)
E	True course
F	Speed in knots
H	Date, time and point of entry into the Barents SRS area (This information is only required if reporting designators P, T and X are transmitted non-verbally prior to entry into the Barents SRS)
I	Destination and ETA
O	Maximum present draught in metres
P	Hazardous cargo class and quantity
Q	Brief details of defects or restrictions in manoeuvrability
T	Contact information (shipowner and representative)
W	Total number of persons on board
X	Characteristics and total quantity of bunkers in mt

Note: Vessels must inform the Barents SRS VTS centre concerned of any change in navigational status or in previous information notified, particularly in relation to designator Q.  
 (8) Vessels in the Barents SRS area are required to keep a continuous listening watch on VHF Ch 16.  
 (9) If requested, the VTS centre concerned is able to provide vessels with information concerning positioning, weather forecasts, navigational warnings and other hazards in the ship reporting area.  
 (10) If necessary, the VTS centre can provide individual information to a vessel particularly in relation to positioning or local conditions.

Figure 13 Système de report Source : ALRS volume 6 (2020)

## 1.7 L'Arctic Bills

L'Arctic Bills est la somme d'argent que devra payer tout navire voulant traverser le corridor de l'Arctique. Ainsi, l'armateur paye un droit de passage renouvelable à sa demande. Le coût prendra en compte la jauge brute et le type de cargaison du navire.

Tableau 3 tarifs Arctic Bills Source : Travail personnel (2020)

Jauge brute	Cargaison normale	Cargaison dangereuse
500 à 4999 gt	50 000\$	90 000\$
5000 à 9999 gt	100 000\$	150 000\$
>10 000 gt	150 000\$	215 000\$

Le revenu engendré par l'Arctic Bills sera recueilli par une banque commune préférentiellement basée dans un pays neutre, n'ayant aucune activité liée au corridor et sera divisé chaque année entre diverses organisations comme suit :

- 20% seront dédiés à la protection de l'environnement dans et alentours du corridor.
- 7% seront pour la Norvège (ainsi que possiblement l'Union Européenne) ou les Etats-Unis selon par où le navire fait son entrée dans le corridor.
- 13% iront au gouvernement Russe.
- 60% seront utilisés afin de perfectionner le passage, la sécurité et le contrôle. Cette somme sera versée aux différentes organisations agissant au maintien du corridor.

En aucun cas ce tarif comprend les services, tels que la gestion des déchets, l'apport d'eau fraîche, etc... Le paiement ne concerne que le droit de passage afin de limiter la navigation et prendre un avantage financier sur la nouvelle route.

## 1.8 Droit et transit

Le corridor passera tout le long du trajet dans les eaux Russes, tous les navires répondant aux critères d'entrée dans le corridor de l'Arctique auront un droit de passage ou passage inoffensif (UNCLOS, 1982).

Les navires doivent être en accord avec les lois et le règlement Russe ; de fait les autorités Russes peuvent à tout moment réprimander tout acte illégal dans leur territoire (UNCLOS, 1982).

Le corridor et seulement ce corridor sera international ; toute sortie de celui-ci sera donc considérée comme une entrée dans le territoire Russe.

Ceci étant, la Russie ne peut interdire le passage ou arrêter un navire afin de mettre une pression sur un pays/pavillon avec lequel il est en conflit.

Par ailleurs si les trois pays fondateurs (Norvège, Russie et Etats-Unis) décident unanimement d'apporter des sanctions d'embargo sur un pays ou bien s'ils considèrent que le pavillon a perdu son droit de transiter par l'Arctique, ils peuvent alors bloquer le transit du navire étant sous pavillon du pays concerné.

Toute entente entre les droits de transit des pays fondateurs peut être supprimée si un conflit militaire venait à apparaître entre l'un de ces pays.

Ces trois États côtiers peuvent s'ils le souhaitent, adopter et faire appliquer de nouvelles lois, afin de réduire le risque de pollution dans les zones de navigation glaciaire. Ceci selon l'article 234 du droit de la mer rédigé par l'« United Nations Convention on the Law Of the Sea (UNCLOS) » (UNCLOS, 1982) cité comme suit : « Les Etats côtiers ont le droit d'adopter et de faire appliquer des lois et règlements non discriminatoires afin de prévenir, réduire et maîtriser la pollution du milieu marin par les navires dans les zones recouvertes par les glaces et comprises dans les limites de la zone économique exclusive, lorsque des conditions climatiques particulièrement rigoureuses et le fait que ces zones sont recouvertes par les glaces pendant la majeure partie de l'année font obstacle à la navigation ou la rendent exceptionnellement dangereuse, et que la pollution du milieu marin risque de porter gravement atteinte à l'équilibre écologique ou de le perturber de façon irréversible. Ces lois et règlements tiennent compte de la navigation, ainsi que la protection et la préservation du milieu marin sur la base de données scientifiques les plus sûres dont on puisse disposer. »

La Russie a déjà créé les règles et lois garantissant la sécurité de la navigation dans la route du Nord.

Juridiquement parlant c'est elle qui aura la voix la plus importante dans l'élaboration des règles propres au corridor. Cependant, les 3 États doivent travailler conjointement, afin qu'aucune règle ou loi locale vienne en désaccord avec d'autres lois locales des autres pays fondateurs. Ceci ayant pour but de faciliter la tâche du capitaine et de l'armateur pour le transit.

Par ailleurs, la loi la plus stricte et la plus efficace d'un pays fondateur permettant de réguler la pollution devra être acceptée, et mise en place par les autres pays fondateurs tout au long du corridor, même si cette loi vient en désaccord avec les lois émises par les pays en question.

## 2 Sécuriser la navigation

### 2.1 MRCC et DST

On ne compte qu'un seul dispositif de séparation du trafic ou DST tout au long de la route, il se situe au détroit de Karskiye Vorota ( $70^{\circ}24'N$   $57^{\circ}58'E$ ) reliant la mer de Barents et la mer de Kara. Le DST est un système employé dans la plupart du temps dans une zone à risque où le trafic est à forte densité (Pietrzykowski & Magaj, 2017). Ce système est régulé par l'OMI, elle est la seule institution à pouvoir mettre en place des directives et des règles. Ce procédé permet d'améliorer la sécurité mais aussi de protéger l'environnement. Comme le DST au large des côtes bretonnes françaises mis en place après le naufrage du pétrolier (Amoco Cadiz...) dans la zone de Ouessant, causant de graves dommages écologiques liés à la marée noire (Université de Caen Normandie, 2007-2020). Le corridor passe non loin des côtes afin de limiter la navigation dans les glaces très denses, cette navigation côtière est par ailleurs parsemée de dangers.

L'utilisation de DST est donc de rigueur afin de limiter le plus possible les risques d'abordages pouvant mener à des marées noires dans un écosystème fragile. Un second outil utilisé afin d'améliorer la sécurité maritime est le MRCC On dénombre seulement deux MRCC : Murmansk et Dikson, ainsi que 3 MRSC : Arkangel'sk, Pevek et Tiksi.

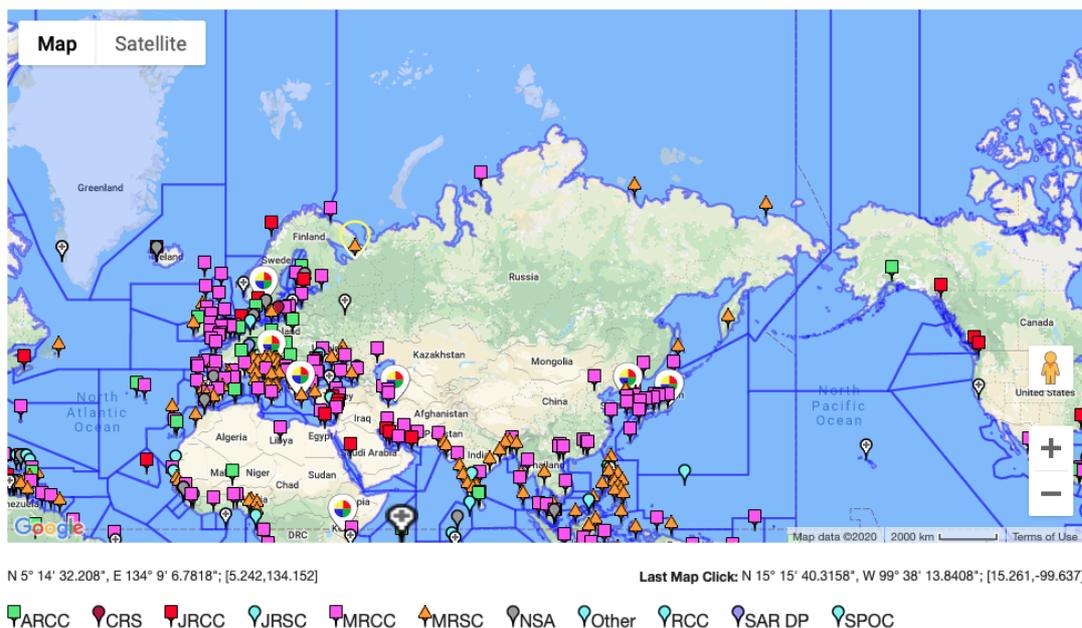


Figure 14 centre de secours mondial, Source : Search and rescue contact (2020)

À l'échelle mondiale, le dispositif proposé pour la route de l'arctique est très maigre pour une distance énorme (figure n°14).

En comparaison, la France métropolitaine comporte 6 MRCC et 2 MRSC couvrant une région très petite par rapport à celle en Arctique.

Afin de mieux comprendre l'intérêt de positionner un MRCC dans une zone côtière comportant des dangers pour la navigation, nous allons étudier les apports bénéfiques de la création du Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage (C.R.O.S.S) Corsen dans la zone du DST de Quessant au large des côtes Bretonnes Française.

## 2.2 Le CROSS Corsen

Le CROSS Corsen relève de la direction interrégionale de la mer Nord Atlantique-Manche Ouest. Il reste opérationnel 24/24 et 7/7 avec 53 personnes sur le site comprenant des officiers maritimes, des militaires de la Marine nationale ainsi que des civils du ministère chargé de la mer (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020). Son application se divise en 4 missions :

- Recherche et sauvetage
- Surveillance de la navigation
- Surveillance des pollutions
- Recueil et diffusion de l'information nautique

En 2018, la section sauvetage, le CROSS a coordonné 1366 opérations dont 551 opérations de Search And Rescue (SAR). 91,8% des opérations se déroulent en zone côtière, par ailleurs on dénombre seulement 39 de ces opérations liées à un navire de commerce. Ces opérations ont permis le sauvetage de 2518 personnes. Lors de la surveillance de la navigation, 42 640 navires se sont signalés au CROSS équivalent à 117 navires par jour en moyenne (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020).

Par ce fait, 274,82 millions de tonnes de marchandises dangereuses et/ou polluantes ont été déclarées. Il a pu éviter 559 situations dangereuses dont 7

situations rapprochées (Closest Point of Approach (CPA) <0,5nm et Time of Closest Point of Approach (TCPA)<10 min).

Quant à la détection de la pollution, le CROSS s'aide des signalements donnés par les navires aussi bien de commerce que de plaisance ainsi que par la détection satellite (Cleanseanet) ou par le biais d'aéronefs. 46 signalements ont été confirmés dont 32 cas de pollutions par hydrocarbures.

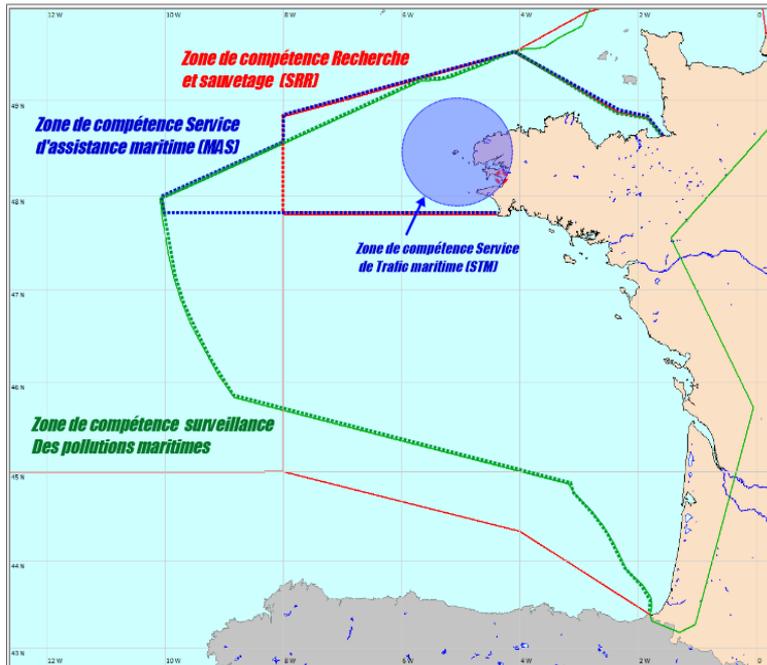


Figure 15 zone de compétence du CROSS Corsen Source : Ministère de la transition écologique et solidaire (2020)

Il est intéressant de comparer le nombre d'opérations de cet MRCC français (figure n°15) dans une zone très petite par rapport à celle du passage du Nord Est (figure n°14). Il est évident que l'élaboration de plusieurs MRCC et/ou MRSC dans la région Arctique, le long des côtes russes, est d'une importance capitale si l'augmentation du trafic maritime vient à s'accroître.

DST et MRCC sont aujourd'hui les moyens les plus efficaces pour éviter les accidents maritimes graves mettant en danger l'équipage et l'environnement.

Le MRCC et le contrôle du DST sont gérés par le pays où ils se situent. En 2019, l'état français a financé 29,3 millions d'euros pour la sécurité et la sûreté maritime, le financement des CROSS (métropolitains et outre-mer) représente un quart de ce budget soit à peu près 7,3 millions d'euros (Assemblée nationale, 2019). Les

coûts induits par la création des nouveaux MRCC/MRSC et leurs opérations ne peuvent être seulement financés par la Russie, mais devraient être financés au minimum par les trois états traversés par le corridor : Russie, Norvège et Etats-Unis, ainsi que les pays qui ont d'importants intérêts dans ce corridor ; comme la Chine et l'Union Européenne. Ces pays font partie des plus grandes puissances de ce monde et ont les moyens de financer un tel projet.

De plus, l'Arctic Bills peut aussi financer les opérations de préférence liées à la lutte contre la pollution.

### 2.3 L'utilisation de brise-glaces et pilotes de glace

Sa nécessité dans les zones polaires est primordiale et ses missions sont multiples : création d'un chenal dans la glace, opérations de sauvetage sur des navires bloqués par la glace, opérations de convoi.

On compte 5 organisations pouvant prêter assistance avec des brise-glaces dans la route du nord, comme la Federal state unitary entreprise « Rosmorport ».

Le ministère des Transports de la fédération de Russie a divisé la route de l'arctique en 7 zones. Les coûts d'une assistance d'un brise-glace pour une seule zone s'élèverait à 19 424 207,25 Roubles Russes soit 276 330,09 Euros durant la période été-automne (ministère des transports de la fédération de Russie, 2020). Son utilisation doit être limitée le plus possible, néanmoins il reste l'élément clef pour la conception du corridor.

Cependant le passage de plusieurs navires sur un même corridor permettra de limiter la reformation des glaces et ainsi réduire l'utilisation des brise-glaces.

Il y a aussi différentes organisations s'occupant du service de pilotage, on en compte sept pour le secteur arctique. Tout navire opérant dans la zone arctique au large des côtes Russes, là où la concentration de glace est supérieure ou égale à 1/10 et peut présenter un risque pour la structure du navire, doit avoir à son bord un pilote spécialisé en navigation glaciaire avec les documents prouvant sa compétence (Crown copyright, 2016).

Brise-glaces et services de pilotage sont tous deux des coûts supplémentaires liés à la concentration de glace dans la zone de navigation.

Dernièrement, la Russie a annoncé la création pour 2023 du brise-glace le plus puissant du monde (de plus de 120MW) le « Lider ». Ce navire pourra passer dans

des glaces d'épaisseur allant jusqu'à 4 mètres et laisser derrière lui une ouverture de 50 mètres de large (Sputnik, 2020), ce projet a pour but de faciliter le transit et de permettre à de plus gros navires d'emprunter la route du nord. Ceci ayant pour but de consolider la viabilité de la route du nord et permettre à la Russie d'attirer les compagnies à transiter par l'Arctique (Serry, Alix, Sencila, 2019). Mais qu'en est-il de cette concentration glaciaire, fortement influencée par les changements de température.

#### 2.4 Application sur le corridor

Afin de permettre le transit des navires sans encombre, divers moyens sont à disposition afin de prévenir tout accident (§2.3). Ces moyens sont tout autant applicables dans ce corridor que partout ailleurs. La sécurité de la navigation est majoritairement garantie par la disponibilité des brise-glaces.

Le corridor est un projet réunissant plusieurs gouvernements, cette assemblée permettrait de débloquer des fonds afin d'agrandir la flotte de brise-glaces sur le corridor.

Cette responsabilité se concentre surtout sur la Norvège et les Etats-Unis car la Russie a déjà à sa disposition une flotte importante et a pour projet de l'agrandir. Afin de solliciter le moins possible les brise-glaces, la réalisation de convois de plusieurs navires guidés par un brise-glace permettrait de concentrer le trafic et réduirait le risque d'opération de sauvetage isolé.

L'obligation d'avoir à son bord un pilote expert en navigation glaciaire, peut poser un problème financier aux compagnies transitant de façon régulière. Il faut alors créer un système d'exemption de service pilotage, un certificat sera remis au capitaine qui aura suivi différents cours sur ce type de navigation. Afin d'intensifier ce procédé, ces cours pourront être dispensés dans les écoles de navigation Européenne, Asiatique, et autre... afin de former les jeunes officiers à cette nouvelle route.

Pour faire face au manque de MRCC, MRSC, DST et zone report, il a fallu en créer (§VI, 2.15) le long du corridor afin de garantir un suivi constant des navires en transit.

Connaissant la difficulté que peut rencontrer l'homme à s'établir dans de telles régions il a fallu créer de nouveaux MRCC et MRSC sur des bases déjà établies

comme des stations météo ou MRSC. L'aspect humain est très important et n'est donc pas à négliger ; l'augmentation du personnel dans les différentes stations peut être une solution permettant de mieux supporter l'isolement pendant la période de navigation.

La création de DST supplémentaires à ceux déjà indiqués dans la conception du corridor ne devrait pas être nécessaire, mais les MRCC, MRSC, et les zones de reports seront sujettes à se multiplier d'avantage si le corridor accueille de plus en plus de navires.

## 2.5 Les aspects température et concentration glaciale

### 2.5.1 Études des températures polaires

Afin de mieux comprendre les différents changements de concentration glaciale, il est nécessaire de comprendre les différents changements de température survenus dans le cercle polaire.

L'Arctique voit sa température augmenter de façon inquiétante et plus vite que prévu (figure n°16). Certains climato-sceptiques pensent que ce réchauffement est lié à un cycle naturel normal, et que les relevés scientifiques ne peuvent à ce jour prouver que ce réchauffement est causé par l'activité humaine, même si cette théorie se renforce de jour en jour.

La question de savoir laquelle de ces deux parties a raison, n'est pas le sujet. La réalité est qu'en Septembre 2019 il était parfaitement possible de naviguer dans l'océan Arctique jusqu'au Pacifique avec n'importe quel navire de plaisance ou objet flottant.

Savoir si la glace sera plus ou moins présente l'année suivante reste compliqué. Comme la neige en montagne, il y'a des années avec et des années sans. Cependant, une augmentation globale des températures augmenterait fortement la probabilité d'avoir des années sans.

Pour bien comprendre et visualiser l'ampleur du changement climatique ces dernières années, voir ci-dessous les données fournies par la NOAA :

- La température de surface aux latitudes 60°N entre Octobre 2018 et Août 2019 fut la seconde période la plus chaude depuis 1900.

- La température de la mer en Août 2019 était 1° à 7°C plus élevée que la moyenne des relevés 1982-2010 dans la mer de Beaufort, Laptev et Chukchi.
- En 2018, la température en profondeur sur le plateau de Béring a atteint pour la première fois 4°C.

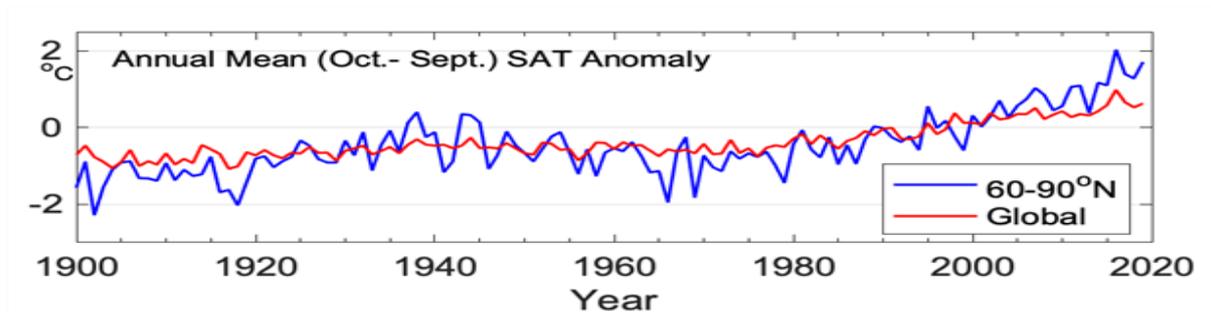


Figure 16 anomalie de la température moyenne sur la période octobre-septembre Source : ensemble de données CRUTEM4 (2019)

On peut voir sur le graphique, que l'augmentation des températures par rapport aux moyennes est plus importante dans les hautes latitudes.

Il a été relevé des températures de plus de 1,9°C par rapport aux moyennes relevées entre 1981 et 2010 (Météo France, 2019).

Ces données ne seront certainement pas revues à la baisse ces prochaines années, même si l'humanité semble vouloir changer la donne, les changements et restrictions d'aujourd'hui n'auront un impact que dans quelques années.

L'augmentation des températures dans l'Arctique ne semble pas baisser, quelles sont alors les conséquences de cette hausse des températures sur la concentration glaciaire polaire ?

### 2.5.2 Étude de la concentration glaciaire

Depuis plusieurs années, le réchauffement climatique se ressent aux grandes latitudes telle que le cercle polaire arctique. Ce réchauffement induit une importante fonte des glaces et permet à l'activité humaine de se développer (Vaguet, 2016).

Afin de mieux représenter la diminution de la concentration glaciaire dans cette zone, l'université de Bremen (Allemagne) met à disposition un rapport quotidien de la concentration des glaces. Ces différents relevés permettent de visualiser les différentes concentrations de glace en pourcentage, il est donc possible de comparer d'années en années la diminution (dans la plupart des cas) de la zone de glace (annexe II).

Voir schéma ci-dessous, la couleur bleue représente l'eau libre de glace, plus la concentration augmente plus la couleur tend vers le rouge-violet.

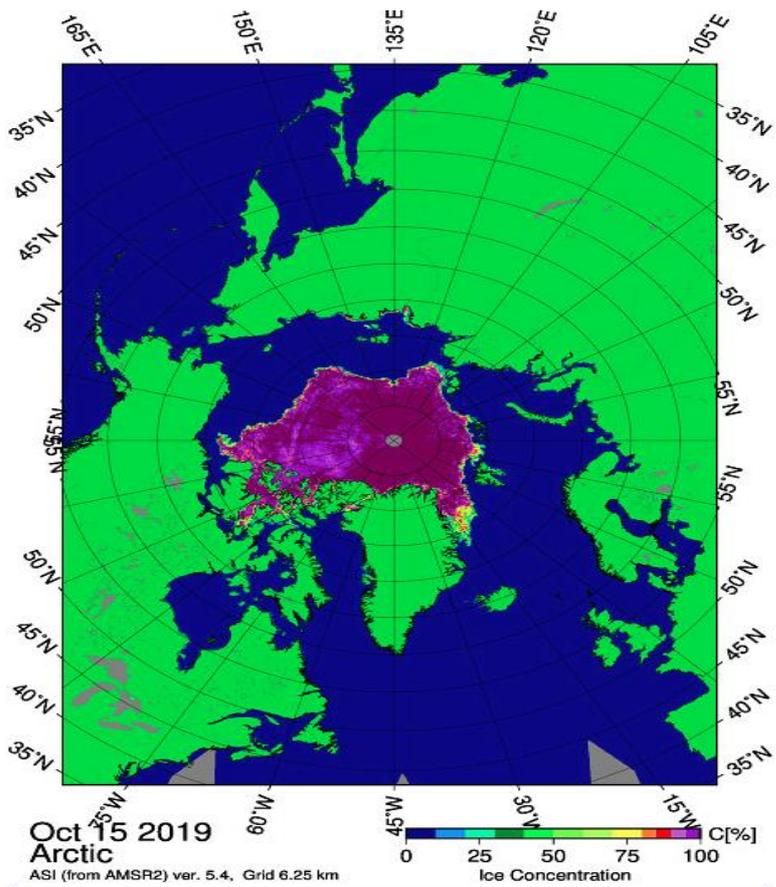


Figure 17 concentration glaciaire octobre au 15/10/2019 Source : université de Bremen (2015-2017)

On constate au 15 octobre 2019 (figure n°17) que la concentration glaciaire tout le long de la route est nulle.

L'utilisation de brise-glaces et pilotes certifiés ne serait pas utile. Ceux-ci doivent tout de même rester disponible car dans cette région l'eau peut geler rapidement en fonction des changements météorologiques.

Pour éviter toute mauvaise surprise, les navires doivent reporter tout changement d'état et de température aux autorités afin de prévoir une réponse efficace des différents moyens d'aide et de sauvetage à la navigation dans les glaces.

Les années précédentes la glace était bien plus présente et l'utilisation des pilotes et brise-glaces était de mise.

Un résultat flagrant, en comparant les données établies le 15 octobre 2002 (figure n°18), avec les données du 15 octobre 2019 (figure n°17), montre l'importante réduction de glace dans cette zone.

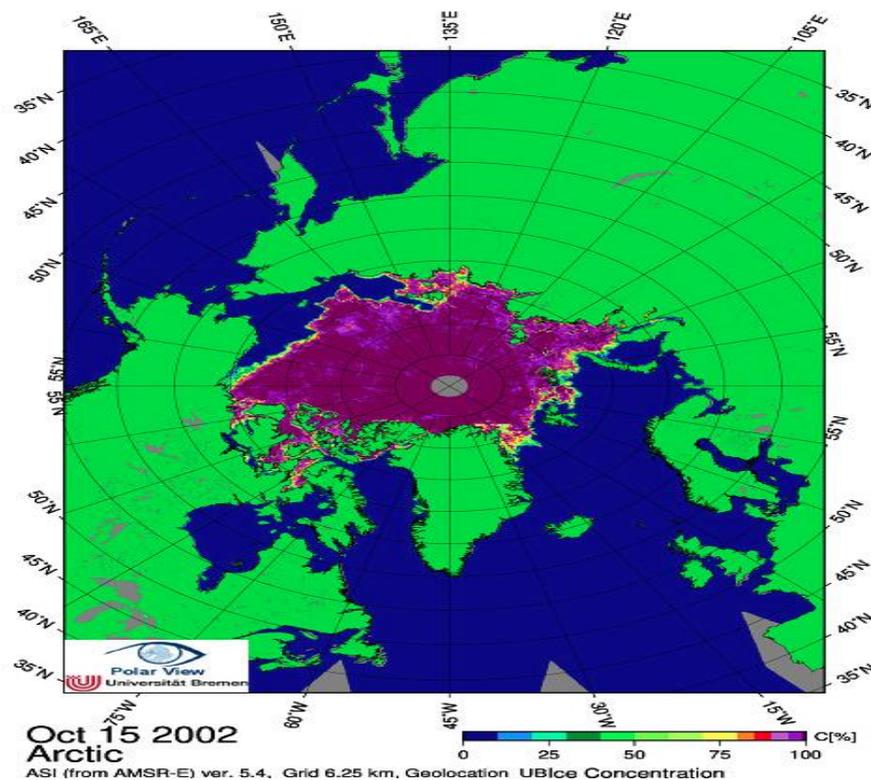
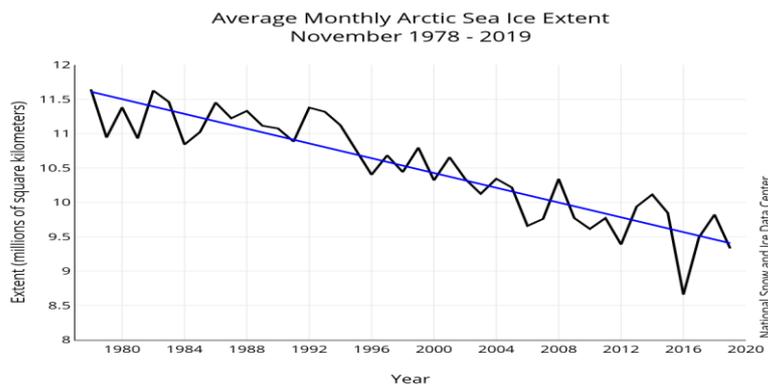


Figure 18 concentration glaciale le 15/10/2002 Source : Université de Bremen (2015-2017)

Comme on peut le voir sur l'image de la figure n°17, la navigation dans l'Arctique durant le mois d'octobre était impossible pour tout navire hors les brise-glaces. En 17 ans le passage de l'Arctique au mois d'Octobre est passé de mythe à réalité. En Avril-Mai la concentration de la glace reste en moyenne à 80%, soit une épaisseur supérieure à 50 centimètres (Université de Bremen, 2015-2017), permettant la navigation des navires « polar class », les 1A super ne doivent normalement pas avoir besoin de brise-glace pour naviguer dans les glaces

difficiles avec une épaisseur jusqu'à 100 centimètres (Kujala, Korgesaar&Kämäräinen, 2018).

Les classes 1 et 2 sont considérées comme pouvant naviguer toute l'année dans la zone polaire (DNV GL, 2014), la classe 5 est normalement considérée comme pouvant naviguant durant les transits estivaux, cependant dans les mois de Juin-Juillet la probabilité d'utiliser un brise-glace reste importante.



*Figure 19 L'étendu de la banquise ; Source : National snow and data center (2019)*

Nous nous concentrons surtout sur la fonte des glaces accélérée durant l'été, par ailleurs l'étendue de la banquise est impactée aussi pendant la période de fonte que de gèle (figure n°19).

2019 est la deuxième année, sur 41 années d'étude, avec la plus basse étendue de banquise durant la période de Novembre à début Décembre (National snow and data center, 2019).

Le dernier record était en 2016, ce qui nous montre que ce phénomène s'intensifie ces dernières années. Ainsi, avec les dernières estimations, on ne parle plus de navigation seulement estivale mais elle ouvre la possibilité d'une ouverture dans le futur d'une navigation durant les 3 saisons : printemps, été et automne.

### 2.5.3 Méthodes de réduction de la glace

Comme nous avons pu le voir précédemment (§VI.2.4), la concentration de glace tend à diminuer.

Pendant la fin de la période estivale d'août à mi-Octobre, la glace se concentre aux très grandes latitudes laissant la voie du corridor de l'Arctique libre de glace. Néanmoins lors de la période de Mai à fin Juillet la présence de glace de concentration importante peut se trouver sur la voie de navigation. On se doute que cette situation sera de moins en moins probable avec l'augmentation des températures sur le globe terrestre. Les accords de Paris vont tenter de réduire cette augmentation entre 1,5°C et 2°C (Agence Parisienne du Climat, 2019).

Sans compter sur la douceur futuriste du climat dans l'Arctique, il nous faut trouver des alternatives saines à la diminution de glace sur la route de l'Arctique favorisant la sécurité de la navigation. Le déglacage des routes par les Brise-glaces est à ce jour la seule alternative. Cependant l'utilisation de brise-glace est onéreuse et l'impact sur l'environnement n'est pas négligeable.

La création du corridor longera les côtes Russes, cette zone est préférentielle à la création de glaces qui vont premièrement se former en eau peu profonde où la zone à refroidir est plus petite (gouvernement du Canada, 2013).

Lors des études des concentrations des glaces, nous avons relevé une concentration plus importante aux alentours des positions 77°N, 100/110°E et 73°N, 137°E, ces deux positions se situent dans des passages étroits présentant un risque accru pour la navigation.

Dans une vision d'un procédé éco-responsable, il faut déterminer des solutions possibles afin de réduire la présence de glace dans une zone limitée.

## 2.6 Conversions thermique de l'énergie solaire

Les rayons du soleil sont affaiblis au pôle car leur traversée dans l'atmosphère se fait en biais, il a été relevé une radiation solaire de  $6,7 \times 10^{20} \text{J}$  en été 2015 en Arctique (Tsukada, Ueno&al. 2018).

La présence de glace et de neige permet une réflexion de 80% de l'énergie solaire alors que la surface de la terre et l'atmosphère n'en renvoient seulement que 30% (IPEV, 2020).

L'été, la luminosité du soleil reste présente durant une longue durée, on la nomme journée polaire ou soleil de minuit. C'est cette présence exceptionnelle de luminosité qui pourrait être exploitée.

Soit en réchauffant un courant d'eau qui à son tour réchauffera une zone. Cette utilisation permettra de créer un courant chaud qui augmentera la température de l'eau de mer et ainsi permettra à l'eau de ne pas atteindre sa température de congélation. Cette congélation dépend de la salinité et de la densité de l'eau. Soit en concentrant le rayonnement solaire directement sur une zone (glacée) afin de la réchauffer.

### 2.6.1 Capteur avec miroir de concentration parabolique

Ce dispositif (figure n°20) va permettre de concentrer le rayonnement solaire afin de l'amener vers l'absorbeur qui va par la suite transmettre la chaleur radiée à l'eau qui sera réchauffée et ensuite déversée dans l'océan arctique.

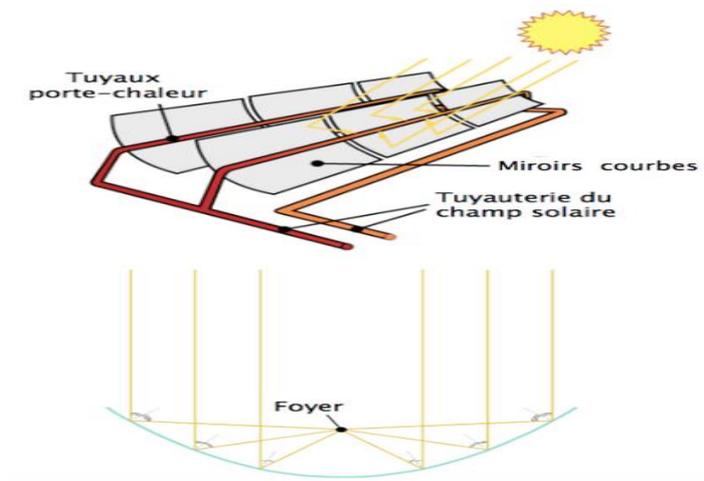


Figure 20 concentrateur cylindro-parabolique Source : Buck (2019)

Toujours avec le même principe, le rayonnement peut être directement axé vers la glace, qui sera le foyer. Le concentrateur cylindro-parabolique est un outil parmi d'autres.

## 2.6.2 Lentilles de Fresnel

Cette lentille se base sur le principe de l'optique, pour permettre une concentration du rayonnement, les rayons incidents doivent être parallèle. La lentille est la base de tout concentrateur de rayonnement. Avec un concentrateur de Fresnel linéaire on peut concentrer le rayonnement avec un facteur de concentration entre 10 et 100 fois. Cette concentration peut largement être dépassée avec d'autres concentrateurs (Veynandt, 2011). Aujourd'hui cet outil est utilisé pour la production d'énergie ou pour chauffer l'eau des foyers.

Le faible rayonnement dans l'Arctique sera suffisant car le but n'est pas de chauffer l'eau à des températures tropicales mais d'augmenter la température de quelques degrés. L'utilisation de tel procédé dans l'Arctique n'a jamais été encore testé et ne semble pas pour l'instant être un sujet évoqué dans le monde scientifique.

## 3 Gestion de la pollution dans le corridor

Aujourd'hui le monde maritime fait face à un problème qui est néfaste pour son économie et son image auprès du public : la pollution induite par son activité. Marpol a d'ores et déjà mis en place une certaine régulation afin de limiter la pollution maritime (§III, 2). Marpol, qui depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020 limite la teneur en soufre des émissions de ses navires à 0,50%. Chaque année les organisations maritimes ainsi que les compagnies tentent de réduire leur impact sur l'environnement maritime. Le passage dans l'Arctique doit alors se baser sur de nouvelles idées afin de limiter l'impact des navires. Le corridor de l'Arctique peut être créé durant une période où le monde entier se préoccupe de plus en plus de l'impact de l'homme sur l'environnement. C'est pourquoi la création de ce corridor doit être réalisée le plus écologiquement possible. Le respect de l'environnement polaire doit prendre le dessus sur la réalisation de bénéfices économiques comme nous avons pu le voir pour la création du canal de Panama. Dans différentes parties nous allons proposer des alternatives afin de réguler la pollution et l'impact de l'homme sur la route de l'Arctique.

### 3.1 La gestion des déchets

En France, chaque année nous produisons plus de 450kg de déchets dont 277 kg d'ordures ménagères par personne (Cézard, Mourad & Joncoux, 2017). Cette production de déchets existe aussi à bord, elle est majoritairement dû au quotidien des marins (cuisine, loisirs, ...).

Dès lors, l'idée d'un navire zéro déchets devient essentiel. Par conséquence, tout navire transitant par le nouveau corridor de l'Arctique devra en aucun cas jeter n'importe quel type de déchets par-dessus bord et toutes incinérations sera interdite afin de limiter le rejet de fumée polluante.

Cette démarche a déjà été entreprise par le code polaire en 2017 (ou mis l'interdiction d'incinération) mais reste très limitée en terme de solution. Cette règle sera de vigueur pour tout navire sauf si la sécurité à bord s'en trouve affectée, toutefois cet acte doit être dûment clarifié auprès des autorités régulant la navigation dans la route du Nord.

Tout navire voulant emprunter le corridor de l'Arctique devra présenter un plan de gestion des déchets à bord.

Deux options sont alors possibles pour l'armateur opérant dans l'Arctique.

La première option est de garder à bord ses déchets dans un compartiment de stockage mais c'est une solution qui peut engendrer des problèmes :

- 1°) Un trajet de plus de 32 jours induit une production de beaucoup de déchets et la plupart des déchets organiques vont se décomposer avec des risques d'hygiène.
- 2°) Le compartiment destiné aux déchets devra être de taille importante ; ceci a un impact sur la stabilité du navire et surtout représente un manque à gagner, car ce compartiment aurait pu être destiné au chargement de cargaisons supplémentaires.

La deuxième option serait de décharger ses déchets dans les ports de l'Arctique. Il y a 11 ports côtiers le long de l'Arctique notamment en Russie (Sea rates LLC, 2020). Afin de bien diviser la route et limiter la présence de déchets à bord, 4 ports ont été choisis stratégiquement, 3 ports russes et 1 port américain.

Le premier port est celui de Mourmansk (Russie), composé d'une ville portuaire où la population recensée en 2015 était de 305 236 habitants (Wikipédia, 2020), ainsi une ville de cette taille est déjà munie d'usine de traitement des déchets pouvant traiter les déchets des citoyens et des navires.

Le port suivant est celui de Dickson à 4 jours de navigation avec une vitesse de 11 nœuds. Dickson est une commune de 674 habitants en 2013 (Wikipédia, 2020). Ce port est important et s'est développé suite à l'ouverture des routes maritimes dans la région (Lasserre, 2004).

La conception d'une station de traitement des déchets est possible car d'un point de vue géologique, cette commune repose sur la terre ferme et non sur la glace. La création d'une station de traitement pourra aussi permettre le développement de la commune et la création d'emplois.

Le dernier port Russe est celui de Tiksi, ville portuaire de 12 000 habitants en 2014 (Arbugaeva, 2014).

Le port américain de Kotzebue est situé dans le détroit de Béring, il est de petite taille et joint à la ville de Kotzebue comportant 3266 habitants en 2017 (bureau du recensement des Etats-Unis, 2020).

Décharger les déchets dans les ports environnants reste donc la solution la plus efficace, il est du choix de l'armateur d'utiliser ou non ce procédé.

L'un des soucis peut être la perte de temps à venir décharger dans les ports. C'est pourquoi le déchargement doit se faire directement sur le corridor, par l'intervention de barges quand l'eau est libre de glace et à l'aide d'aérogliisseurs en présence de glace.

Le navire devra alors se comporter comme s'il devait débarquer un pilote, pour cela il devra réduire sa vitesse et décharger du côté protégé du vent par le navire pour éviter toute perte de déchets et faciliter l'abordage du « navire-poubelle ». L'utilisation d'aérogliisseurs dans cette région permettrait le déchargement durant toute la saison de navigation car son utilisation est possible aussi bien sur la mer que sur la glace.

Grâce à la récupération des déchets des navires, certains peuvent être utilisés afin d'aider l'écosystème polaire.

Par exemple il serait possible d'utiliser certains déchets pour nourrir les ours polaires qui sont de plus en plus affamés. Les ours n'hésitent pas à venir dans les villes à la recherche de nourriture en se mettant en danger, et en mettant en danger les humains de ces villes (WWF, 2020). Cela permettrait de nourrir ces animaux durant la période d'allaitement qui leur demande beaucoup d'énergie. Cette énergie est de plus en plus dure à trouver avec la réduction de la banquise, limitant leur accès à la chasse. Cette alternative permettrait de préserver l'espèce.

Les navires doivent aussi réduire leurs déchets en pratiquant le zéro-déchet. Par ailleurs, chaque navire transitant par le corridor devra présenter un plan de gestion des déchets, tri des déchets obligatoire et une réduction des déchets plastique sera vivement conseillée.

On retrouve le plastique majoritairement dans les emballages, les bouteilles d'eau en plastique peuvent être facilement réduites en utilisant des fontaines à eau et en donnant des gourdes à chacun des marins présents à bord.

L'utilisation d'UV ou charbon actif afin d'avoir de l'eau potable directement au robinet et aussi une solution. Comme déjà engagé dans certains pays comme la France, il faut abolir tout type de plastique à usage unique dans l'alimentaire : paille, couvert et assiette.

L'utilisation de plastiques biodégradables est une alternative.

Les pays autorisant les navires battant sous leur pavillon devront aider le financement de ce type de plastique mais cette dernière proposition reste encore aujourd'hui utopique.

### 3.2 La Réduction des émissions polluantes

Il y a diverses manières de réduire les émissions d'un navire grâce néanmoins à l'utilisation de carburant plus vert.

Le Polar code interdit le transport et l'utilisation de fioul lourd dans l'Antarctique mais il est juste conseillé de l'éviter dans l'Arctique.

Désormais dans le corridor de l'Arctique, l'utilisation de fioul lourd sera proscrite et une zone d'Emission control area (ECA) sera mise en place depuis l'entrée dans la mer de Kara et jusqu'au détroit de Bering.

Le transport de fioul lourd reste toléré mais sera possible que pour les navires construits après janvier 2017 (date de création d'une polar code) et devront prouver avoir reçus la note de « good » lors de la dernière visite de surveillance obligatoire du navire. Le navire devra répondre aux exigences demandées pour les navires transportant des matières dangereuses.

### 3.2.1 Zone ECA

Afin de réduire les émissions dans l'Arctique, l'idée de créer une zone ECA entre la mer de Kara et le détroit de Bering permettrait un meilleur contrôle des émissions produites par les navires. On compte deux types de zone ECA, toutes deux régies par Marpol annexes VI. La première est créée sous la règle 13 de Marpol annexes VI (OMI, 2020) se concentrant sur les émissions de NOx. On compte 4 zones se trouvant dans les eaux américaines (Hawaï, mer des Caraïbes,...). Le deuxième type est dépendant de la règle 14 et se concentre sur le contrôle des émissions de SOx et des particules fines. On compte 4 grandes zones de ce type, aux Etats-Unis, dans la mer baltique, la mer du nord et la mer des caraïbes.

Depuis Janvier 2020 la teneur en soufre doit être de 0,5%, par ailleurs la zone ECA demande une teneur de 0,1% (Sheng, Meng, Li, 2019). L'émission pour du fioul lourd avec une concentration en soufre de 2,7% est de 54 kg SO<sub>2</sub>/tonne de fioul, alors qu'il est de 2 kg SO<sub>2</sub>/ tonne de fioul pour une concentration de 0,1% de soufre (Sheng, Meng, Li, 2019). Aux vues des dernières règles de l'IMO au sujet de la teneur en soufre, la différence des coûts induits par la navigation des zones ECA ou non devient quasiment négligeable. En effet jusqu'à 2020 les navires voulant naviguer dans les zones ECA devaient avoir du fioul léger, plus cher et ne devaient pas de ce fait réduire leur vitesse pour moins consommer, sachant qu'en moyenne le coût du carburant représente 50 à 60% du coût annuel opérationnel (Notteboom, 2006).

Afin de réduire les coûts de carburants, une réduction de vitesse est possible, une réduction de 20% de la vitesse permettrait de réduire la consommation de 50% (Ronen, 2017). Afin d'obtenir ces résultats, beaucoup de compagnies préfèrent utiliser des « scrubbers ». Le Scrubber (figure n°21) est un dispositif permettant de nettoyer la fumée. Il neutralise ainsi certains gaz toxiques de l'échappement des navires soit 99% des SOx et 98% de particule fines (Wan&al., 2016) ; ceci leur permet de garder le fioul lourd comme carburant moins cher que le fioul léger (Letranchant,2018).

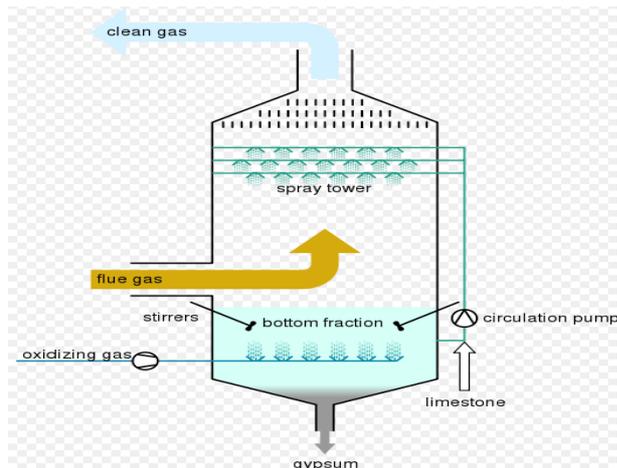


Figure 21 Scrubbers Source : Wikipédia (2010)

Mais ce dispositif ne fait que dissimuler le problème, en effet l'eau utilisée pour le nettoyage des fumées est ensuite polluée par les substances toxiques. Les eaux usées sont jetées par-dessus bord ce qui ne libère pas les substances toxiques dans l'atmosphère mais dans les océans. Dans le passage de l'Arctique aucune déjection dans la mer des eaux usées n'est tolérée (polar code, 2017). La création d'une zone ECA serait vue comme un moyen de désintéresser les armateurs d'opérer dans l'Arctique. Cependant, le projet de créer une zone de contrôle d'émissions dans toute la Méditerranée commence à devenir approuvé par les pays Méditerranéens qui vont proposer l'établissement d'une zone contrôle des émissions d'oxyde de soufre (SECA) à l'OMI durant l'année 2020 (Déclaration, D. N. M. (2019)), le projet de zones ECA serait aussi à l'étude pour l'ensemble des eaux européennes (Autissier, 2019).

### 3.2.2 La limitation de la vitesse

Lors du calcul des coûts (tableau n°5), nous avons déterminé qu'une vitesse de 11 nœuds nous apporterait le plus gros bénéfice. Cette vitesse est adéquate pour ce type de navire avec son type de cargaison. Chaque navire, doit donc calculer sa propre vitesse afin d'en tirer le meilleur bénéfice. Toutefois, une limitation de la vitesse doit être effectuée si la concentration de glace est égale ou supérieure à 1/10. Il est évident que l'augmentation de la résistance de la coque contre la glace va induire une réduction de la vitesse du navire. Le travail de Zhang et Mao (2019)

a permis de déterminer la vitesse optimale (figure n°22) afin d’avoir la meilleure efficacité énergétique selon la concentration glaciaire.

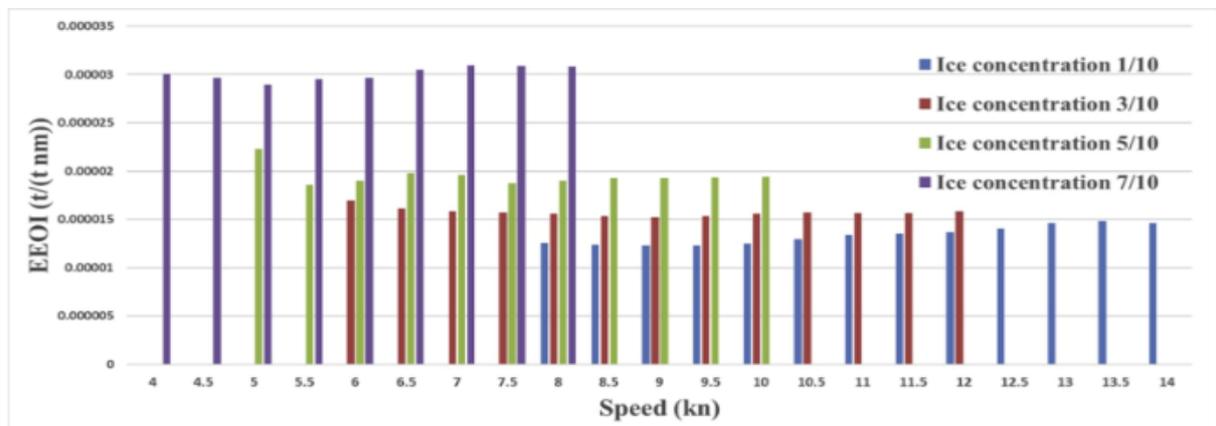


Figure 22 simulation vitesse, efficacité énergétique selon la concentration de glace Source : Zhang&Mao (2019)

Après les différentes simulations, des chercheurs Shang et Mao (2019), 4 vitesses optimales (tableau n°4) ont été déterminées selon la concentration de glace :

Tableau 4 vitesse optimale selon la concentration de glace Source : Zhang&Mao(2019)

concentration	Vitesse optimale (nœuds)
1/10	9,5
3/10	9,0
5/10	5,5
7/10	5,0

Ainsi en se basant sur ces résultats et afin de réduire le risque de danger liés à une vitesse excessive dans la glace, la vitesse en présence de glace sera limitée à 12 nœuds dans une concentration de glace de 1/10 et 7 nœuds pour une concentration de 5/10 afin de laisser le choix au capitaine d’adapter sa vitesse selon l’environnement et les caractéristiques de son navire. Pour une concentration égale ou supérieur à 7/10, les navires devront suivre la vitesse conseillée pour le passage.

Comme nous avons pu le voir (§2.4.2, figure n°17), le passage peut être libre de glace et ainsi ces vitesses ne seront plus d'utilité, cependant afin de réduire les émissions dans l'Arctique la vitesse économique du navire sera réduite de 1 nœud afin de diminuer la consommation de 18% (Autissier, 2019). Par ailleurs des relevés atmosphériques quotidiens ainsi qu'une étude météorologique (anticyclone de grande longévité, peu de vent, chaleur anormale, ...) permettront de mesurer la qualité de l'air. En effet la qualité de l'air est en partie dépendante des conditions météorologiques. Par exemple, les particules d'air présentent dans l'atmosphère sont dépendantes de la vitesse du vent, alors que la concentration d'O<sub>3</sub> est liée à la température et à l'humidité relative (Ma, Duan & al., 2019), cependant la présence de vents forts permet globalement une meilleure dispersion des polluants dans l'air (Zhang & al., 2015). Dans le cas où ces résultats sont mauvais, il faudra que les navires réduisent d'au moins 5 nœuds leur vitesse. Tout navire ne se pliant pas à la réduction se verra dans l'obligation de payer une amende et il peut dans certains cas perdre le droit de transiter par le passage.

### 3.3 Autorisation des navires

Tous les navires ne pourront pas transiter par le corridor. La fédération de Russie a déjà instauré des exigences pour l'équipement et le fonctionnement des navires naviguant dans la route du Nord (Crown, 2016). Grand nombre de ces exigences sont intéressantes et doivent être aussi mises en place sur le corridor, par ailleurs certaines exigences sont à améliorer ou à rajouter. Dans un premier temps les navires doivent satisfaire aux conditions des navires de glace selon le registre pour les navires de la fédération de Russie. Ainsi le navire peut être de classe : Arc5, Arc4, Arc3 ou l'équivalent de la classification de glace. Tous les navires doivent répondre aux exigences d'inspection pour cette région s'ils veulent y transiter. Par ailleurs comme déjà dit précédemment, les navires doivent avoir reçu la note de « good » lors de l'inspection fait par leur classe pour pouvoir transiter par le corridor. De plus, il sera vivement conseillé d'entreprendre si possible son inspection à la date la plus proche possible de la période envisagée pour emprunter la route du nord est. Les documents attestant que le navire est en règle après l'inspection doivent être à bord et envoyés lors de la réservation et du paiement de l'Arctic Bills. Selon le registre russe, les navires doivent impérativement avoir

un double-fond pour utiliser la route du nord (Crown, 2016), ainsi que l'interdiction d'utiliser les doubles cales ou les doubles côtés afin de stocker des substances pétrolières ou dangereuses. Nombreuses sont les exigences supplémentaires demandées par la Russie touchant diverses parties/outils du navire comme les machines, appareil de communication et de navigation... . Cependant il ne fait que très peu référence à l'âge des navires. Afin de limiter le risque d'incident, tout navire âgé de plus de 20 ans transportant des cargaisons dangereuses ou de plus de 25 ans pour tous autres types de navires se verra interdit de transit. Les navires transportant des cargaisons dangereuses âgés de plus de 15 ans devront subir un contrôle plus avancé et selon leur pavillon et leur temps antérieur de navigation en zone polaire pourrait voir le coût de l'Arctic Bills augmenter. Afin de promouvoir l'utilisation de navires moins polluant, l'Arctic Bills pourra être réduit fortement selon les efforts de l'armateur voulant diminuer ses émissions. Cette politique n'a pas seulement pour but de protéger l'environnement polaire mais aussi l'environnement mondial en incitant les navires à adopter une manière plus verte de naviguer. Les navires à gaz liquéfié sont étudiés car c'est aujourd'hui les plus utilisés afin de réduire les émissions. Les autres systèmes tel que l'éolien, l'hydrogène, auront bien évidemment des avantages fiscaux s'ils décident de transiter via le corridor.

### 3.3.1 Les navires à gaz naturel liquéfié

Le monde maritime se doit de réduire ses émissions, l'utilisation de gaz naturel liquéfié (GNL) est l'une des grandes trouvailles de cette décennie afin de réduire la pollution maritime. En effet, ce gaz a divers avantages, les émissions de SOX sont réduites de 90 à 95%, les NOX sont réduits de 80% et le CO2 de 20 à 25%. S'il y a une fuite le GNL s'évapore ou reste à la surface de l'eau réduisant le risque de pollution et pour finir son prix est nettement inférieur à celui du diesel (Pamel & Wilkins, 2016). Il y a tout de même trois inconvénients qui compliquent le développement de ce gaz : la conception des navires, le mazoutage et la qualification de l'équipage. Mais cette complication se verra à la baisse car le GNL ne cesse de séduire les armateurs. L'accessibilité du gaz naturel liquéfié s'améliore d'années en années, l'armateur pourra améliorer ses bénéfices par cette utilisation. Le corridor de l'arctique se voulant un lieu où prospérité économique et

environnementale règne. L'Arctic Bills se verra réduit de 35 à 40% pour les navires s'étant munies de GNL comme carburant.

Après avoir mis en place un tel corridor, qu'elle serait les avantages de l'utiliser à défaut d'autre route ?

## **VII) Les atouts du corridor**

### 1 Canal de Suez ou Corridor polaire

#### 1.1 Les routes

Deux routes intéressantes se présentent aux navires : la route du passage Nord-Est et la route par le canal de Suez. Pour l'estimation de nos coûts, notre départ se fera de Rotterdam (Pays-Bas) et l'arrivée sera à Shanghai (Chine). Nous allons calculer les distances grâce à un outil sur le web (Searoutes, 2019).

Un navire a 7 725 miles nautiques à parcourir avec la route du Nord Est soit 32 jours et 4 heures avec une vitesse moyenne de 10 nœuds. La route par le canal de suez quant à elle est de 10 548 miles nautiques pour 43 jours et 22 heures de navigation à une vitesse de 10 nœuds. Soit une différence de 11 jours et 18 heures de trajet entre les deux routes.

On peut facilement voir un premier avantage : le temps. La réduction du temps de trajet à des aspects positifs multiples ; moins de temps en mer permet à l'armateur d'avoir plus de contrats dans l'année, payer moins de charges d'équipage embarqué : nourriture, salaires, internet. Le navire naviguant sur de plus petites distance, l'usure des équipements sera réduite et donc sa maintenance sera moins importante et moins onéreuse. La route par Suez est déjà désavantagée par la longueur du trajet, mais la durée pour accomplir ce trajet peut être rallongée par des phénomènes extérieurs propres à cette région de navigation : blocage, météo, piraterie...

#### 1.2 Le contexte géopolitique et sécuritaire de ces routes

##### 1.2.1 Suez : une région instable

Dans le passé, les problèmes ont été nombreux dans la région du canal du suez. Tout d'abord avec la crise de suez en 1956 après que le général Nasser ait demandé

la nationalisation du canal au détriment de la compagnie de suez Franco-Britannique. Il sera quelques années plus tard, en 1967, fermé pour huit ans du fait des conflits israélo-arabes (CNRS, 2020). Depuis les accords de paix de Camp David (Le Morzellec, 1980) en 1978, les tensions se sont apaisées mais il reste des querelles entre ces deux pays qui peuvent à tout moment menacer l'équilibre de cette région.

## 1.2.2 Une route de dangers

### 1.2.2.1 La piraterie

L'une des grandes zones à haut risque de piraterie déterminée en 2015 par l'OMI (IMO, 2020) se situe au large des côtes Somaliennes. Cependant plusieurs états comme la France, la Chine, la Russie, etc... ont pris conscience en 2008 de l'ampleur que peut avoir la piraterie sur l'économie maritime dans cette zone avec plus de 20 000 navires qui transitent par cette voie et plus de 30% des approvisionnements en pétrole pour les pays européens (Valin, 2009). C'est ainsi que s'est formée une coalition internationale afin de sécuriser le Proche-Orient. En 2017, les états participant à cette lutte contre la piraterie se sont réunis avec le soutien de l'OMI afin de déterminer « l'amendement de Djedda au code de conduite de Djibouti » (IMO, 2020). Les résultats sont très positifs, en 2019 la chambre internationale du commerce avec le bureau maritime international n'ont dénombré aucune attaque de pirate dans cette zone (figure n°23).



*Figure 23 Carte piraterie 2019, source : ICC commercial crime service & NASA (2020)*

Toutefois, si la menace dans les eaux somaliennes semble être fortement réduite pour le moment, cette sécurité tient grâce à des soutiens internationaux, cette région reste très affaiblie économiquement et une augmentation de la piraterie peut revoir le jour.

Par ailleurs, il existe une autre région où la piraterie prospère ; c'est la région du détroit de Malacca (figure n°23).

Comme indiqué sur la carte fournie par l'International Chamber of Commerce (ICC) (2020), on y constate une présence non négligeable de piraterie. Le 5 février 2020, on comptait déjà 4 attaques sur des navires pour le début de la nouvelle année (ICC, 2020). Cette zone représente désormais les  $\frac{3}{4}$  des attaques mondiales (Frécon, 2018). Dans les années 90, Tokyo a déjà songé à faire passer ses pétroliers par la route de l'Arctique car elle craignait pour son approvisionnement de pétrole par le détroit de Malacca (Frécon, 2018). Depuis avril 2014 on compte une augmentation de 47% des attaques dans la zone du détroit de Singapour (Roger-Lacan, 2014). La lutte contre ces actes de piraterie est régie par des mesures régionales entre les différents états de l'Asie du Sud-est (Malaysia, Indonésie, Chine...), à contrario des mesures internationales prises en Afrique de l'Ouest et le golf d'Aden.

#### 1.2.2.2 Une zone conflictuelle

La route jusqu'à Shanghai passe non loin du Yémen, un pays ravagé par la guerre civile entre rebelles Houthistes et force pro gouvernementale. Cette guerre, qui dure depuis 2014 (Libération, 2019), induit une forte insécurité dans la région. Même si le trafic maritime reste épargné, il n'en reste pas moins un risque possible de détournement de navire, balles ou missiles perdus, ...

De plus cette guerre fait entrer de nouveaux acteurs comme l'Arabie Saoudite, Al-Qaïda, l'Iran. L'Arabie Saoudite s'interpose directement dans ce conflit par des frappes aériennes contre les rebelles et ne cache pas ses ambitions de vouloir annexer une partie de territoire yéménite (Rigoulet-Roze, 2016). De surcroît, ce conflit réanime la querelle entre Arabie Saoudite et chiïtes Iraniens. L'Iran, fait la une de la presse internationale avec ses attaques perpétrées sur des navires ainsi

que ses menaces de mener son projet d'armement nucléaire, met encore à mal la stabilité de cette région.

### 1.2.3 Un trajet de plus en plus compliqué

#### 1.2.3.1 Rotterdam-Shanghai victime de son succès

Le canal de suez est fortement emprunté car c'est pour le moment la route la plus efficace pour relier l'Europe à l'Asie.

On compte 1651 navires ayant transité par le canal (figure n°24) pour le mois de décembre 2019 (Suez Canal Authority, 2019), ce qui est le chiffre le plus important pour ce mois en comparant les données relevées entre 2011 à 2019.



Figure 24 trafic canal de suez décembre 2019, (Suez Canal Authority, 2019)

Le trafic dans cette région n'est pas revu à la baisse. Ainsi l'augmentation du trafic maritime peut augmenter le risque de collision. Par conséquent l'équipages doit augmenter sa vigilance ; ce qui pose de nombreux soucis liés à la fatigue et la

gestion des temps de repos à bord. La fatigue, pouvant être responsable ou inducteur d'accidents, est un problème de plus en plus préoccupant (The Nautical Institutes, 2020).

Le détroit de Malacca est le détroit avec la densité de trafic la plus importante au monde (Qu & Meng, 2012).

En 2008 on comptait plus de 70 000 navires transitant par ce détroit comprenant le tiers des cargaisons transportées dans le monde (Gilmartin, 2008). Néanmoins la route est sécurisée par une séparation du trafic depuis 1981 qui permet de réduire le risque de collision, il n'en reste pas moins que ce dispositif n'est pas 100% efficace et des accidents sont toujours présents dans le détroit.

#### 1.2.3.2 Le point de vue météorologique

L'isotherme au Moyen-Orient varie entre 12°C et 28°C ; cette région subit de très forts rayonnements solaires de longue durée tout le long de l'année (Shahin, 1999). Par ailleurs la saison estivale peut être très chaude, en Août 2019 on a relevé une température maximale de 48°C (Historique-météo.net, 2014-2020). Avec le réchauffement terrestre, il est plausible de croire que ces températures vont encore augmenter. Ces hautes températures deviennent un problème pour l'équipage, surtout pour les personnels travaillant dans la salle des machines. Le risque de surchauffe, malgré un système de refroidissement des machines, peut être un danger induit par les fortes températures.

Plus nous avançons sur notre route, plus nous entrons dans une zone à densité importante de tempêtes tropicales ou de typhons. Ce risque est rencontré pendant la période de fin de la saison estivale à début d'automne. En 2017, 4 typhons ont été recensés dans l'océan Indien nord et 33 typhons dans la zone océan pacifique Nord-Ouest (Bushnell&Falvey, 2017). Ces typhons peuvent menacer la sécurité du navire et de son équipage et obliger à d'importants détours par rapport à la route initiale, entraînant retards et frais supplémentaires (essence, salaires...).

La période propice aux typhons se situe au même moment que la période idéale pour la navigation dans les eaux du cercle polaire. Toutefois la navigation par la route du Nord-Est est sujette à de nombreux risques comme pour le passage par Suez. Cependant, afin d'apporter un jugement global sur l'avantage ou non de la route de l'arctique par rapport à son homologue par le canal du suez, il faut aussi

dénombrer les différents problèmes que peuvent rencontrer navires, armateurs et équipages.

Si l'on questionne une personne n'ayant aucune connaissance en la navigation si naviguer en méditerranée est plus facile que naviguer dans l'océan arctique, elle répondrait oui sans hésiter. Cette réponse évidente vient du fait d'un climat et d'une météo difficile pour tout être vivant. Alors, comment se distingue la navigation polaire des navigations traditionnelles et quels sont les dangers que peuvent rencontrer les marins le long de ce corridor ainsi que le risque économique qu'entreprennent les compagnies opérant dans la route du Nord.

### 1.3 La route de l'Arctique : une navigation périlleuse

La navigation polaire s'illustre depuis le temps des vikings, avec des navigations surtout en quête de découverte que d'intérêt marchand. Très vite les intérêts économiques de cette région augmentent le passage maritime de celle-ci. Ce n'est qu'en 1959 que l'on obtient une cartographie complète de cette région.

À titre d'exemple le nombre de voyages effectués dans l'Arctique canadien est passé de plus de 100 navires en 1990 à plus de 350 navires en 2013 (estimations de la Garde côtière au 31 décembre 2013) et ce chiffre est en constante augmentation proportionnellement avec la fonte des glaces. Cette navigation reste périlleuse comparée aux autres régions du globe. En effet les officiers en charge des navires doivent travailler avec une cartographie marine très primaire voire inexistante. La plupart des cartes sont basées sur des relevés inadéquats ou trop anciens et les sondages sont souvent faits sur une seule route. Les eaux de l'Arctique comportent des dangers similaires aux autres régions du globe (tempêtes, courants dangereux, hauts fonds, ...) néanmoins la présence d'icebergs et de glace accentue la situation dangereuse. Les icebergs sont plus susceptibles de gêner la navigation durant les périodes de dégel car c'est durant une augmentation des températures et une radiation plus importante du soleil qu'ils vont se créer en se détachant de la banquise. C'est le cas dans la mer de Barents qui voit l'arrivée d'icebergs provenant de glaciers plus au nord comme le Spitsbergen, Franz Josef Land et Novaya Zemlya (Marchenko, Diansky&Fomin, 2019). D'une manière plus globale la diminution de la banquise ces dernières années augmente la présence de glace dérivante dans les zones de navigation

arctique (Fedi et al., 2018). La localisation d'icebergs reste encore aujourd'hui complexe, les différents outils modernes comme le sonar ou majoritairement le radar restent des moyens de détections peu précis car la partie émergée est petite par rapport à celle submergée, de plus sa petite partie reste souvent lisse rendant la détection plus ardue (gouvernement du Canada, 2019). Les connaissances et l'habileté des marins par la détection visuelle d'un iceberg ou des indices pouvant indiquer sa présence dans les environs (présence d'animaux, de glaces, le bruit de « tonnerre ») reste fiable.

La communication par satellite est possible jusqu'à la latitude 76°Nord, au-delà de cette limite, elle se fera par haute fréquence (HF). Les communications radio peuvent être brouillées par des perturbations ionosphériques, il faut donc avoir plusieurs fréquences de travail ou l'utilisation de stations relais afin de limiter l'exposition au brouillage. Le radar peut aider dans une situation de visibilité restreinte, d'ailleurs la glace forme une mauvaise cible et les détections à longue distance sont à éviter. Le premier principe dans la navigation polaire est de garder une bonne marge de manœuvre. Pour cela l'assistance de brise-glace autour du navire en question est une solution, une autre alternative est le contournement d'une zone de glace épaisse.

On distingue certaines règles de manœuvres importantes données par les gardes côtiers canadiens (2013) dans les glaces, voici quelques exemples :

- Le navire doit constamment avancer, même très lentement.
- Le navire doit s'adapter au mouvement des glaces – il ne doit pas être manœuvré au rebours d'elles ; une vitesse excessive entraîne des avaries causées par la glace.
- Il faut connaître les caractéristiques de manœuvre de son navire (Garde côtière canadienne, août 2012). Le givre sur la superstructure peut causer une perte de stabilité et de sécurité pour l'équipage. Pour cela l'OMI demande à l'équipage d'être munie de matériel (hache, marteaux, pioche,...) permettant d'enlever la glace sur le pont ( Polar code,2017), en outre une vitesse réduite diminuera l'eau sur le pont causée par les embruns et les vagues.

- Une navigation avec escorte de brise-glaces est fortement recommandée, néanmoins les navires seuls doivent bien analyser le chemin le plus sûr possible et être prêts à rebrousser chemins si les conditions le demandent.



*Figure 25 Brise-glace russe en opération de déglacage Source : Wofratz (2001)*

### 1.3.1 Les risques de la navigation polaire

Outre les icebergs et une communication parfois peu opérante, il y a divers dangers moins connus mais tout aussi handicapants pour les navires en eaux polaires, les conditions météorologiques sont très défavorables à la navigation comme le reporte le gouvernement du Canada (2019) :

- Basses températures de surface ;
- Vents forts ;
- Basses températures de l'eau de mer à l'injection ;
- Faible humidité ;
- État des glaces variant de la gadoue à la banquise ;
- Neige, grésil et pluie verglaçante ;
- Brouillard et ciel couvert, particulièrement à l'interface glace-eau ;
- Givrage de la superstructure lorsqu'il existe une forte et dangereuse possibilité de givrage rapide et épais, entraînant une perte de la stabilité, est présente.

Le givrage de la superstructure peut menacer la stabilité du navire, de plus lors d'un givrage important, le dégivrage se fait à la main, ce qui mobilise l'équipage sur un travail fatiguant dans le froid glacial. La superstructure étant le point le plus exposé au froid ne reste pas la seule à être victime du gel, le gel de tuyaux, soupapes et réservoir est possible empêchant alors l'assèchement de la cale et la purge des ballasts causant des dommages à la structure, sans oublier que la glace peut bloquer certains conduits amenant l'eau de mer au système de refroidissement nécessaire au bon fonctionnement des machines (gouvernement canadien, 2019). La visibilité est souvent réduite durant la période estivale, de ce fait les officiers et matelots de pont doivent redoubler d'effort et de vigilance. Cependant la politique des armateurs à vouloir réduire de plus en plus le nombre de marins à bord rend cette tâche de moins en moins évidente et efficace pour le personnel naviguant. Les marins doivent faire face à un isolement accru car la présence humaine est très limitée et une assistance demandera de gros moyens (brise-glace, hélicoptère, ...) et plus de temps en cas d'urgence (Lasserre, 2011). De ce fait, il est recommandé aux navires de prendre des provisions supplémentaires car le navire peut se retrouver coincé dans la glace et les secours peuvent mettre plus de temps que prévus par rapport à une zone libre de glace. A cause de la géographie, grand nombre des équipements de navigation deviennent moins fiables voir inopérables. Ceci est un problème de taille car les nouveaux officiers de la marine marchande se forment quasiment essentiellement sur les équipements électroniques d'aide à la navigation et sont donc moins préparés à l'utilisation de matériel plus rustique (sextant, carte papier,...). La cartographie qu'elle soit papier ou électronique ainsi que le service hydrographique peut être de mauvaise qualité (gouvernement du Canada, 2019), très peu de relevés sont effectués dans cette région, le marin ne peut donc se baser sur ces équipements et doit faire preuve de bon sens. En cartographie, il faut donc être à jour le plus possible et savoir que l'utilisation de la projection Mercator dans les grandes latitudes sont utiles qu'à grandes échelles, le gouvernement du Canada (2019) préconise l'utilisation des projections coniques conformes de Lambert, les projections polyconiques et les projections stéréographiques polaires. Projections qui ne sont pas toujours à bord des navires et devront se rajouter aux coûts opérationnels du navire. Les autorités Canadienne (2019) donnent certaines recommandations avant d'utiliser les cartes dans l'Arctique :

- Vérifier la projection et comprendre ses limites ;
- Vérifier la date des levés hydrographiques et examiner le diagramme de classification des sources ;
- Utiliser l'azimut-distance pour reporter des positions entre cartes ;
- Vérifier s'il s'agit de sondages de mission de reconnaissance ;
- Utiliser la carte à plus grande échelle disponible ;
- Vérifier la méthode de mesure des distances et de prise des relèvements ;
- Mettre à jour les cartes marines et les publications nautiques en surveillant les Avis aux navigateurs, les avis à la navigation et toute autre source pour rechercher des corrections de carte.

D'autres soucis hors cartographie sont à noter comme l'utilisation du compas magnétique qui devient de moins en moins efficace lorsque celui-ci se rapproche du pôle Nord. Les sondages peuvent être erronés, dans ce cas l'officier doit émettre une veille constante sur l'échosondeur. Le système de positionnement GPS peut être responsable d'erreurs plus importantes dans les régions polaires car plus aucun satellite ne pas au-dessus de la latitude 55° nord. D'un point de vue pratique, il est encore difficile de s'approvisionner en eau potable et carburant dû à la faible présence en zone portuaire. Les navires devront donc avoir une certaine capacité à produire leur propre eau potable et devront prévoir de plus grandes réserves de carburant ; ce qui réduit la disponibilité de cargaison à charger à son bord.

### 1.3.2 Une difficulté économique

Mise à part une navigation très contraignante, l'aspect économique n'est guère évident. L'armateur doit voir ses coûts augmenter à cause aux assurances, à des équipements supplémentaires comme l'obligation de fournir des habits chauds à l'équipage selon le polar code (2017). Il doit répondre aux normes techniques de la navigation polaire (§1.3.2), de ce fait l'utilisation de matériaux plus résistants et donc plus onéreux lors de la construction. La maintenance doit être plus rigoureuse et les divers équipements (hélice, moteur, gouvernail,...) doivent être très fiables car une avarie peut avoir des conséquences plus grave qu'en eau libre. Le fait d'avoir à son bord de bons capitaines et officiers dans la navigation

de glace est primordial. Cependant comme dans tout autres entreprises, le talent et l'expérience sont très recherchés, c'est pourquoi l'armateur doit attirer un personnel de qualité quitte à réduire ses bénéfices avec de plus gros salaires, meilleur confort, congés plus conséquents,... . Dans les grandes latitudes, on retrouve très peu d'activités humaines, le manque d'infrastructure pénalise les ports de l'Arctique qui peinent à capter les flux maritimes (Serry, Alix&Sencila, 2019). Il est donc difficile de rivaliser avec d'autres routes traditionnelles (Panama, Suez,...) bien ancrées dans l'économie maritime pourvu de nombreuses structures modernes et d'une expérience accrue du commerce maritime. Encore aujourd'hui avec les avancées techniques dans le domaine de la météorologie, il reste très difficile de prévoir les conditions météo et de navigations ; ce qui réduit sa compétitivité face aux autres routes (Boé, Hall, Qu, 2009).

Dans le moment présent la route du nord n'est pas profitable au même niveau selon le type navire. En effet, elle peut beaucoup profiter à des navires sans lignes fixes comme les vraquiers, mais très peu d'études ont été faites à ce sujet (Pierre&Olivier, 2015). Les compagnies à service régulier (porte-container) seraient moins profitables que les vraquiers.

### 1.3.3 Aspect technique des navires dans la région polaire

La manœuvrabilité des navires va dépendre du ratio longueur/largeur, de la pente transversale, de la forme avant/milieu /arrière. Le diamètre de giration va augmenter proportionnellement à l'épaisseur de la glace environnante. La capacité structurale va avoir des répercussions sur le rendement du navire. Cette résistance aux impacts des glaces va aussi dépendre de l'âge de la glace ; une vieille glace va être plus solide et donc plus handicapante.

Afin d'améliorer la puissance des navires dans la glace, des améliorations techniques ont vu le jour. Certains navires sont équipés de revêtement à faible coefficient de frottement, de systèmes de production de bulles qui permettent de lubrifier la zone d'impact ou bien un système de déversement à injection d'air ou à une coque facilitant la brise de la glace (Garde côtière canadienne, 2012).



*Figure 26 Navire « normal » Auteur anonyme*

*Figure 27 Brise-glace, Source : Skeeze (2009)*

Grâce à ces deux figures nous remarquons que la coque des navires de type glace est plus arrondie pour limiter le contact coque-glace. Il y a 7 classes de navires ou classe polaire (CP) de type navigation polaire (transport Canada (2010)):

- CP1 : Navigation durant toute l'année dans toutes les eaux polaires
- CP2 : Navigation durant toute l'année dans des glaces de plusieurs années dans des conditions modérées
- CP3 : Navigation durant toute l'année dans des glaces de deuxième année pouvant inclure des sections de glaces de plusieurs années
- CP4 : Navigation durant toute l'année dans la glace épaisse de première année pouvant inclure des sections de vieille glace
- CP5 : Navigation durant toute l'année dans la glace moyenne de première année pouvant inclure des sections de vieille glace
- CP6 : Navigation en été et en automne dans la glace moyenne de première année pouvant inclure des sections de vieille glace
- CP7 : Navigation en été et en automne dans la glace mince de première année pouvant inclure des sections de vieille glace

#### 1.3.4 Polar code/ réglementation

Afin de réguler la navigation polaire, l'Organisation maritime internationale a rédigé le code polaire en janvier 2017, stipulant des normes obligatoires sur le design, construction, équipement, opération, formation des équipages et protection de l'environnement dont voici quelques exemples de normes obligatoires :

Il demande une communication satellite et HF, l'utilisation d'eau chaude sur les vitres de la passerelle afin d'éviter à celles-ci de givrer. Les embarcations de secours quant à elles doivent être fermées avec une protection thermique, il doit avoir aussi être équipé de combinaisons d'immersion pour chaque membre du navire. Le navire doit être certifié pour la navigation polaire et doit être muni à bord d'un manuel d'exploitation dans les zones polaires.

D'un point de vue environnemental, il est interdit de rejeter les hydrocarbures ou mélanges d'hydrocarbures. Les déchets plastiques ne peuvent être jetés et les autres déchets peuvent l'être selon des règles très strictes. Les eaux usées ne peuvent être jetées en mer sauf si le navire en question contient à son bord un moyen de traitement certifié des eaux usées (Polar code, 2017).

L'entraînement des officiers est spécifique à ces régions avec un enseignement et des tests spéciaux (Polar code, 2017). Pour la sécurité en mer les opérations « search and rescue » sont divisées en sept zones gérées par sept pays qui sont les États-Unis, le Canada, la Russie, le Danemark, la Suède, l'Islande et la Norvège. La direction principale des opérations SAR et la réponse au déversement de pétrole sont organisées par le ministère des transports de la Russie. On compte deux MRCC, de plus un MRSC se rajoute durant la période Juillet-Octobre (CHNL information office, site internet). Chacun d'eux est équipé pour pouvoir intervenir convenablement sur la route du Nord notamment grâce à une flotte de sept brise-glaces dont deux sont spécifiques à la lutte contre une potentielle marée noire. Les données hydrographiques sont en cours d'amélioration grâce au nouvel outil notamment avec les navires comportant des sonars multifaisceaux (4 000 000 à 100 000 000 de sondages pour la même zone relevée) et l'aide de satellites avec le Global positioning system (GPS). Afin de lutter contre l'emprisonnement des navires dans les glaces, la garde côte canadienne proclame une aide de déglacage

dans les 10 heures après l'appel à l'aide. Le gouvernement Russe n'a rien à envier des connaissances des canadiens. En effet, depuis la création de l'empire soviétique jusqu'à aujourd'hui, les russes ont acquis une formidable connaissance de ce terrain hostile et ne cesse d'améliorer leur flotte de brise-glace afin de sauver les navires en difficultés. Il reste à savoir laquelle de ces routes est, ou peu, devenir la plus judicieuse pour le monde de la marine marchande.

#### 1.4 Le choix économique de ces routes

Afin de représenter la différence de bénéfices d'un trajet préféré par le passage de l'Arctique à celui empruntant le canal de suez un calcul des coûts sera nécessaire (tableau n°5&6). Nous utiliserons le navire MV Ruth (annexe III) pour nos calculs.

Pilotage	\$760.95
Suez Canal Dues	\$261,770.39
Total Light Dues <ul style="list-style-type: none"> <li>• Light Dues: Suez</li> <li>• Light Dues: Port Said</li> </ul>	\$6,860.00
Port Dues	\$1,950.00
Port Authority Fees	\$450.00
Ministry Fees	\$1,825.00
Mooring/Unmooring	\$2,589.00
Garbage Dues (northbound only)	\$100.00
Extra Pilotage	N/A
Escort Tugs	N/A
First time canal transit	\$2,550.00
<b>Grand Total USD</b>	<b>\$278,855.34</b>

*Figure 28 Suez toll Source : Wilhelmsen( 2020)*

Le motor vessel (MV) Ruth est un vraquier. Pour le calcul du prix nous avons entré le tirant d'eau de 13,09 mètres, le gros tonnage : 36225 tonnes et le deadweight : 65000 tonnes. À contrario, le passage dans l'Arctique (ors application du Arctic Bills) n'est pas payant, toutefois il peut le devenir en présence de glace dû à l'utilisation de brise-glace ou d'un pilote. Par la suite, nous avons calculé le profit engendré par ces deux routes au départ de Rotterdam. Pour le bunkering, le navire

se chargera à Rotterdam où le prix s'élève à 287,5 \$/mt pour le IFO380 (HFO) et 478,5 \$/mt pour le MGO, prix relevé le 3 février 2020 (bunker index (2020)). Par la suite, le prix moyen est de 722\$/mt pour le MGO dans zones Asie et 601\$/mt dans la zone européenne et le prix pour l'IFO380 est de respectivement 396\$/mt et 338,5 \$/mt. Ainsi, si le navire veut charger en fuel durant le trajet, nous nous baserons sur ces prix. Cependant pour notre calcul nous allons considérer que nous faisons qu'un seul bunkering à Rotterdam.

*Tableau 5 Bénéfices route de Suez Source : Travail personnel (2019)*

		9,00 kts	9,50 kts	10,00 kts	10,50 kts	11,00 kts	11,50 kts	11,60 kts
Days		49,45 d	46,88 d	44,58 d	42,49 d	40,59 d	38,85 d	38,52 d
Dépenses	HFO	133 157,77 USD	147 683,24 USD	163 026,96 USD	179 185,87 USD	196 157,44 USD	213 939,62 USD	217 593,16 USD
	DO	59 128,95 USD	56 060,03 USD	53 298,01 USD	50 799,03 USD	48 527,24 USD	46 452,99 USD	46 059,60 USD
	Op Ship(9k/d)	445 044,81 USD	421 955,78 USD	401 175,65 USD	382 374,57 USD	365 282,69 USD	349 677,06 USD	346 717,37 USD
	Suez toll	278,855.34 USD						
Dépenses	TOTAL	916 186,87 USD	904 554,39 USD	896 355,96 USD	891 214,81 USD	888 822,71 USD	888 925,01 USD	889 225,47 USD
Revenu	Cargo	1 103 763,54 USD						
Bénéfice		187 576,67 USD	199 209,15 USD	207 407,58 USD	212 548,73 USD	214 940,83 USD	214 838,53 USD	214 538,07 USD

*Tableau 6 Bénéfices corridor de L' Arctique Source : Travail personnel (2019)*

		9,00 kts	9,50 kts	10,00 kts	10,50 kts	11,00 kts	11,50 kts	11,60 kts
Days		36,47 d	34,59 d	32,89 d	31,36 d	29,97 d	28,70 d	28,45 d
Dépenses	HFO	95 500,31 USD	106 406,21 USD	117 901,62 USD	129 986,54 USD	142 660,96 USD	155 924,89 USD	158 648,42 USD
	DO	43 602,07 USD	41 350,36 USD	39 323,81 USD	37 490,28 USD	35 823,42 USD	34 301,51 USD	34 012,88 USD
	Op Ship(9k/d)	328 228,15 USD	311 287,36 USD	296 040,65 USD	282 246,00 USD	269 705,42 USD	258 255,32 USD	256 083,75 USD
	Panama toll	0,00 USD						
Outcome	TOTAL	467 330,53 USD	459 043,92 USD	453 266,08 USD	449 722,81 USD	448 189,80 USD	448 481,73 USD	448 745,05 USD
Revenu	Cargo	1 181 009,91 USD						
Bénéfice		713 679,38 USD	721 965,99 USD	727 743,83 USD	731 287,10 USD	732 820,11 USD	732 528,18 USD	732 264,87 USD

Les bénéfices engendrés (tableau n°6) par la route à travers l'Arctique sont bien plus importants que ceux par la route du canal de suez : une différence de bénéfices s'élevant à 517 879,29\$. Le passage par le cercle polaire permet donc un gain de bénéfices et de temps, c'est deux composantes étant les plus importantes à considérer pour l'armateur afin de choisir d'opérer ou non sa flotte par une certaine route. La différence de bénéfices nous permet une grande marge de manœuvre afin de déterminer l'Arctic bills car même si le droit de passage devient payant, il y aura toujours un léger avantage au niveau des bénéfices, l'avantage de temps dû à la réduction restera tout de même important.

## 2 Une retombée économique et géopolitique

### 2.1 Un atout pour la Russie

Après avoir analysé les retombées économiques du Panama suite à la création du canal (§3.2), il y a un réel exemple de ce que les pays de l'arctique et plus particulièrement la Russie peut tirer profit de la conception d'un tel corridor dans l'océan arctique.

Le plus grand pays du monde en superficie, sa population en 2017 était de 144,5 millions d'habitants (banque mondiale, 2017). Le pays est l'une des plus grandes puissances du monde, atout majeur de l'élaboration du monde d'aujourd'hui après la seconde guerre. Après la chute de l'union soviétique en 1991, la Russie voit son économie se dégrader. En effet l'ex superpuissance rejette toute idée de l'économie communiste qu'elle tenta d'intégrer aux autres pays dans la période d'après-guerre. Elle va très vite s'aligner avec les autres puissances occidentales avec une économie de marché (Vercueil, 2001). Avant cette nation se querellait la première place avec les Etats-Unis, aujourd'hui la Russie se place au 12<sup>ème</sup> rang mondial des produits intérieur brut (PIB) en 2020. La grande majorité de ses exportations sont les hydrocarbures ainsi que des produits pétroliers raffinés (72%) et des produits minéraux et métaux (8%) (Berg (2016)). En 2014, la Russie doit faire face à une crise importante : la chute du cours de pétrole et le conflit ukrainien (Vercueil, 2019), le niveau de vie moyen en sera fortement impacté avec une baisse de 10% et une augmentation de la pauvreté (Vercueil, 2019). Néanmoins le taux de chômage est incroyablement bas : 4,6%, cependant ce taux varie selon les régions. La création du corridor permettrait à ce pays de consolider son économie en ne se basant pas seulement sur l'hydrocarbure qui est un marché instable et dont l'engouement mondial pour ce type d'énergie est à la baisse dû à au développement des énergies renouvelables. Ainsi la Russie pourrait miser sur un autre marché qui tend à être plus stable dans les années à venir. Cette nouvelle route contribuera à la création de nouveaux emplois, surtout liées à l'écologie maritime, qui lui permettra de briller devant les autres pays si elle s'efforce de garantir la sécurité et la protection de l'environnement polaire. Le résultat de ce corridor sera l'augmentation du trafic maritime dans cette région, les ports ainsi que les villes portuaires en seront les premiers bénéficiaires. En effet les ports devront s'adapter et s'agrandir, les bureaux et compagnies maritime voudront se

placer au cœur de cette économie induisant la construction de nombreux projets autour des villes portuaires : hangar, bureau, aéroport, routes, ... Le pays pourra compter sur une augmentation des investissements étrangers, investissement qui depuis quelques années sont vus à la baisse (SER Moscou, 2019). De plus, la Russie pourra augmenter sa souveraineté maritime car aujourd'hui la majorité de sa zone côtière se situe en arctique, zones à faible densité au niveau du trafic maritime ; avec une augmentation du transport maritime dans la région polaire, la Russie pourra augmenter sa capacité dans le domaine du contrôle maritime. Le transit par l'Arctique semble être un renouveau dans l'économie qui connaît déjà une augmentation de son activité économique dans la région suite à la découverte de ressources naturelles importante. Mais la Russie ne sera pas le seul état bénéficiaire de ce corridor, en effet plusieurs pays peuvent être acteurs de ce projet. Pourtant il implique plusieurs pays qui par leur histoire tout oppose. Il est bénéfique pour l'économie mais aussi pour la stabilité géopolitique de cette région.

## 2.2 L'atout géopolitique

Différent pays sont impliqués de près comme de loin dans ce projet : La Russie, la Norvège et les Etats-Unis. Ces trois pays sont tous trois dépendant les uns des autres. En effet chacun aura le contrôle d'entrée et de sortie sur les navires transitant par l'Arctique. Dans le sens Europe-Asie, la Russie contrôlera l'entrée et la sortie ; dans le sens Asie-Europe, les Etats-Unis contrôleront l'entrée et la Norvège la sortie. On parle de contrôle suite aux exigences requises pour pouvoir transiter par le corridor de l'Arctique. Tout navire doit s'annoncer quand il entre dans la zone de contrôle, répondre aux questions vessel traffic service (VTS) classique et supplémentaire à cette zone. Les querelles entre Russie et Etats-Unis ne sont plus à énumérer. Historiquement, la Norvège n'a eu aucun conflit avec la Russie même si cette dernière est membre de l'organisation du traité de l'atlantique (OTAN). La Norvège reste un compétiteur potentiel dans la quête du grand nord (Godzimirski, 2011), la création du corridor transformerait cette compétition en une collaboration. Une collaboration entre ces trois pays, surtout entre américains et russes serait une manière de désamorcer les tensions dans cette région et pourrait réduire les conflits à portée mondiale entre ces deux grandes puissances. L'Union Européenne (UE) a été citée lors de la création du corridor et l'élaboration de l'Arctic Bills. L'UE n'a pas d'impact territorial comme les

autres pays en théorie. Par ailleurs, la principale motivation de créer une telle route dans le cercle arctique vient du trafic majeur entre l'Europe et l'Asie. L'Union Européenne doit alors participer à l'élaboration de ce projet, projet qui peut apporter d'importants bénéfices aux états membres. Aux vues de son investissement pour l'élaboration de la route et la protection de l'environnement, l'UE pourra toucher une petite partie de l'argent récolté grâce à l'Arctic Bills. Un pays bien loin du cercle polaire peut lui aussi avoir un intérêt à investir sur cette route, la Chine. Contrairement à l'Europe qui par le Danemark et la Finlande a des territoires en arctique, cette dernière ne pourra en aucun cas prétendre recevoir de gain rapporté sur l'Arctic Bills. Par contre, la Chine pourra engendrer de plus gros bénéfices avec cette route, car elle pourra accélérer sa production grâce au transport plus rapide de ses produits. Dernièrement, elle a vu un ralentissement de sa production, à cause d'une guerre commerciale avec les Etats-Unis et plus récemment en 2020 avec l'apparition d'un coronavirus. Ce ralentissement souvent éphémère peut être alors éventuellement rattrapé en envoyant plus de ses produits par la route du Nord, pouvant ainsi remplir ses commandes à temps. En définitive, ces 3 grandes puissances, principaux acteurs de la gestion économique du monde d'aujourd'hui, devront mettre de côté leur différent afin de développer dans l'arctique un nouvel eldorado économique. Mais afin de consolider une entente, les intérêts économiques ne doivent pas être le seul garant de la stabilité de cette région. Ainsi droit maritime et droit international doivent limiter toute escalade de conflit à cause de cette route. Pour mieux comprendre les atouts et la complicité d'un projet de ce type, il faut avoir une vision antérieure sur ce qui a déjà été accompli aux cours des siècles avec des résultats positifs comme négatifs. Pour cela, il faut aller dans une région à des kilomètres du pôle nord avec un écosystème très différent du monde polaire mais avec des similarités intéressantes avec le corridor de l'Arctique : le canal de Panama et de Nicaragua.

3 Un exemple de canal et ses répercussions écologiques et économiques : le canal de Panama

### 3.1 Histoire

Le Canal de Panama (figure n°29) voit ses débuts en 1880 (Degos & Hauret, 2008), grâce à une ambition française de voir relier l'Océan Pacifique et l'Océan Atlantique

en Amérique centrale afin de réduire le temps de transport par voie maritime. C'est Ferdinand de Lesseps qui entreprit ce projet juste après sa réussite pour un projet de même ampleur : le canal de Suez. Le projet de Ferdinand de Lesseps fut un échec dû aux difficultés du terrain tropical et de la fièvre jaune (21 900 ouvriers décèdent entre 1882 et 1887), le projet tombera en désillusion en 1887.

Le Panama déclare son indépendance vis à vis de la Colombie et devient une république le 3 novembre 1903. C'est le 4 mai 1904 que les travaux pour la création du canal reprirent cette fois menés par les Américains. Le canal fut ouvert à la navigation en 1914 quelques semaines après le début de la première guerre mondiale (Slack&McCalla, 2003). Le canal sera sous contrôle des Etats-Unis jusqu'au 31 décembre 1999 (Llacer, 2004).

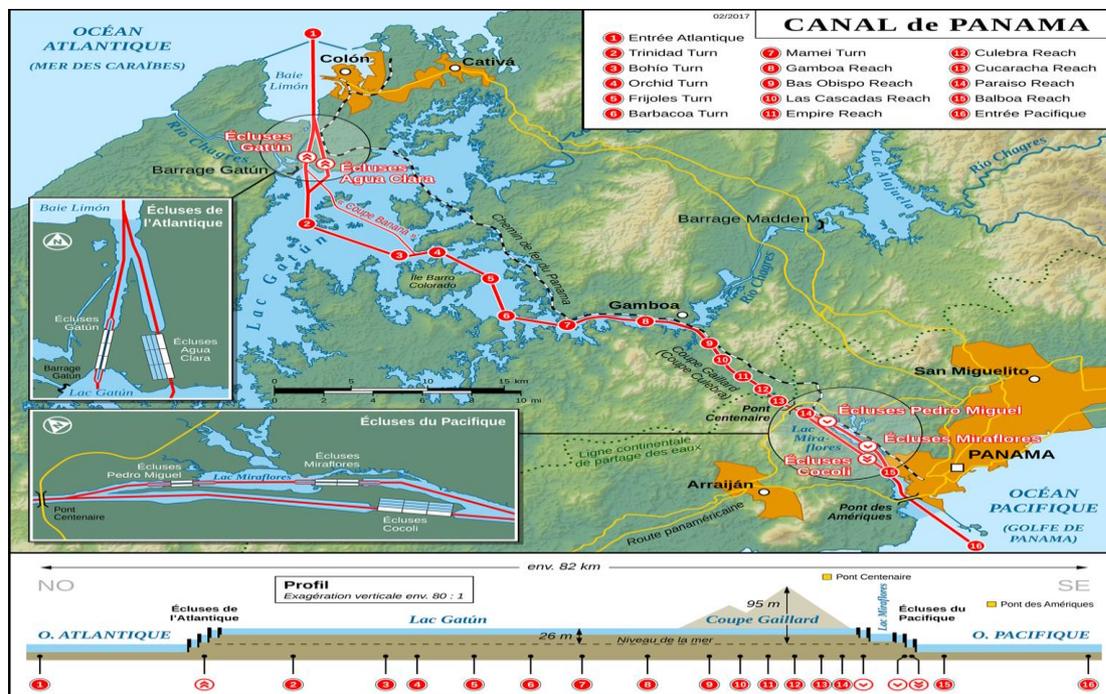


Figure 29 Canal de Panama, Römer, février 2017

### 3.2 L'importance géopolitique et économique du Canal

Le Panama doit constamment faire face à la compétition du marché. Les recettes du canal représentent 15% du PIB du pays faisant vivre plus de 220 000 habitants et entre 150 et 200 millions de dollars sont versés à l'état (MALEVILLE, 2007). Aujourd'hui le canal représente 4% du trafic mondial et 35% des marchandises transportées depuis le Nord-est de l'Asie jusqu'à la côte Est des Etats-Unis (MALEVILLE, 2007).

En se déchargeant de la domination américaine, le gouvernement du Panama voit ses bénéfices rendus du canal nettement supérieurs qu'auparavant. Son indépendance économique permet d'attirer de nombreux investisseurs et compagnies maritimes (1350 compagnies dans les années 90), (Slack & McCalla, 2003). Le canal ne s'appuie pas seulement sur le transport de cargo mais aussi sur le commerce touristique grâce aux navires de croisières naviguant entre l'Alaska et les Caraïbes. En 2001 on comptait 231 navires de croisières faisant escale au canal de Panama (Slack & McCalla, 2003).

*Tableau 7 top 5 des pays utilisant le canal de Panama en 2019 Source : Panama canal authority (2019)*

Pays	Origine	Destination	Total	Pourcentage
États-Unis	109 117 170	60 411 664	169 528 834	66,4%
Chine	20 893 644	13 314 706	34 208 350	13,6%
Japon	6 511 797	27 622 221	34 134 018	13,5%
Chili	13 632 171	16 878 918	30 511 089	12,1%
Mexique	7 427 862	21 343 346	28 771 208	11,2%

C'est dans cette vision de profit et pour faire face à l'augmentation de la taille des navires que le projet d'élargissement du canal pris place. Les travaux s'étendent entre 2009 et 2016 et permettent aux navires Néopanamax de transiter par le canal (Canal de Panamá, 2018).

L'inauguration de l'élargissement pris place le 26 juin 2016 et depuis la moitié des navires qui l'empruntent sont des porte-conteneurs suivis par les Liquefied petroleum gas (LPG) et LNG.

*Tableau 8 dimensions Panamax/Neopanamax Source : Maritime connector*

	Panamax	Neo-panamax
Longueur	284,13m	366m
Largeur	32,31m	49m
Tirant d'eau	12,04m	15,2m
TEU	5000	13000

L'élargissement permet une augmentation de 28% en deux ans de la taille des porte-conteneurs transitant par le canal.

Dès à présent le canal prévoit une augmentation de 6% de la taille des porte-conteneurs chaque année (Canal de Panamá, 2018).

Le canal de Panama a aussi un apport bénéfique sur d'autres pays. Un exemple des plus important est les Etats-Unis ; l'élargissement a permis au port de Baltimore dans l'Est des Etats-Unis de voir une augmentation de 14% de son business, due aux porte-conteneurs (Canal de Panamá, 2018).

Il n'en reste pas moins certaines menaces géopolitiques car l'accès au canal par l'Atlantique est grandement dû à certains accords bilatéraux entre les pays de l'arc Antillais.

Voici quelques-uns des accords passés (Vigarié, 2000) :

- 1976 : accord entre le Mexique et Cuba pour le détroit de Yucatàn
- 1977 : accord entre Cuba et les Etats-Unis pour le détroit de Floride
- 1977 : accord entre Haïti et Cuba pour le détroit du vent

Ces accords sont tenus et respectés grâce à une forte présence Américaine dans cette région qui n'hésite pas à utiliser sa force militaire afin de garantir un passage sûr dans les caraïbes (débarquement militaire à Grenade en 1983). Le passage du canal dépend donc de la politique du pays mais aussi des pays limitrophes. L'Amérique centrale cumule encore certains maux dû à sa politique passée : corruption, drogue, conflit pour la détermination des Zones Exclusives Économiques et zones de pêches. Les Etats-Unis après les accords passés avec le Panama (traité Carter-Torrijos en 1977) assure la neutralité du canal et pouvant utiliser leur force militaire sur ce territoire afin de maintenir cette neutralité (Vigarié, 2000)).

Le canal de Panama permet aux navires de ne pas passer par la route « traditionnelle » qui consiste à passer par le cap Horn. Cette route subsidiaire permet de réduire le temps de navigation, par exemple un trajet reliant l'Est de la Colombie à Hong-Kong est réduit de 2740 miles nautiques (Llacer, 2014). Prenons pour exemple le navire porte-conteneur de la compagnie CMA CGM le « Christophe Colomb ». En traversant le canal de Panama à une vitesse économique de 17

nœuds, il gagnera approximativement 6 jours et 17 heures de voyage. Sa consommation quotidienne de carburant est de 300 tonnes (Groizeleau, 2010), c'est donc plus de 1950 tonnes de carburant économisé

*Tableau 9 Bénéfices par le passage du canal de Panama Source : travail personnel avec Debie&Boiton (2019)*

		9,00 kts	9,50 kts	10,00 kts	10,50 kts	11,00 kts	11,50 kts	11,60 kts
Days		48,40 d	46,11 d	44,05 d	42,19 d	40,49 d	38,95 d	38,65 d
Dépenses	HFO	174 208,76 USD	192 516,20 USD	211 813,22 USD	232 099,84 USD	253 376,05 USD	275 641,85 USD	280 213,76 USD
	DO	80 430,00 USD	76 625,78 USD	73 201,98 USD	70 104,25 USD	67 288,14 USD	64 716,90 USD	64 229,25 USD
	Op Ship(9k/d)	435 598,04 USD	415 003,74 USD	396 468,87 USD	379 699,23 USD	364 454,10 USD	350 534,63 USD	347 894,73 USD
	Panama toll	115 513,00 USD						
Dépenses	TOTAL	805 749,80 USD	799 658,71 USD	796 997,07 USD	797 416,32 USD	800 631,28 USD	806 406,38 USD	807 850,75 USD
Revenu	Cargo	1 104 802,34 USD						
Bénéfice		299 052,54 USD	305 143,63 USD	307 805,27 USD	307 386,02 USD	304 171,06 USD	298 395,96 USD	296 951,60 USD

*Tableau 10 Bénéfices par le passage par Cap Horn Source : propre travail personnel avec Debie&Boiton (2019)*

		9,00 kts	9,50 kts	10,00 kts	10,50 kts	11,00 kts	11,50 kts	11,60 kts
Days		71,77 d	68,20 d	64,99 d	62,08 d	59,44 d	57,02 d	56,57 d
Dépenses	HFO	232 940,15 USD	261 499,83 USD	291 603,27 USD	323 250,48 USD	356 441,46 USD	391 176,20 USD	398 308,40 USD
	DO	119 279,39 USD	113 344,79 USD	108 003,64 USD	103 171,18 USD	98 778,03 USD	94 766,89 USD	94 006,16 USD
	Op Ship(9k/d)	645 910,54 USD	613 783,34 USD	584 868,87 USD	558 708,16 USD	534 925,69 USD	513 211,26 USD	509 093,01 USD
	Panama toll	0,00 USD						
Outcome	TOTAL	998 130,08 USD	988 627,96 USD	984 475,78 USD	985 129,81 USD	990 145,17 USD	999 154,35 USD	1 001 407,57 USD
Revenu	Cargo	1 181 009,91 USD						
Bénéfice		182 879,83 USD	192 381,95 USD	196 534,13 USD	195 880,10 USD	190 864,74 USD	181 855,56 USD	179 602,34 USD

La différence de bénéfice (tableau n°9&10) entre le passage du Cap Horn et celui par le Panama était de 111 271,14 dollars américain et un gain de temps de 20 jours pour relier Vancouver (Canada) à Lisbonne (Portugal). Pour cela nous avons utilisé les données du vraquier Mv Ruth (voir annexes). Ainsi l'ouverture du canal a permis aux navires un gain de bénéfices mais aussi un gain de temps. Ce gain de temps permet aussi à la compagnie de se concentrer plus vite sur d'autres contrats et ainsi augmenter son nombre de contrats par an. Ainsi ce même procédé sera utilisé pour connaître la rentabilité par la route de l'arctique. Cependant l'ouverture du canal de Panama semble être une avancée bénéfique pour le monde maritime mais il est important de connaître par-delà son impact économique, son impact écologique durant sa construction et durant son opération d'hier à aujourd'hui.

### 3.3 L'incidence environnementale du Canal de Panama

Il est clair que le fait de creuser un canal dans un endroit où la végétation est abondante avec une faune tropicale importante ne peut pas être bénéfique pour l'environnement Panaméen. Le canal bien avant son expansion était déjà un très grand consommateur d'eau. Chaque passage d'écluse a besoin de 166 millions de litres d'eau (Slack & McCalla, 2003). Cette eau vient des lacs adjacents (lacs Gatun et Madden) permettant aussi l'approvisionnement domestique des habitants de la ville de Colon. La déforestation pour ce projet pharaonique a été très importante. La population d'espèces d'oiseaux dans l'Amérique du Sud est la plus diversifiée au monde (Stotz et al. 1996). Le Panama est une région avec beaucoup de diversité végétale, bien plus que la forêt amazonienne. La déforestation pour l'élargissement du canal induit une diminution des stocks d'eau pour les forêts environnantes ce qui pose un problème écologique (l'utilisation du canal sans eau n'est plus possible) et économique (Condit, Robinson & al., 2001).

## 4 L'échec de l'élaboration d'un canal : Le canal de Nicaragua

### 4.1 Analyse de la conception du canal

Le canal de Panama étant le seul de ce type en Amérique, voir même le seul à l'échelle mondiale, un véritable monopole s'est créé. C'est donc la course à la concurrence qu'a voulu entreprendre le « Hong-Kong Nicaragua Canal Development Investment Co (HKND) ». L'Amérique latine est un atout stratégique majeur, elle sert de passage entre les pays du Nord et Sud et ces richesses sont multiples : pétrole au Venezuela, lithium en Bolivie, minerai au Brésil... Les investissements étrangers (Chinois) ne se concentrent pas non seulement sur la conception et la construction mais aussi sur les développements extérieurs au canal : aéroport, hôtel, port, centrale électrique... (Chen, Zeng & Deng, 2016). La réalisation du canal promet une duplication de l'économie brute et un important taux de croissance ainsi que l'ouverture de 200000 emplois (Doerr, 2015) permettant au Nicaragua qui est l'un des pays les plus pauvres d'Amérique latine d'améliorer le seuil de pauvreté de son pays. Il est évident que ces investissements ne sont pas gratuits, après la construction du canal le HKND aura le contrôle de

celui-ci pendant 50 ans avec une possibilité de renouveler ce contrôle pendant 50 années supplémentaires.

L'idée du canal du Nicaragua est de relier l'océan Pacifique à la mer des Caraïbes, la longueur est de 275,5 kilomètres. En prenant en compte les différents facteurs de sécurité (vents latéraux, courants, vagues, marées, densité de l'eau) le canal d'une profondeur située entre 26,9 mètres et 30,2 mètres assure un dégagement sous la quille satisfaisant à n'importe quel endroit. La largeur du fond est de 280 mètres et 230 mètres dans les endroits confinés, ces dimensions sont basées sur les facteurs suivants : vitesse du navire, niveau de dangerosité de la cargaison, largeur des navires cibles, surface du fond, présence d'aide à la navigation, profondeur, courant latéral/longitudinal, dégagement des bancs, vent (HKND Group, 2014). La conception du canal est basée sur le passage de navires cibles (tableau n°11).

*Tableau 11 Navires cibles du canal de Nicaragua Source : HKND Group, 2014*

Type de navire	Capacité cargaison	Longueur (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau max (m)
Portes-container	25000 TEU	500	72	18
Very Large Crude Carriers (VLCC)	320000 DWT	330	60	20
Ultra Large Bulk Carriers (ULBC)	400000 DWT	365	65	23,5

L'un des enjeux de la construction d'un tel canal est la gestion de l'eau pour le passage des navires, et surtout pour les écluses.

Les deux écluses, Brito et Camilo, consomment à elles deux 59,2 mètres cube par seconde (HKND Group, 2014). Il va de soi qu'une bonne connaissance du territoire et de ses réserves d'eau est importante.

Le trajet du canal du Nicaragua traverse de nombreux cours d'eau, qui peuvent être utilisés afin d'approvisionner le canal. Ces cours d'eau vont être déviés et contrôlés pour rejoindre le canal. Par contrôle, nous entendons la gestion de

l'écoulement, pour éviter une érosion trop importante due à l'écoulement de l'eau et donc un débit plus important. Pour cela, des blocs de béton (figure n°30) ont été posés dans les rapides pour ralentir la vitesse du courant.



*Figure 30 ralentisseur de courant Source : MEC Mining 2014*

La construction du canal se concentre beaucoup sur le dragage.

En effet il faut creuser suffisamment pour permettre aux navires d'avoir un passage non dangereux pour leur tirant d'eau. De plus la topographie et le souci environnemental pose de nombreuses difficultés de réalisation.

Pour cela des dragueurs à aspiration hydraulique ainsi que des « cutterhead » seront utilisés. Le sable récupéré sera placé sur des barges qui vont ensuite déposer le sable dans un endroit, dit lieu de dépose.

Le creusement sera donc conduit en 3 étapes :

- Initial : se concentrant sur les parties sans courant important et rivières
- Secondaire : les sédiments récupérés lors de l'étape 1 sont utilisés pour diriger des courants d'eau et d'autres sites de creusement prennent place.
- Final : creuser les derniers endroits « bouchés » et la rivière commence à se vider dans le canal.

#### 4.2 Le problème environnemental du canal

Même sans aucune connaissance en environnement chacun de nous peut déjà percevoir que la construction d'un tel canal dans cette région du monde peut avoir de désastreuses conséquences sur l'environnement régional. Mais qu'elles sont ces conséquences ?

Comme vu précédemment dans la construction du canal, il faudra creuser sur de nombreux hectares, détruisant tout l'écosystème et le processus de sédimentation.

L'usage intensif de dragueurs menace les œufs de certaines races de tortue venues pondre. Également les mangroves, dans lesquelles les jeunes pousses seront détruites par ces opérations sans oublier la présence de coraux dans la région.

De plus le canal nécessite la réalisation d'un énorme réservoir d'eau, ceci aura pour conséquence la destruction de plus de 400.000 hectares de forêt et de zones humides (Meyer & Huete-Pérez, 2014).

De plus, le trajet du canal se trouve à 250 kilomètres au nord de la réserve « Bosawas » et à 115 kilomètres de la réserve « Indio Maiz ». Encore plus préoccupant, le canal couperait par la « Silva Natural reserve », c'est une véritable menace pour de nombreux peuples indigènes qui devront être délocalisés, ce qui raviverait certains conflits civils dans le pays. Par ailleurs, le passage dans cette réserve s'attaquerait à l'un des écosystèmes les plus fragile d'Amérique central.

Les lacs aux alentours servant de réservoir, seront victimes de salinisation à cause des écluses, ce qui va décimer une partie de la faune et la flore aquatique de ces lacs.

L'une des démonstrations les plus importantes serait sur le lac Nicaragua d'une superficie de 8264 km<sup>2</sup> (Chen, Zeng & Deng, 2016) ce qui fait de lui la source principale d'eau fraîche du pays, d'où dépendent beaucoup de personnes au Nicaragua. De plus on compte une douzaine d'espèces, en effet le lac du Nicaragua est le seul au monde à avoir des poissons marins dans ces eaux (Chen, Zeng & Deng, 2016) comme le *Carcharhinus leucas*, étant un requin pouvant vivre aussi bien dans l'eau douce que l'eau salée. La profondeur du lac est en moyenne de 15 mètres, le projet est de creuser pour que cette profondeur passe à 28 mètres, ce qui représente un travail colossal et surtout le déplacement de sable, boue, gravas serait énorme.

L'apport de polluants dans ces eaux peut faire chuter la concentration d'oxygène dans l'eau et apporter de nouveaux composants chimiques néfastes pour la biosphère. Aussi, le passage des navires de commerce et les dragueurs peuvent endommager le bord des rivières par la création de petites vagues.

N'oublions pas que les navires venants de régions géographiques bien différentes de celles de l'Amérique central peuvent amener avec eux des espèces invasives dans leurs cargaisons ou ballasts.

La faune et la flore terrestre seront aussi impactées, les animaux vont voir leurs territoires se confiner dû au canal et à ces infrastructures. Les réserves de Bosawas et Indio Maiz permettent la migration des animaux de l'Amérique du sud vers l'Amérique du nord et vice versa, mais le canal pourrait couper ce passage et lors de sa conception détruire l'habitat et les réserves de nourriture de certains animaux en voie de disparition tel que le jaguar ou le singe araignée.

#### 4.3 La chute d'un projet non viable

Le nouveau canal qui devait être opérationnel en 2020 ne verra (probablement) pas le jour.

Comme vu précédemment ce projet est pharaonique et difficilement réalisable. Sa conception, dans un milieu hostile et fragile, est réalisée par une compagnie étrangère à cette région géographique.

L'aboutissement de ce projet demande de lourds investissements que promettait un milliardaire chinois, Wang Jing. Mais le krach boursier de l'été 2015 (Adda, 2015) met le milliardaire dos au mur. Il perdra sa fortune, son ambition de créer le canal et disparaîtra de la circulation peu de temps après.

Ce n'est pas seulement la perte de son principal investisseur qui causa la faillite de ce projet. Bien avant, la plupart des citoyens étaient contre ce projet, car le gouvernement donne le droit à la compagnie Hongkongaise d'exproprier tous les habitants sur le trajet ou aux alentours du canal.

Des réponses violentes ont été commises par ces habitants qui sont pour la plupart des fermiers ou des tribus amérindiennes. Le gouvernement a mis l'armée au service de la sécurité du canal ce qui envenima encore plus les choses (Doerr, 2015).

L'exemple de l'échec de la construction du canal de Nicaragua, permet d'appréhender les risques que présentes, même à l'époque actuelle, la conception d'un canal, dans notre cas d'un passage nord-est.

L'impact environnemental entre un canal artificiel et un corridor déjà existant peut être difficilement comparable, mais pour ces 3 projets, c'est l'arrivée de l'activité humaine dans un environnement fragile qui est un impact majeur. Le corridor de l'Arctique verra son environnement modifié par les opérations de dragage, l'arrivée d'une nouvelle population et avec celle-ci l'arrivée d'entreprises, routes, villes,...

Lors de la conception du passage du Nord-est dans les eaux de l'Arctique, il ne faudra pas seulement se concentrer sur l'aspect écologique et environnemental mais aussi sur les aspects géopolitique, géographique et culturel de la région. Comme pour le canal de Panama et du Nicaragua, la connaissance du milieu et l'étude de chaque m<sup>2</sup> du trajet et des alentours est primordiale.

Avec une vision futuriste et l'apprentissage du passé des projets de canal ou de corridor, il est possible d'apporter une vision globale à toute cette recherche afin de connaître la viabilité d'un corridor dans le grand Nord.

### **VIII) Vision globale de cette recherche**

1 Route du Nord ou canal de Suez : que choisir ?

Afin de faciliter le choix pour les entités voulant transiter par l'arctique, il est plus facile de représenter avec un tableau en comparant la route de l'Arctique à sa grande sœur la route par le canal de suez. Le tableau réunira différents points important pour les choix de route, la route avantageée sera mentionnée d'un (+) et la route désavantageée par ce point sera mentionnée d'un (-).

*Tableau 12 Tableau de choix route de l'arctique et suez.*

*Source : travail personnel, 2020*

	Arctique	Suez
Gain de temps	+	-
Economie carburant	+	-
Bénéfice	+	-
Dangerosité de la navigation	-	+
Coût opérationnel hors carburant	-	+
Piraterie	+	-
Retard possible	-	+
Mesure environnementale	+	-
Impact environnemental	-	+

Certains points restent encore en suspens tels que la dangerosité de la navigation car la conception du corridor est en grande partie pour développer la sécurité lors du transit.

On distingue deux colonnes pour le sujet de l'environnement :

Premièrement, les mesures environnementales appliquées. Le corridor polaire en sort gagnant car ces mesures tel que la zone ECA, le contrôle des navires polluants, la gestion des déchets et la politique favorisant les navires moins polluants permettent dans un premier temps de préserver le plus possible l'environnement polaire.

Ces répercussions peuvent être mondiales car un navire changeant pour une exploitation plus écologique a de grandes chances de ne pas seulement se restreindre à la zone polaire pour cette exploitation.

Deuxièmement, l'impact environnemental bien que limité reste plus important sur la route de suez. En effet un changement du territoire polaire est nécessaire (dragage, construction de nouveaux bâtiments, augmentation des activités humaines) ainsi qu'une augmentation du trafic maritime dans une zone auparavant peu exposée. C'est pour cela que le canal de suez est alors plus avantageux car il n'y a pas de changement du paysage.

L'un des points qui n'a pas été traité est le coût de la maintenance, en effet la navigation dans la glace induit des dommages plus conséquents sur certaines parties du navire. Elle demande une maintenance plus accrue qu'ailleurs mais ceci ne doit pas être forcément vu comme un désavantage car la maintenance permet de maintenir au mieux l'état du navire et ainsi éviter un accident ou une immobilisation dû à d'importantes détériorations.

Ainsi le corridor de l'arctique a un maigre avantage par rapport à la route traditionnelle par Suez et de plus elle est très tributaire de la fonte des glaces. Or mis le fait d'élucider les avantages d'un nouveau corridor dans l'Arctique, cette thèse a permis de montrer les différentes tâches et problèmes que peuvent poser la conception d'un tel projet dans le monde d'aujourd'hui.

Mais alors quelles ont été les différentes choses que cette recherche nous apprend et à quelle discussion mène-t-elle ?

## 2 Discussion

Tout au long de cette recherche, il a été montré que la conception d'un tel corridor ne se résume pas seulement à la conception d'un tracé taillé dans la terre, dragué dans un milieu aquatique ou bien simplement réalisé à l'aide de cartographie.

Aujourd'hui, l'impact environnemental de la construction d'un tel projet est l'une des principales questions lors de la réalisation. Ceci est grandement dû à la conscience écologique grandissante à travers tous les pays et par le fait qu'un pays doit montrer patte blanche sur ce genre de projet pour attirer des investisseurs étrangers.

Il existe diverses façons d'implanter une telle route en minimisant son impact. Lors de la recherche beaucoup de conceptions et d'idées ont été utilisées mais il reste encore une multitude de procédés afin de réduire le plus possible l'impact environnemental.

Les opérations terrestres sont aussi plus importantes que celles entreprises au large.

Il a fallu penser aux systèmes de communication, de veille à la navigation par la conception de nouveau MRCC/MRSC. Il faut développer les zones portuaires afin d'accueillir de plus gros navires et en plus gros nombre, développer un système de gestion des déchets si cela n'a pas encore été fait.

Comme l'a cité Victor Hugo « la mer est un espace de rigueur et de liberté » et c'est dans cette idée qu'une étude du droit maritime est nécessaire afin d'assurer le passage des navires de toutes les nations du monde.

Mais cette liberté peut alors être enlevée si le navire ne fait pas preuve de rigueur devant les lois imposées le long du corridor. Le droit maritime est un droit international cependant, le corridor implique la coopération de pays gouvernant de façons très différentes qui entretiennent des relations complexes. Mais une coopération est primordiale et peut ouvrir à de nouveaux échanges. Cette recherche a permis de voir le manque de moyens encore peu présents dans cette région même si elle ne cesse de s'améliorer.

L'idée de faire transiter les navires par l'Arctique ne date pas d'aujourd'hui, cependant grands nombres des recherches sérieuses ont été menées ces dernières années.

La conception de la route reste basique, elle se base sur le pilot book de l'amirauté sur la route du nord, la NOAA ainsi que les volumes ALRS. Pour finir, ces recherches ont permis de prouver la viabilité d'une telle conception, le passage de l'Arctique n'est plus un mythe. Il ne doit pas être vu comme un moyen de concurrence avec les autres routes mais comme une nouvelle artère du commerce maritime (Serry, Alix&Sencila, 2019).

## **IX) Conclusion finale**

L'Arctique est pourvu d'un environnement fragile avec une faune et une flore qui se sont adaptées au fil des siècles à ce milieu hostile et désertique.

Cette adaptation en a fait l'un des environnements les plus fascinants et les plus rares. Sa fragilité est sans cesse mise à l'épreuve.

Aujourd'hui, cet environnement est mis à mal par le réchauffement global de la planète. Cette région se voit plus impactée que toutes autres régions hormis l'Antarctique, avec en prévision des augmentations de température entre 2 et 9°C (Anisimov et al., 2007) et cette augmentation s'accélère.

Ce changement de climat a un impact direct sur le paysage polaire : la fonte des glaces.

Les différents relevés satellites ont permis de prendre conscience du problème et permettent d'avoir une vue d'ensemble de la réduction de la concentration glaciale au fil des années. Cette diminution de la banquise dans l'Arctique a produit un engouement mondial des compagnies maritime pour l'ouverture de nouvelles routes dans les hautes latitudes permettant à leurs navires de gagner un temps considérable pour joindre l'Europe à l'Asie tout en réduisant leur consommation de carburant.

Par rapport à la route passant par le canal de Suez, l'Arctique permet des économies significatives aux armateurs qui l'empruntent.

À première vue, l'Arctique semble être un bon compromis et permettrait de fortifier l'économie maritime.

Cependant, cette région connaît très peu d'activité humaine et reste très peu développée par rapport aux autres régions du globe. La navigation est menacée par une glace pouvant être d'épaisseur importante obligeant les navires de naviguer avec l'aide d'un brise-glace.

En plus d'une navigation difficile dans la glace, les navires doivent faire face à un climat polaire menaçant la structure du navire ainsi que le bon fonctionnement des équipements.

Les officiers doivent naviguer avec une cartographie et des données hydrographiques souvent imprécises.

D'un point de vue globale, l'augmentation du trafic maritime menacerait l'écosystème polaire. Les navires étant un pilier de l'économie mondiale basée sur la mondialisation, ce mode de transport n'en reste pas moins l'un des plus polluants.

C'est dans cette idée que la création d'un corridor permettant d'améliorer la sécurité de la navigation et de préserver le plus possible l'environnement par :

- Des restrictions des navires vieillissants ou dangereux
- Un contrôle accru de tout navire transitant par la route du nord
- La création de service de gestions des déchets

Un passage forfaitaire pour les navires permettra de financer les différents services et opérations maritimes et de protection de l'environnement dans la route du nord et d'apporter un profit aux différents gouvernements du cercle polaire.

C'est alors que la conception d'un tel corridor n'est plus seulement un intérêt économique mais aussi un intérêt géopolitique associant des pays se faisant souvent face ces dernières années. C'est donc une entente internationale avec une vision de paix que peut apporter ce corridor.

Par ailleurs, sa conception doit être réfléchie, il faut alors travailler en prenant en exemple la conception de projets similaires, le canal de Panama et celui du Nicaragua.

Ces deux projets montrent bien l'atout considérable que peut apporter la création d'une telle route pour les pays environnant mais aussi pour l'économie maritime mondiale. Mais la conception de ce genre de projet peut avoir de graves impacts sur la faune et la flore environnante qui vont voir leur écosystème chamboulé par la construction et l'opération du canal.

L'échec du Nicaragua nous apprend que ce travail ne doit pas être isolé mais bien un projet commun afin de réduire tout risque de faillite lors de la construction, il rappelle aussi que même dans un monde où il faut toujours être rapide et tenter d'écraser la concurrence, la précipitation peut avoir comme conséquence des

grands échecs comme l'a montré la réalisation du canal de Nicaragua. Il est évident que les problèmes de conception et d'impact sur l'environnement ne seront pas exactement les mêmes entre le canal du Panama/ Nicaragua et le corridor de l'Arctique car cette comparaison s'effectue entre un canal artificiel et un corridor déjà existant et de plus dans des régions à l'environnement très différent. Cependant le corridor a besoin d'un apport humain pour se sécuriser avec de nombreuses opérations de dragages pour permettre un UKC correct, passage de brise glace ou autres opérations visant à réduire la glace,... Il ne faut donc pas faire un copier collé du travail accompli en Amérique centrale mais en tirer toutes les leçons pour la création du corridor en Arctique.

Pour conclure, Sitting Bull a dit « La terre n'appartient pas à l'homme, c'est l'homme qui appartient à la terre ».

Afin de protéger l'Arctique, l'humanité devrait songer à laisser l'Arctique libre de toute activité humaine afin de préserver son environnement. Par ailleurs, le monde ne semble pas vouloir laisser une telle idée de liberté se faire.

C'est alors que la conception d'un corridor prend tout son sens afin de protéger au maximum cet écosystème déjà bien affaibli.

## Bibliographie

- 2019 | Arctic Sea Ice News and Analysis. (s. d.). Consulté à l'adresse <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2019/>
- 2019 Headlines. (s. d.). *Arctic Program*. Consulté le 21 février 2020, à l'adresse <https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2019>
- Accord définitif au forage de pétrole et de gaz dans l'Arctique. (2015, 17 août). *Le Monde.fr*. Consulté à l'adresse [http://www.lemonde.fr/energies/article/2015/08/17/feu-vert-definitif-au-forage-de-petrole-et-de-gaz-dans-l-arctique\\_4728342\\_1653054.html](http://www.lemonde.fr/energies/article/2015/08/17/feu-vert-definitif-au-forage-de-petrole-et-de-gaz-dans-l-arctique_4728342_1653054.html)
- Adda, J. (2015). Quand la Chine fait des bulles. *Alternatives Economiques*, N° 349(9), 3030.
- Air pollution characteristics and their relationship with emissions and meteorology in the Yangtze River Delta region during 2014-2016 | Elsevier Enhanced Reader. (s. d.). doi:10.1016/j.jes.2019.02.031
- Anisimov, O.A, Lavrov, S. A., & Reneva, S. A. (2005). Modelling the emission of greenhouse gases from the Arctic wetlands under the conditions of the global warming. *Climatic and Environmental Changes*, 2139.
- Anisimov, Oleg A, Vaughan, D. G., Callaghan, T., Furgal, C., Marchant, H., Prowse, T. D., Vilhjálmsson, H., et al. (s. d.). Polar regions (Arctic and Antarctic), 34.
- Arbugaeva, E. (2014). The Colors of Tiksi. *Virginia Quarterly Review*, 90(1), 158173.
- Arctic Council addresses meteorological cooperation and connectivity during week of events in Finland—Arctic Council. (s. d.). Consulté le 22 avril 2018, à l'adresse <http://www.arctic-council.org/index.php/en/our-work2/8-news-and-events/486-sao-levi-2018-02>
- Arctique: La fonte des glaces de mer s'accélère. (s. d.). Consulté le 21 février 2020, à l'adresse <http://www.meteofrance.fr/actualites/78418660-arctique-la-fonte-des-glaces-de-mer-s-accelere>
- Atlas Transmanche—Espace Manche. (s. d.). Consulté le 6 février 2020, à l'adresse <https://atlas-transmanche.certic.unicaen.fr/fr/page-255.html>
- Autissier, I. (2019). Faire évoluer les règles du maritime en fonction de son impact sur l'environnement. *Revue juridique de l'environnement*, Volume 44(2), 227230.
- Average Bunker Prices. (s. d.). *Ship & Bunker*. Consulté le 3 février 2020, à l'adresse <https://shipandbunker.com/prices/av>
- Batista-Andrade, J. A., Caldas, S. S., Batista, R. M., Castro, I. B., Fillmann, G., & Primel, E. G. (2018). From TBT to booster biocides: Levels and impacts of

antifouling along coastal areas of Panama. *Environmental Pollution*, 234, 243252. doi:10.1016/j.envpol.2017.11.063

Berg, E., & Daguzan, J.-F. (2016). Situation et perspectives de l'économie russe. *Geoeconomie*, N° 78(1), 7589.

Boé, J., Hall, A., & Qu, X. (2009). September sea-ice cover in the Arctic Ocean projected to vanish by 2100. *Nature Geoscience*, 2(5), 341343. Nature Publishing Group. doi:10.1038/ngeo467

Brise-Glace Navires Hiver · Photo gratuite sur Pixabay. (s. d.). Consulté le 20 avril 2018, à l'adresse <https://pixabay.com/fr/brise-glace-navires-hiver-oc%C3%A9an-540688/>

Brooke, M. de L. (1996). D. F. Stotz, J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker III & D. K. Moskovits 1996. Neotropical Birds: Ecology and Conservation. University of Chicago Press, Chicago. 478 pp. ISBN 0-226-77629-8 (cloth) & 0-226-77630-1 (paper). Prices £79.95 and £29.95. US\$100.00 and US\$37.50. *Journal of Tropical Ecology*, 12(5), 740740. doi:10.1017/S0266467400009949

Bunker Prices Worldwide—BUNKER INDEX. (s. d.). Consulté le 16 février 2020, à l'adresse <https://www.bunkerindex.com/>

Bushnell, J. M., & Falvey, R. J. (s. d.). Annual Tropical Cyclone Report 2017, 133. Canada, E. et C. climatique. (2009, 22 novembre). Le cycle de la glace de mer : Chapitre 1. *Aem. statistiques*, . Consulté le 18 février 2020, à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/previsions-observations-glaces/publications/cycle-mer/chapitre-1.html>

Canada, E. et C. climatique, & Canada, E. et C. climatique. (2009, 12 novembre). Conditions des glaces les plus récentes. *Aem. description de programme*, . Consulté le 15 avril 2018, à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/previsions-observations-glaces/conditions-glaces-plus-recentes.html>

Canada, E. et C. climatique, & Canada, E. et C. climatique. (2010, 19 février). Glace de mer : Types et formes. *Aem. description de programme*, . Consulté le 15 avril 2018, à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/previsions-observations-glaces/conditions-glaces-plus-recentes/services-educatifs/mer/types-formes.html>

Canal Connection | Expanded Panama Canal. (s. d.). Consulté à l'adresse <https://micanaldepanama.com/expansion/canal-connection/>

Cézard, F., Mourad, M., & Joncoux, S. (2017). *Bien vivre en zéro déchet*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02131257>

Chavance, B. (2019). À propos de l'ouvrage de Julien Vercueil, Économie politique de la Russie 1918-2018. *Revue de la régulation. Capitalisme*,

*institutions, pouvoirs*, (26). Consulté à l'adresse <http://journals.openedition.org/regulation/15727>

CHNL Information Office |. (s. d.). Consulté le 18 avril 2018, à l'adresse <http://www.arctic-lio.com/>

Condit, R., Robinson, W. D., Ibáñez, R., Aguilar, S., Sanjur, A., Martínez, R., Stallard, R. F., et al. (2001). The Status of the Panama Canal Watershed and Its Biodiversity at the Beginning of the 21st Century Long-term ecological studies reveal a diverse flora and fauna near the Panama Canal, harbored within a corridor of forest stretching from the Caribbean to the Pacific, but deforestation, land degradation, erosion, and overhunting remain threats. *BioScience*, 51(5), 389-398. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0389:TSOTPC]2.0.CO;2

Conseil de l'Arctique—Géoconfluences. (s. d.). Terme, . Consulté le 22 avril 2018, à l'adresse <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/conseil-de-l-arctique-correspondant>), S. L. (New Y. (2016, 21 décembre). Obama interdit les forages en Arctique avant l'arrivée de Trump. *Le Monde.fr*. Consulté à l'adresse [http://www.lemonde.fr/planete/article/2016/12/21/forages-obama-sanctuarise-des-millions-d-hectares\\_5052173\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2016/12/21/forages-obama-sanctuarise-des-millions-d-hectares_5052173_3244.html)

Cosnard, D. (2015, 28 septembre). Shell suspend ses activités de forage au large de l'Alaska. *Le Monde.fr*. Consulté à l'adresse [http://www.lemonde.fr/energies/article/2015/09/28/shell-va-cesser-ses-forages-en-alaska\\_4774720\\_1653054.html](http://www.lemonde.fr/energies/article/2015/09/28/shell-va-cesser-ses-forages-en-alaska_4774720_1653054.html)

crown. (2016). *Arctic pilot volume 1* (ninth edition., Vol. 1). united kingdom: united kingdom hydrographic office.

Data-driven ship energy efficiency analysis and optimization model for route planning in ice-covered Arctic waters | Elsevier Enhanced Reader. (s. d.). doi:10.1016/j.oceaneng.2019.05.053

Degos, J.-G., & Hauret, C. P. dit. (2008). L'échec du canal de Panama. *Revue française de gestion*, n° 188-189(8), 307-324.

Demangeon, É. (s. d.). Sécurité maritime : De nouveaux risques apparaissent. *L'Antenne—Les transports et la logistique au quotidien*. Consulté le 5 mars 2018, à l'adresse [https://www.lantenne.com/Securite-maritime-de-nouveaux-risques-apparaissent\\_a30550.html](https://www.lantenne.com/Securite-maritime-de-nouveaux-risques-apparaissent_a30550.html)

Dérèglements climatiques : Origines et impacts. (s. d.). *Greenpeace France*. Consulté à l'adresse <https://www.greenpeace.fr/dereglemets-climatiques-origines-impacts/>

Dikson. (2018, 26 mars). *Wikipédia*. Consulté à l'adresse <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Dikson&oldid=146817949>

Doerr, F. (s. d.). Peasant Resistance Against Expropriations for Nicaragua's Great Interoceanic Canal, 6.

Environmental pollution and shipping feasibility of the Nicaragua Canal | Elsevier Enhanced Reader. (s. d.). doi:10.1016/j.marpolbul.2016.08.074

Eschard, R., Vially, R., & Bénard, F. (2011). Les hydrocarbures dans le domaine arctique: Perspectives économiques et enjeux environnementaux. *Annales des Mines—Responsabilité et environnement*, N° 64(4), 2432. ESKA.

Escourrou, G. (1989). Le vent dans les régions polaires. *Hommes et Terres du Nord*, 3(1), 179184. Persée - Portail des revues scientifiques en SHS. doi:10.3406/htn.1989.2225

Evaluation of the limit ice thickness for the hull of various Finnish-Swedish ice class vessels navigating in the Russian Arctic | Elsevier Enhanced Reader. (s. d.). doi:10.1016/j.ijnaoe.2018.02.004

Expanded Panama Canal. (s. d.). Consulté à l'adresse <https://micanaldepanama.com/expansion/>

Fichier:Flue gas desulfurization unit EN.svg. (s. d.-a). *Wikipédia*. Consulté à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Flue\\_gas\\_desulfurization\\_unit\\_EN.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Flue_gas_desulfurization_unit_EN.svg)

Fichier:Greenland Ilulissat-36.jpg—Wikipédia. (s. d.). Consulté le 15 avril 2018, à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Greenland\\_Ilulissat-36.jpg#filelinks](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Greenland_Ilulissat-36.jpg#filelinks)

Fichier:Panama Canal Map FR.png. (s. d.-b). *Wikipédia*. Consulté à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Panama\\_Canal\\_Map\\_FR.png](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Panama_Canal_Map_FR.png)

File:Arctic Ice 2.JPG - Wikimedia Commons. (s. d.). Consulté le 15 avril 2018, à l'adresse [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arctic\\_Ice\\_2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arctic_Ice_2.JPG)

File:Nuclearicebreakeryamal.jpg—Wikimedia Commons. (s. d.). Consulté le 22 avril 2018, à l'adresse <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nuclearicebreakeryamal.jpg>

Frécon, E. (2018). *Pavillon noir sur l'Asie du Sud-Est : Histoire d'une résurgence de la piraterie maritime*. Institut de recherche sur l'Asie du Sud-Est contemporaine.

GI, D. (s. d.). Håvard Nyseth/Karsten Bertelsen, 29.

Godzimirski, M. (2011). Russie-Scandinavie : Les liaisons dangereuses ? *Outre-Terre*, n° 27(1), 5774.

Gouvernement du Canada, B. du vérificateur général du C. (2014, 7 octobre). Chapitre 3—La navigation maritime dans l'Arctique canadien. Consulté le 5 mars 2018, à l'adresse [http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl\\_cesd\\_201410\\_03\\_f\\_39850.html#hd5a](http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201410_03_f_39850.html#hd5a)

Gouvernement du Canada, P. et O. C. (2019, 16 mai). Chapitre 4 Navigation dans les eaux couvertes de glaces. Consulté le 9 mars 2020, à l'adresse <https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/icebreaking-deglacage/ice-navigation-glaces/page05-fra.html?wbdisable=true>

Hamill G. A., Johnston H. T., & Stewart D. P. (1999). Propeller Wash Scour near Quay Walls. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 125(4), 170175. doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(1999)125:4(170)

Headquarters, U. S. F. and W. S. (2009). *Albatross at Midway Atoll Refuge*.

Consulté le 20 avril 2018, à l'adresse

<https://www.flickr.com/photos/usfwshq/8080507529/>

Information about organizations which provide icebreaker assistance. (s. d.).

Consulté le 7 février 2020, à l'adresse

[http://www.nsra.ru/en/ledokolnaya\\_i\\_ledovaya\\_lotsmanskaya\\_provodka/org\\_ledokol\\_provodka.html](http://www.nsra.ru/en/ledokolnaya_i_ledovaya_lotsmanskaya_provodka/org_ledokol_provodka.html)

Jahangiri, S., Kam, Us., Garaniya, V., Abbassi, R., Enshaei, H., Brown, R. J., Van, T. C., et al. (2017). Development of emission factors for ships' emissions at berth. *Australasian Coasts & Ports 2017 : Working with Nature*, 646. Engineers Australia, PIANC Australia and Institute of Professional Engineers New Zealand.

Kankaanpää, P. (2001). *Arctic flora and fauna : Status and conservation*.

Akureyri; Helsinki: Caff ; Edita.

La guerre au Yémen a fait plus de 100 000 morts—Libération. (s. d.). Consulté le 5 février 2020, à l'adresse [https://www.liberation.fr/planete/2019/11/01/la-guerre-au-yemen-a-fait-plus-de-100-000-morts\\_1761008](https://www.liberation.fr/planete/2019/11/01/la-guerre-au-yemen-a-fait-plus-de-100-000-morts_1761008)

La Russie revendique officiellement 1,2 million de kilomètres carrés dans l'océan Arctique. (2015, 4 août). *Le Monde.fr*. Consulté à l'adresse

[http://www.lemonde.fr/international/article/2015/08/04/la-russie-revendique-officiellement-1-2-million-de-kilometres-carres-dans-l-ocean-arctique\\_4711567\\_3210.html](http://www.lemonde.fr/international/article/2015/08/04/la-russie-revendique-officiellement-1-2-million-de-kilometres-carres-dans-l-ocean-arctique_4711567_3210.html)

Lasserre, F. (2004). Les détroits arctiques canadiens et russes : Souveraineté et développement de nouvelles routes maritimes. *Cahiers de géographie du Québec*, 48(135), 397425. doi:<https://doi.org/10.7202/011799ar>

Lasserre, F. (2010). Géopolitiques arctiques : Pétrole et routes maritimes au cœur des rivalités régionales ? *Critique internationale*, (49), 131156.

doi:10.3917/crii.049.0131

Lasserre, F. (2013). Enjeux géopolitiques et géoéconomiques contemporains en Arctique. *Géoéconomie*, (65), 135152. doi:10.3917/geoec.065.0135

Lasserre, F. (2014). Case studies of shipping along Arctic routes. Analysis and profitability perspectives for the container sector. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 144161. doi:10.1016/j.tra.2014.05.005

Laubier, L. (2004). La marée noire de l' *Erika* : Conséquences écologiques et écotoxicologiques: Bilan d'un programme de recherche. *Natures Sciences Sociétés*, 12(2), 216220. doi:10.1051/nss:2004032

Le brise-glace nucléaire le plus puissant du monde sera construit en Russie. (s. d.). Consulté le 10 mars 2020, à l'adresse

<https://fr.sputniknews.com/russie/201701311029862847-russie-navire-brise-glace/>

Le climat. (s. d.). *Institut polaire français Paul-Emile Victor*. Consulté à l'adresse <https://www.institut-polaire.fr/ipev/informations-polaires/en-arctique/le-climat/>

Le Morzellec, J. (1980). Les Accords de Camp David (17 septembre 1978) et le Traité de paix israélo-égyptien (26 mars 1979). *Annuaire Français de Droit International*, 26(1), 175192. doi:10.3406/afdi.1980.2385

Le porte-conteneurs CMA CGM Christophe Colomb. (2010, 16 juillet). *Mer et Marine*. Consulté le 15 novembre 2018, à l'adresse

<https://www.meretmarine.com/fr/content/le-porte-conteneurs-cma-cgm-christophe-colomb>

Les effets des déversements d'hydrocarbures sur la faune maritime |

Universnature. (s. d.). Consulté le 20 avril 2018, à l'adresse

<https://universnature.wordpress.com/2011/10/16/les-effets-des-deversements-dhydrocarbures-sur-la-faune-maritime/>

L'océan Arctique. (s. d.). *Institut polaire français Paul-Emile Victor*. Consulté à l'adresse <http://www.institut-polaire.fr/ipev/informations-polaires/en-arctique/locean-arctique/>

L'ours polaire, une espèce prioritaire. (s. d.). *WWF France*. Consulté le 11 février 2020, à l'adresse <https://www.wwf.fr/especes-prioritaires/ours-polaire>

Magnusson, K., Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Smailys, V., Telemo, P., & Winnes, H. (2018). Risk assessment of bilge water discharges in two Baltic shipping lanes. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 575584.

doi:10.1016/j.marpolbul.2017.09.035

Marchenko, A., Diansky, N., & Fomin, V. (2019). Modeling of iceberg drift in the marginal ice zone of the Barents Sea. *Applied Ocean Research*, 88, 210222.

doi:10.1016/j.apor.2019.03.008

Montero Llácer, F. J. (2005). Panama Canal Management. *Marine Policy*, 29(1), 2537. doi:10.1016/j.marpol.2004.02.001

N° 2292 tome VIII - Avis de M. Jimmy Pahun sur le projet de loi de finances pour 2020 (n°2272). - XVe législature—Assemblée nationale. (s. d.). Consulté le 7

février 2020, à l'adresse [http://www2.assemblee-nationale.fr/documents/notice/15/budget/plf2020/a2292-tVIII/\(index\)/avis](http://www2.assemblee-nationale.fr/documents/notice/15/budget/plf2020/a2292-tVIII/(index)/avis)

NAI. (s. d.). Fatigue. Consulté le 6 février 2020, à l'adresse

<https://www.nautinst.org/resource-library/technical-library/fatigue.html>

NAMO, D. (2017, 16 mars). LE C.R.O.S.S. Corsen. Consulté le 7 février 2020, à l'adresse <http://www.dirm.nord-atlantique-manche-ouest.developpement-durable.gouv.fr/le-c-r-o-s-s-corsen-a155.html>

NSR - Transit Statistics | CHNL Information Office. (s. d.-a). Consulté le 18 avril 2018, a à l'adresse [http://www.arctic-lio.com/nsr\\_transits](http://www.arctic-lio.com/nsr_transits)

NSR - Transit Statistics | CHNL Information Office. (s. d.-b). Consulté le 18 avril 2018, b à l'adresse [http://www.arctic-lio.com/nsr\\_transits](http://www.arctic-lio.com/nsr_transits)

Optimal vessel speed and fleet size for industrial shipping services under the emission control area regulation | Elsevier Enhanced Reader. (s. d.).  
doi:10.1016/j.trc.2019.05.038

Pamel, P. G. (s. d.). Les navires à gaz naturel liquéfié, des bâtiments écologiques pour l'Arctique, 13.

Panamax and New Panamax | Maritime-Connector.com. (s. d.). Consulté le 20 novembre 2018, à l'adresse <http://maritime-connector.com/wiki/panamax/>

Photobank, M. (2007). *Oiled Bird—Black Sea Oil Spill 11/12/07*. Consulté le 20 avril 2018, à l'adresse  
<https://www.flickr.com/photos/19378856@N04/2037098785/>

Pietrzykowski, Z., & Magaj, J. (2017). Ship Domain as a Safety Criterion in a Precautionary Area of Traffic Separation Scheme. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(1), 9398.  
doi:10.12716/1001.11.01.10

Piracy Map 2019. (s. d.). Consulté le 5 février 2020, à l'adresse <https://www.icc-ccs.org/index.php/piracy-reporting-centre/live-piracy-map/piracy-map-2019>

Pol, M. (2004). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME MEDITERRANEAN ACTION PLAN.

Polar View. (s. d.). Consulté le 2 juillet 2019, à l'adresse  
<https://www.polarview.aq/arctic>

Qu, X., & Meng, Q. (2012). The economic importance of the Straits of Malacca and Singapore: An extreme-scenario analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Select Papers from the 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 48(1), 258265.  
doi:10.1016/j.tre.2011.08.005

Quarto, I. (s. d.). Prospective maritime et stratégies portuaires, 285.

Qu'est-ce que la COP 21 ? (2016, 10 novembre). *Agence Parisienne du Climat*. Consulté le 18 février 2020, à l'adresse <https://www.apc-paris.com/cop-21>

Rigoulet-Roze, D. (2016). Géopolitique du Yémen à l'aube du xxie siècle. *Herodote*, N° 160-161(1), 159176.

Roger, S. (2017, 2 septembre). Ségolène Royal entame sa mission d'ambassadrice pour les pôles. *Le Monde.fr*. Consulté à l'adresse  
[http://www.lemonde.fr/climat/article/2017/09/02/segolene-royal-entame-sa-mission-d-ambassadrice-pour-les-poles\\_5180081\\_1652612.html](http://www.lemonde.fr/climat/article/2017/09/02/segolene-royal-entame-sa-mission-d-ambassadrice-pour-les-poles_5180081_1652612.html)

Roger-Lacan, V. (2014). Faire face aux trafics et à la piraterie maritimes. *Revue internationale et strategique*, n° 95(3), 101109.

Ronen, D. (2011). The effect of oil price on containership speed and fleet size. *Journal of the Operational Research Society*, 62(1), 211216.  
doi:10.1057/jors.2009.169

ROSMORPORT. (s. d.). Consulté le 7 février 2020, à l'adresse <http://www.rosmorport.com/>

Samson, T. (s. d.). Météo en Arabie Saoudite en 2019. *Historique Météo*. Consulté le 6 février 2020, à l'adresse <https://www.historique-meteo.net/moyen-orient/arabie-saoudite/2019/>

SCA - Navigation Statistics. (s. d.). Consulté le 5 février 2020, à l'adresse <https://www.suezcanal.gov.eg:443/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx>

Sea Ice Concentration. (s. d.). Consulté le 2 juillet 2019, à l'adresse <https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/>

Shahin, M. (s. d.). RESSOURCES HYDRIQUES ET MODIFICATION DU CLIMAT AU MOYEN-ORIENT, 16.

Slack, B., & McCalla, R. (2003). Le canal de Panama à un carrefour : Géopolitique, réalités commerciales et environnement. *Études internationales*, 34(2), 253. doi:10.7202/009174ar

SOTC: Ice Shelves | National Snow and Ice Data Center. (s. d.). Consulté le 12 mars 2020, à l'adresse <https://nsidc.org/cryosphere/sotc/iceshelves.html>

SRR Russian Federation. (s. d.). *Search and Rescue Contacts*. Consulté le 6 février 2020, à l'adresse [https://sarcontacts.info/srrs/ru\\_arc/](https://sarcontacts.info/srrs/ru_arc/)

Suez: Les 150 ans d'un canal très disputé. (s. d.). *CNRS Le journal*. Consulté le 4 février 2020, à l'adresse <https://lejournald.cnrs.fr/articles/suez-les-150-ans-dun-canal-tres-dispute>

Suez Toll Calculator. (s. d.). Consulté le 16 février 2020, à l'adresse [https://www.wilhelmsen.com/tollcalculators/suez-toll-calculator/systems\\_maritime\\_data](https://www.wilhelmsen.com/tollcalculators/suez-toll-calculator/systems_maritime_data).

Rotterdam—Shanghai distance is 0 NM - SeaRoutes. Consulté le 3 février 2020, à l'adresse <https://www.searoutes.com>

Têtu, P.-L., Mottet, É., & Lasserre, F. (2015). La Chine à la conquête des ressources minières du Canada et de l'Arctique canadien ? Géographie de l'approvisionnement chinois dans le secteur du fer et de l'acier. *Cybergeo : European Journal of Geography*. CNRS-UMR Géographie-cités 8504.  
doi:10.4000/cybergeo.27300

The Sea Cleaners : Agir en mer pour réduire la pollution plastique. (s. d.). *The Sea Cleaners*. Consulté le 19 avril 2018, à l'adresse <https://www.theseacleaners.org/fr/>

The Time Factor in Liner Shipping Services | SpringerLink. (s. d.). Consulté le 13 février 2020, à l'adresse <https://link.springer.com/article/10.1057%2Fpalgrave.mel.9100148>

Trésor, D. générale du. (2019, 3 janvier). Les investissements directs étrangers vers et depuis la Russie. *Direction générale du Trésor*. Consulté le 19 février 2020, à l'adresse <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2019/01/03/les-investissements-directs-et-rangers-vers-et-depuis-la-russie>

Tsukada, Y., Ueno, H., Ohta, N., Itoh, M., Watanabe, E., Kikuchi, T., Nishino, S., et al. (2018). Interannual variation in solar heating in the Chukchi Sea, Arctic Ocean. *Polar Science*, 17, 3339. doi:10.1016/j.polar.2018.06.003

Une enzyme dévoreuse de plastique? (2018, 18 avril). *France Inter*. Consulté le 19 avril 2018, à l'adresse <https://www.franceinter.fr/sciences/une-enzyme-devoreuse-de-plastique>

Valin, V. G. (2009). La lutte contre la piraterie au large de la Somalie. De l'action nationale à l'action européenne (2008-2009). *EchoGéo*, (10). doi:10.4000/echogeo.11338

VERS L'ELARGISSEMENT. (s. d.), 7.

Veynandt, F., Bézian, J.-J., Stous, P., de Pau, U., Lefèvre, P., Siros, F., Poussin, J.-C., et al. (s. d.). Cogénération héliothermodynamique avec concentrateur linéaire de Fresnel: Modélisation de l'ensemble du procédé, 213.

Wan, Z., Zhu, M., Chen, S., & Sperling, D. (2016). Pollution : Three steps to a green shipping industry. *Nature News*, 530(7590), 275. doi:10.1038/530275a

World Sea Ports. (s. d.). *SeaRates*. Consulté le 11 février 2020, à l'adresse [https://www.searates.com/maritime/united\\_states.html](https://www.searates.com/maritime/united_states.html)

Zhang, Z., Zhang, X., Gong, D., Quan, W., Zhao, X., Ma, Z., & Kim, S.-J. (2015). Evolution of surface O<sub>3</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations and their relationships with meteorological conditions over the last decade in Beijing. *Atmospheric Environment*, 108, 6775. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.02.071

## **Listes des annexes**

Annexe I : Concentration glaciaire supplémentaire

Annexe II : Tracé du corridor

Annexe III : Données du navire Mv RUTH