

# Incidence des technologies sur le pilotage maritime

mai 2024





## À propos de Clear Seas

---

Clear Seas est une organisation canadienne indépendante sans but lucratif qui fournit de l'information objective et factuelle afin de permettre aux gouvernements, à l'industrie et au public de prendre des décisions éclairées sur les questions relatives au transport maritime. Nous nous efforçons de sensibiliser le public et d'instaurer un climat de confiance afin que chacun puisse se sentir partie prenante du secteur maritime. Notre vision est celle d'un secteur maritime durable, sécuritaire, dynamique et ouvert à tous, aujourd'hui et pour les générations à venir.

Les recherches et les publications de Clear Seas sont disponibles sur le site [clearseas.org](https://clearseas.org).

### À propos de ce rapport

Clear Seas a entrepris une recherche sur l'**incidence des technologies sur le pilotage maritime** afin de cerner et d'évaluer les technologies émergentes et les pratiques connexes qui ont le potentiel d'améliorer la sécurité et

l'efficacité de la prestation des services de pilotage au Canada. Cette étude a été menée d'août 2023 à février 2024 par Greenwood Maritime Solutions Ltd. pour le compte de Clear Seas.

# Conseil d'administration de Clear Seas

## **Murray Coolican, président**

Ancien premier vice-président à la direction de Maritime Life et ancien directeur exécutif du Comité canadien des ressources arctiques (Halifax, N.-É.)

## **Julie Gelfand, Vice-présidente**

Ancienne commissaire à l'environnement pour le Vérificateur général du Canada (Ottawa, Ont.)

## **Aldo Chircop**

Professeur et titulaire de la chaire de recherche du Canada sur le droit et politique maritimes à l'Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

## **Ginny Flood**

Ancienne vice-présidente aux relations gouvernementales pour Suncor Energy Inc. (Calgary, Alb.)

## **Serge Le Guellec**

Ancien président et directeur général, Transport Desgagnés Inc. (Québec, Qc)

## **Capitaine Shri Madiwal**

Vice-président par intérim, Opérations et chaîne d'approvisionnement, Administration portuaire Vancouver-Fraser (Vancouver, B.C.)

## **Richard Sparrow**

Directeur, Indigenous-Led Conservation, Grizzly Bear Foundation et conseiller élu, xwməθkwəyəm (Musqueam) (Vancouver, C.-B.)

## **Anthony Teo**

Responsable des Amériques pour RightShip (Houston, TX)

## **Jane Weldon**

Ancienne chef exécutive, Plan de protection des océans, Transports Canada, et ancienne directrice générale, Sécurité et sûreté maritimes (Ottawa, Ont.)

## Équipe de recherche

**Contre-amiral de la Marine royale canadienne Nigel Greenwood** (retraité), FRIN, FNI, est titulaire d'un baccalauréat en physique et en océanographie, ainsi que d'une maîtrise en études internationales. Il est un vétéran de la marine et un capitaine de navire qualifié, qui garde une expérience de la mer grâce à un emploi saisonnier en tant que navigateur des glaces dans l'Arctique canadien, et en tant que marin local pour les petites embarcations. Son cabinet de conseil, Greenwood Maritime Solutions Ltd (GMSL), est spécialisé dans l'évaluation des menaces et des risques, la recherche opérationnelle et les études opérationnelles maritimes. GMSL a déjà réalisé des études et des évaluations opérationnelles pour l'Administration de pilotage du Pacifique, le Service hydrographique du Canada, Transports Canada, Recherche et développement pour la défense Canada, le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique (Direction des routes) et les administrations portuaires de Prince Rupert et de Vancouver-Fraser.

**Capitaine Kevin Obermeyer**, MM, B. Com., MNI, allie une expérience de la navigation navale et commerciale à des responsabilités de haut niveau dans la gestion des ports et du pilotage côtier. Il a été assistant du capitaine de port du port de Prince Rupert en 1992, puis capitaine de port du port de Nanaimo de 1995 à 1999, date à laquelle il a rejoint l'Administration de pilotage du Pacifique (APP). Il a été directeur général de l'APP pendant 17 ans avant de prendre sa retraite en 2022.

**Capitaine David (Duke) Snider**, GCC (retraité), FNI, FRGS, est un officier de navigation dans les glaces de renommée internationale et le fondateur de Martech Polar Consultants Ltd. Ancien président du Nautical Institute, il a joué un rôle déterminant dans l'établissement de normes internationales de formation et de certification en matière de navigation dans les glaces. Il est l'auteur du manuel du Nautical Institute intitulé *Polar Ship Operations* (2<sup>e</sup> éd., 2018). Il conseille fréquemment Transports Canada sur les questions de sécurité et de navigation dans l'Arctique.

## Message du directeur exécutif

Bien avant d'être adopté par l'industrie aéronautique, le terme « *pilote* » désigne depuis longtemps les personnes chargées de la navigation des navires. Dérivé du français (*pilote*) et du grec médiéval (*pedotes*, signifiant gouvernail ou timonier), il englobait à l'origine les personnes qualifiées dans l'exercice des pratiques océaniques et côtières. La tradition moderne reconnue consistant à transférer un marin ou un pilote expérimenté, possédant des connaissances locales spécialisées, à bord d'un navire pour le guider en toute sécurité vers et depuis le port, remonte à plusieurs siècles. Cette pratique du pilotage a permis d'atténuer les risques de manière vitale et de permettre au secteur du transport maritime de continuer d'assurer le commerce et le tourisme en toute sécurité, quelles que soient les conditions météorologiques.

Mais le secteur du pilotage est confronté à un avenir en pleine mutation. Le vivier de marins qualifiés et expérimentés dans lequel les pilotes sont traditionnellement puisés diminuera à mesure que les marins vieilliront et ne seront pas remplacés en raison de la future pénurie prévue de main-d'œuvre maritime. Le métier de pilote est un travail difficile qui exige une bonne santé physique. Grimper une échelle de corde sur le flanc d'un navire en difficulté n'est pas à la portée de tout le monde. La sécurité de la navigation est également menacée par l'environnement. Les changements climatiques entraînent des modifications parfois extrêmes des conditions météorologiques et des niveaux d'eau et altèrent les systèmes côtiers et estuariens. Bien que les services de pilotage dans les eaux canadiennes n'aient pas encore été touchés de manière significative, la poursuite des changements météorologiques et l'augmentation des tempêtes extrêmes pourraient remettre en question la sagesse traditionnelle qui consiste à se fier aux repères et aux pratiques historiques pour naviguer en toute sécurité.

La croissance apparemment incessante du commerce international continue d'attirer de nouveaux navires, et la recherche d'efficacité fait en sorte que leur taille semble augmenter d'année en année. Dans le même temps, les attentes en matière de sécurité et de protection de l'environnement n'ont jamais été aussi élevées. Les pilotes ont toujours été un élément essentiel de la stratégie d'atténuation des risques visant à réduire les taux d'accidents à zéro et à protéger l'environnement contre les déversements ou les perturbations; comment l'industrie peut-elle répondre au mieux à ces défis croissants?

La bonne nouvelle, c'est que la technologie peut offrir certaines solutions. Au cours des 50 dernières années, les systèmes de sécurité de la navigation et les équipements mis à la disposition des marins ont évolué à une vitesse stupéfiante. Les cartes papier et les sextants ont été remplacés par des cartes électroniques, le Système d'identification automatique (SIA) et la connectivité par satellite. L'intelligence artificielle et les capteurs à faible coût apportent chaque année de nouvelles innovations. Les pilotes ont souvent été à l'avant-garde de la mise au point et de l'adoption de ces technologies.

Ce projet de recherche vise à répertorier et à traiter les technologies qui contribuent à la sécurité et à l'efficacité des services de pilotage. L'objectif est de cerner les possibilités d'appliquer les technologies émergentes pour relever les défis liés à la mise en place de conditions de navigation sûres. Nous sommes convaincus que la technologie offre de précieuses possibilités d'améliorer le pilotage afin que les navires puissent continuer d'être guidés en toute sécurité et de manière économique à destination et en provenance des ports canadiens, tout en protégeant les environnements côtiers et océaniques et tous ceux qui dépendent d'écosystèmes sains.



## Acronymes et abréviations

AESM	Agence européenne pour la sécurité maritime
AISM	Association internationale de signalisation maritime
APA	Administration de pilotage de l'Atlantique
APGL	Administration de pilotage des Grands Lacs
APL	Administration de pilotage des Laurentides
APMC	Association des pilotes maritimes du Canada
APP	Administration de pilotage du Pacifique
ARPA	Aide de pointage radar automatique
CASRAS	Système canadien d'évaluation des risques associés au transport maritime dans l'Arctique
CEN	Carte électronique de navigation
CNEPM	Centre national d'expertise en pilotage maritime
COLREG	Règlement international de 1972 pour prévenir les abordages en mer (Règlement sur les abordages ou Règlement COLREG)
DSQ	Dégagement sous quille
DST	Dispositifs de séparation du trafic
GCC	Garde côtière canadienne
GNL	Gaz naturel liquéfié
GNSS	Système mondial de navigation par satellite
GPS	Système de localisation par satellite GPS (appelé à l'origine NAVSTAR)
GSTS	Global Spatial Technology Solutions Ltd. (une compagnie spécialisée dans l'intelligence maritime)
GTM	Gestion du trafic maritime
IA	Intelligence artificielle
IMPA	Association internationale des pilotes maritimes
ISMM	Identification du service maritime mobile
LADAR	Téledétection par laser
LIDAR	Détection et télémétrie par la lumière
LMC	Loi maritime du Canada
LMMC	Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada
MASS	Navires de surface autonomes
MMSI	Identité dans le service mobile maritime (Maritime Mobile Service Identity)
MPO	Pêches et Océans Canada
NCA	Administration côtière norvégienne
NM	Milles marins
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis)
OHI	Organisation hydrographique internationale
OMI	Organisation maritime internationale
POLARIS	Système d'indexation du risque pour l'évaluation des limites d'exploitation dans les eaux polaires
PORTS	Physical Oceanographic Real-Time System (de la NOAA)
R.-U.	Royaume-Uni
SBP	Pilotage à terre
SEVCM	Système électronique de visualisation des cartes marines
SHC	Service hydrographique du Canada
SIA	Système d'identification automatique
SIG	Système d'information géographique
SGTM trafic	Systèmes de gestion du trafic maritime (parfois appelés « Systèmes d'information de gestion du trafic maritime » (SIGTM))
SOLAS	Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (une convention fondamentale de l'OMI)
STM	Services de trafic maritime (parfois appelés « Services de gestion du trafic maritime » (SGTM))

TC	Transports Canada
TJB	Tonnes de jauge brute (mesure de la capacité de transport d'un navire)
UPP	Unité de pilotage portable
V-AtoN	Aides virtuelles à la navigation (parfois appelées « AtoN virtuelles »)
VDR	Enregistreur des données du voyage (Virtual Data Room)



## Résumé

Cette recherche a permis de faire un tour d'horizon des technologies applicables à la pratique du pilotage maritime, dans le but de repérer les technologies émergentes ou non standard susceptibles d'améliorer l'efficacité (sécurité) et l'efficience du pilotage dans les eaux canadiennes.

L'étude retrace l'évolution du pilotage au Canada et met en lumière les progrès considérables de la technologie de la navigation au cours des 50 dernières années. La pratique canadienne est liée aux régimes de pilotage étrangers de l'Australie, des États-Unis, du Chili, du Danemark et de la Norvège.

Un concept fonctionnel de pilotage a été élaboré pour servir de cadre à la recherche détaillée, axée sur les technologies portant sur les aspects suivants : (1) position/mouvement; (2) environnement; (3) contrôle du navire; et (4) évaluation/gestion des risques. Un ensemble connexe de critères de comparaison a été élaboré, qui a permis d'évaluer les technologies de base, les technologies améliorées et les technologies émergentes, afin de repérer les technologies susceptibles d'offrir le plus grand potentiel d'amélioration du pilotage.

Dans ce cadre fonctionnel, la recherche a examiné 54 technologies distinctes applicables au pilotage maritime : 23 d'entre elles sont considérées comme des technologies « de base », utilisées couramment par presque toutes les administrations de pilotage modernes; 17 sont des technologies « d'amélioration » qui sont disponibles dans le commerce et utilisées par les principales organisations de pilotage. Les 14 technologies restantes sont « émergentes » et en sont à différents stades de maturité, allant du concept/prototype (p. ex. : affichage tête haute à la passerelle) à la démonstration pratique, mais ne sont pas utilisées régulièrement pour le pilotage. La « pointe » des technologies émergentes pour le pilotage comprend la technologie de la réalité virtuelle pour l'appréciation des situations, et l'utilisation de l'intelligence artificielle pour la programmation des navires, la hiérarchisation des risques et la prise de décision. Le mariage de multiples technologies améliorées et émergentes est actuellement utilisé pour permettre des démonstrations limitées de pilotage à terre (SBP) et de navires de surface autonomes (MASS).

À partir des quelques comparaisons disponibles, nous avons conclu que les administrations de pilotage du Canada utilisent déjà la plupart des technologies couramment disponibles; à cet égard, elles sont aussi avancées que de nombreux comparateurs internationaux. L'exception concerne le SBP et la préparation aux MASS, pour lesquels la Finlande, le Danemark et le Japon semblent plus avancés, tant sur le plan technologique qu'en ce qui touche les lois habilitantes.

De nombreuses préoccupations subsistent quant aux lacunes décelées dans la faisabilité et les avantages des navires pilotés à distance ou autonomes. Néanmoins, les expériences menées avec le SBP et les MASS repoussent les limites d'une manière qui pourrait être bénéfique au pilotage en général, sous la forme de technologies d'affichage, d'évaluation des risques et de prise de décision. Entre-temps, des améliorations plus « ordinaires » sont disponibles, qui peuvent répondre aux préoccupations actuelles en matière de pilotage, notamment : des transferts de pilotes plus sécuritaires; une meilleure connaissance de la situation et une meilleure gestion des services de trafic maritime; la disponibilité de données avancées en temps réel pour les pilotes; la surveillance locale et la résolution d'incompatibilité avec la faune marine; et une meilleure interface entre les collectivités côtières et les sources d'information axées sur Internet.

# Table des matières

À propos de Clear Seas .....	ii
À propos de ce rapport .....	ii
Conseil d'administration de Clear Seas .....	iii
Équipe de recherche.....	iv
Message du directeur exécutif.....	v
Acronymes et abréviations.....	vii
Résumé .....	ix
Table des matières.....	x
Liste des figures .....	xii
Liste des tableaux .....	xiii
Incidence des technologies sur le pilotage maritime .....	1
1.0 Contexte .....	1
1.1 Responsabilités et défis du pilote maritime .....	1
1.2 Rôle du pilote .....	2
1.3 Évolution de l'application des technologies de navigation .....	2
2.0 Contexte du pilotage au Canada.....	9
2.1 Évolution du pilotage au Canada.....	9
2.2 Réglementation du pilotage au Canada .....	10
2.3 Résumés régionaux de la prestation des services de pilotage au Canada.....	13
3.0 Systèmes de pilotage comparables au niveau international .....	22
3.1 Norvège.....	22
3.2 Finlande .....	23
3.3 Danemark.....	25
3.4 Chili.....	26
3.5 Australie.....	27
3.6 États-Unis (Alaska).....	28
3.7 Résumé des administrations et opérations de pilotage comparées.....	29
4.0 Catalogue des technologies.....	32
4.1 Méthodologie .....	32
4.1.1 Fonctions de pilotage .....	32
4.1.2 Niveau organisationnel .....	33
4.1.3 Maturité technologique .....	33

4.2	Synthèse des résultats .....	33
4.3	Catalogue des technologies.....	35
4.3.1	Position/Mouvement.....	35
4.3.2	Environnement.....	39
4.3.3	Contrôle .....	47
4.3.4	Risque.....	52
4.4	Services avancés de gestion du trafic maritime .....	55
4.5	Pilotage à distance .....	56
4.6	Navires autonomes.....	58
5.0	Analyse des débouchés technologiques .....	62
5.1	Méthodologie.....	62
5.1.1	Caractéristiques souhaitées de la technologie de pilotage .....	62
5.1.2	Critères de comparaison.....	62
5.2	Résultats de l'analyse.....	63
5.3	Possibilités d'amélioration.....	64
6.0	Conclusion .....	66
6.1	Évaluation actuelle.....	66
6.2	Recommandations.....	66
7.0	Références.....	69

## Liste des figures

Figure 1 : Chronologie représentative de la mise en œuvre des technologies de navigation .....	4
Figure 2 : Affichage tête haute théorique (Source : Wollebaek) .....	38
Figure 3 : Concept de navigation à réalité augmentée de Furuno (Source : Furuno).....	39

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé de l'équipement de navigation (Source : RSN 2020).....	7
Tableau 2 : Les dix principaux ports du Canada en 2022 (Source : Rapports annuels des ports) .....	13
Tableau 3 : Activité de pilotage au Canada en 2022 (Source : Rapports annuels des administrations de pilotage) .....	14
Tableau 4 : Technologies de base, améliorées et émergentes.....	34
Tableau 5 : Exigences techniques pour le SBP (Source : COWI).....	58
Tableau 6 : Critères de comparaison technologique .....	63
Tableau 7 : Technologies, par degré de maturité .....	63
Tableau 8 : Technologies, par indice d'utilisation .....	64
Tableau 9 : Technologies, par indice d'avantage/utilisation .....	64

# Incidence des technologies sur le pilotage maritime

## 1.0 Contexte

Au fil du temps, la prestation des services de pilotage maritime a évolué dans différentes régions pour répondre à des besoins locaux précis. En général, cette évolution reposait sur le principe selon lequel les connaissances adéquates, détaillées et actuelles nécessaires pour assurer la sécurité des navires à l'arrivée (c'est-à-dire la position, l'hydrographie, la météorologie et le trafic) ne pouvaient être fournies que par des personnes ayant une expérience fréquente et localisée. Cette situation a été confirmée par le fait que les défauts des premiers systèmes de navigation ne pouvaient être détectés et corrigés qu'« à l'œil ». Les normes de qualification des pilotes maritimes reposaient donc sur une longue expérience personnelle dans la zone de pilotage, sur la mémorisation et sur la capacité à continuer de naviguer dans des conditions extrêmes de défaillance ou de privation technologique. Cette tradition consistant à placer un marin ou un pilote expérimenté à bord des navires à l'approche et au départ d'un port s'est perpétuée jusqu'à aujourd'hui.

### 1.1 Responsabilités et défis du pilote maritime

Le pilote est responsable de la position et du mouvement du navire. Il doit tenir compte de tous les dangers fixes et mobiles présents dans l'environnement. Un pilote doit donc avoir des compétences en navigation, de l'expérience dans le maniement des navires, une connaissance des dangers et la sagesse nécessaire pour gérer les risques. Le pilote exerce généralement le contrôle de la navigation du navire, en donnant soit des ordres directs à la barre (« manœuvres de gouvernail »), soit des instructions à l'équipage du navire.

Certaines de ces responsabilités nécessitent l'application de compétences faisant appel à des technologies installées à bord du navire ou apportées par le pilote. Le terme « technologie » désigne ici les technologies appliquées sous la forme de dispositifs, d'installations ou d'applications qui facilitent le travail du pilote (et des officiers de bord). Certaines technologies seront installées dans le port et accessibles à bord du navire. D'autres peuvent relever de services techniques/administratifs globaux établis au niveau national ou supranational. Le pilote doit être habile dans l'utilisation de toutes ces technologies, dans la mesure où elles sont pertinentes pour la tâche à accomplir.

Au Canada, la *Loi sur le pilotage* définit clairement le rôle et les responsabilités des pilotes. Elle stipule que personne d'autre qu'un pilote breveté (ou le titulaire d'un certificat de pilotage) ne peut assurer la conduite d'un navire dans une zone de pilotage obligatoire. La pratique canadienne en matière de pilotage veut que le pilote assure la « conduite » du navire en donnant des ordres directs à la barre<sup>1</sup>. La personne qui commande un navire, appelée « capitaine » ou « commandant », conserve toujours le

---

<sup>1</sup> Ce n'est pas toujours le cas, car le pilote peut parfois exercer son rôle par l'intermédiaire de l'officier de quart. Par exemple, sur un navire doté de commandes de manœuvre complexes (positionnement dynamique et/ou système Azipod), le capitaine peut procéder à l'amarrage à quai avec l'aide du pilote (comme pour la manœuvre de remorqueurs, le cas échéant). De telles dispositions sont le résultat d'un échange détaillé entre le capitaine et le pilote.

commandement et l'entière responsabilité de son navire et de son équipage. Toutefois, la seule situation dans laquelle un capitaine peut légalement retirer la conduite d'un pilote est celle où il a des motifs raisonnables de croire que les actions du pilote compromettent la sécurité du navire. Dans ce cas extrêmement rare, le capitaine doit déposer un rapport auprès du ministre des Transports dans un délai de trois jours afin d'exposer ses raisons.

## 1.2 Rôle du pilote

Le rôle du pilote maritime est de couvrir la phase de transition critique du voyage qui amène le navire de la navigation océanique indépendante jusqu'au poste d'amarrage, en passant par des environnements côtiers et fluviaux et des approches portuaires complexes. Au Canada, la prestation des services de pilotage est assurée localement par les administrations fédérales de pilotage dans les régions qu'elles desservent. Les pilotes sont agréés pour des zones de pilotage précises par le ministre des Transports à l'issue de programmes de formation rigoureux. Les pilotes d'une région décident s'ils veulent être employés directement par les administrations de pilotage ou s'ils veulent former des sociétés locales qui sous-traitent leurs services aux administrations. Selon le modèle choisi, les administrations de pilotage et les sociétés de pilotage locales sont responsables du recrutement et de la formation des pilotes, y compris de leur validation et de leur perfectionnement périodiques; de l'affectation en temps opportun des pilotes pour répondre aux besoins d'un navire; de la mise à disposition des pilotes à bord des navires, soit par bateau ou hélicoptère, soit à quai; de l'autosurveillance pour le repérage et la rectification des erreurs; et de l'exécution des processus de gestion des risques pour l'évaluation des changements éventuels des pratiques ou de la réglementation en matière de pilotage. En conséquence, les administrations et les pilotes sont en contact avec de nombreux éléments de l'industrie maritime, du niveau local au niveau national et parfois au-delà.

En ce qui concerne chaque pilote/affectation, la tâche du pilote comporte trois éléments : la planification, l'exécution et le suivi. Pour se préparer à l'emploi, le pilote breveté doit, bien entendu, suivre un apprentissage, une formation et des activités de remise à niveau périodiques. La planification précise commence lorsqu'une affectation est donnée pour un navire et une route maritime particuliers. Le pilote recueille des renseignements sur les caractéristiques du navire, examine les prévisions météorologiques et d'autres facteurs environnementaux/hydrographiques, et vérifie s'il existe des avis aux navigateurs concernant des dangers temporaires ou des obstacles à la traversée. Dans la phase d'exécution, les pilotes utilisent leur connaissance experte des eaux locales et leurs propres aides – p. ex., unités de pilotage portables – ainsi que les ressources (technologiques et humaines) disponibles à la passerelle pour assurer un passage en toute sécurité de l'embarquement au débarquement. Enfin, dans le cadre du suivi, le pilote notera et signalera tout aspect de la traversée qui permet de tirer des leçons pour d'autres pilotes ou qui nécessite la collaboration de Transports Canada ou de l'administration de pilotage avec le port local ou l'administration maritime.

## 1.3 Évolution de l'application des technologies de navigation

Au moment où la Commission royale d'enquête sur le pilotage de 1968 a été mise en place, les technologies de navigation avaient fait des avancées majeures depuis l'époque des cartes papier, du compas magnétique et du sextant. La précision et la fiabilité croissantes des gyrocompas avaient rendu désuets les compas magnétiques sujets aux erreurs, sauf en tant que solution de secours. L'utilisation généralisée du radar à bord des navires à partir des années 1940 a permis une navigation plus sécuritaire

dans des conditions de visibilité réduite. Plus tard, l'aide de pointage radar automatique a été ajoutée pour aider à comprendre les situations de trafic complexes en suivant les objets détectés par le radar. La radio VHF a été largement adoptée et a permis la communication entre navires et entre les navires et la terre ferme. Pour déterminer la position du navire, les systèmes de radiogoniométrie et de radionavigation hyperbolique, tels que LORAN-A et DECCA, étaient encore considérés comme à la fine pointe en matière de technologie de navigation. En triangulant le relèvement d'émetteurs de signaux radio situés à des endroits connus, le navigateur était en mesure d'établir l'emplacement du navire avec une précision d'environ 1 mille marin (NM), même en haute mer. Ces aides à la radiofixation simplifiaient le problème du navigateur, qui devait déterminer la distance qui le séparait de la terre, mais n'apportaient pas grand-chose à la précision du pilotage côtier. La capacité du pilote à diriger le navire à partir de repères visuels, en mettant à profit sa connaissance des courants et des dangers locaux, demeure une compétence essentielle.

Les années 1970 et 1980 ont été marquées par une évolution rapide des réglementations en matière de sécurité (Convention internationale pour la prévention des abordages en mer de 1972, modifiée en 1977) et des technologies à bord des navires et à terre. Un certain nombre de naufrages et de déversements d'hydrocarbures très médiatisés et très dommageables ont attiré l'attention du monde entier sur les conséquences environnementales des accidents de navigation. Parmi les exemples notables, citons l'échouement du *SS Torrey Canyon* en 1967 et le déversement de plus de 100 millions de litres d'hydrocarbures sur la côte sud du Royaume-Uni, ainsi que le déversement de 256 millions de litres d'hydrocarbures par l'*Amoco Cadiz* en 1978 sur les plages de Bretagne. Au Canada, les naufrages et déversements du *SS Arrow* (1970, 10 millions de litres) et du *SS Kurdistan* (1979, 6 millions de litres) ont attiré l'attention sur les risques liés à la navigation dans la baie de Chedabucto et le détroit de Cabot.

En réponse, des dispositifs de séparation du trafic (DST) ont été mis en place dans le monde entier, commençant en 1967 par le détroit du Pas-de-Calais (obligatoire en 1971) et s'étendent désormais à toutes les zones de confluence du trafic maritime majeur. Les DST comprennent des voies de circulation à sens unique, des zones de séparation, des zones de trafic côtier, des voies en eau profonde et des points de rencontre (ronds-points). Les routes établies par l'Organisation maritime internationale (OMI) et mises en œuvre par la réglementation nationale contribuent à rationaliser le flux du trafic tout en réduisant les croisements et les situations de rencontre frontale, diminuant ainsi de manière significative le risque de collision. La valeur des DST continue d'être reconnue et de nouveaux dispositifs sont ajoutés chaque année à la liste approuvée par l'OMI. Cette dernière a établi le DST dans le détroit de Juan de Fuca en 1981; le Canada dispose désormais de 5 systèmes de routage obligatoires et de 7 systèmes recommandés<sup>2</sup>.

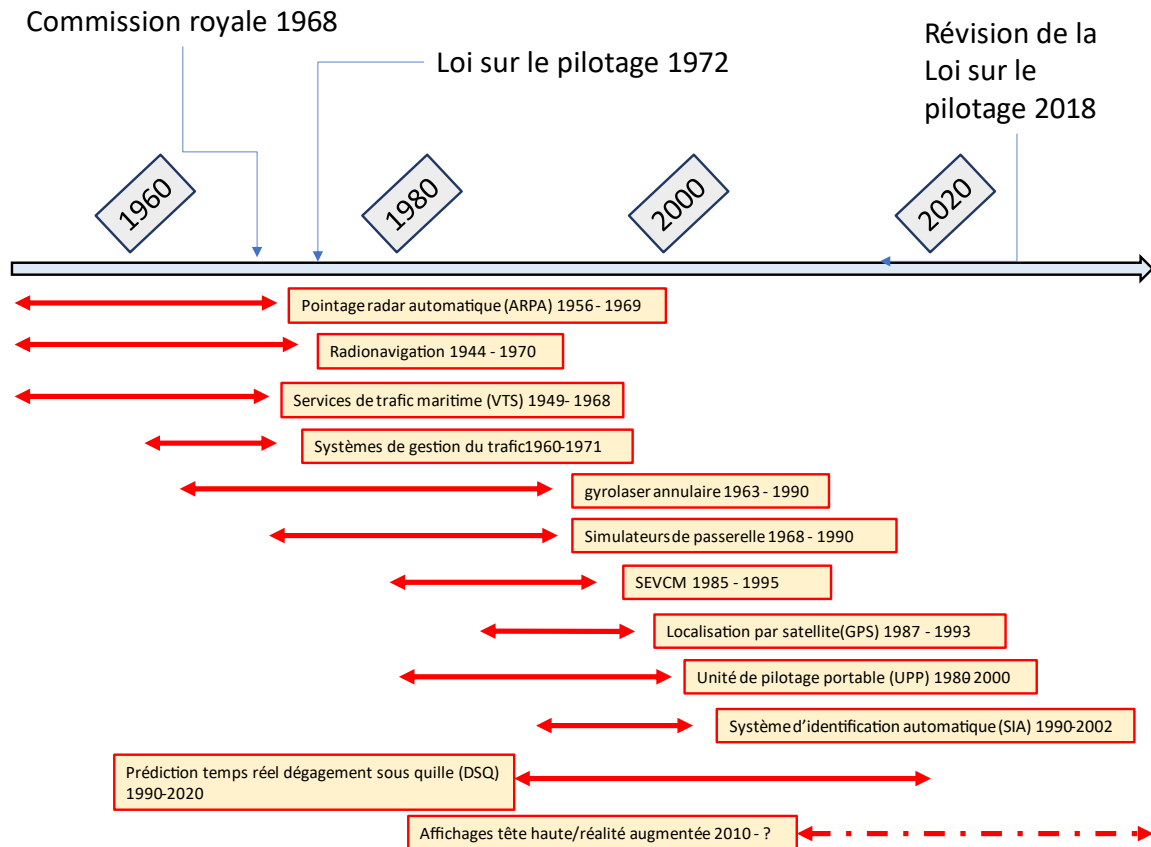
Parallèlement aux DST, des services de trafic maritime (STM) ont été mis en place pour superviser les mouvements des navires, notamment à Liverpool et à Rotterdam en 1949 et 1956, respectivement, et dans le détroit du Pas-de-Calais en 1973. Au départ, les STM étaient assez rudimentaires, comprenant une surveillance radar manuelle et des points d'appel radio permettant aux navires de signaler leur position. Ces dernières années, les STM ont été améliorés par un suivi numérique des navires et des algorithmes informatiques sophistiqués pour mettre en évidence les risques de collision et d'échouement. Des opérateurs formés contribuent à la sécurité de la navigation en alertant les navires des dangers et en

---

<sup>2</sup> GCC, Avis aux navigateurs, Édition annuelle, 2024. <https://www.notmar.gc.ca/publications/annual/annual-notices-to-mariners-fra.pdf>



assurant une interface essentielle avec les services de recherche et de sauvetage et les services de lutte contre la pollution.



**Figure 1 : Chronologie représentative de la mise en œuvre des technologies de navigation<sup>3</sup>**

Au cours de cette même période, le navire a connu des changements technologiques révolutionnaires, à commencer par l'élaboration des systèmes de navigation par satellite dans les années 1970. Le système de navigation TRANSIT de la marine américaine, capable de déterminer les positions terrestres par fixation croisée obtenue à partir des décalages Doppler radio, a été mis à la disposition des civils, puis remplacé dans les années 1980 par le système de positionnement global (GPS), plus précis, qui détermine la distance par des décalages temporels précis. En 2000, tous les utilisateurs ont eu accès au service le plus précis lorsque les autorités militaires ont désactivé un système qu'elles utilisaient pour dégrader la précision pour les utilisateurs civils, appelé « disponibilité sélective ». L'amélioration de la précision a entraîné l'explosion des systèmes d'information géographique (SIG) et des applications géoréférencées dans tous les aspects de la vie civile. Les systèmes de navigation modernes ont désormais accès

<sup>3</sup> Les flèches rouges indiquent l'intervalle entre la présentation initiale et l'acceptation commune; dans de nombreux cas (p. ex., DST), la mise en œuvre se poursuit en fonction des besoins.

simultanément aux constellations de satellites américains, européens, russes et chinois<sup>4</sup>, ce qui leur permet un positionnement précis à moins d'un mètre près. La constellation combinée de technologies a été désignée par l'acronyme GNSS (Système mondial de navigation par satellite).

Ces degrés élevés de précision de navigation fournis par le GNSS ont été complétés par la numérisation des cartes papier grâce aux cartes électroniques de navigation (CEN). Cette combinaison permet aux navigateurs de visualiser avec précision leur position dans l'espace sur la carte grâce à un système électronique de visualisation des cartes marines (SEVCM). Il en résulte une navigation électronique très précise et entièrement automatique, à la fois pour le commerce et les loisirs.

Les navires devaient encore se fier au radar, aux communications radio ou aux observations visuelles pour détecter d'autres navires jusqu'à l'avènement des systèmes d'identification automatique (SIA). Le SIA est un système de transmissions radio VHF automatisées qui permet l'échange de données d'identification et de navigation essentielles entre les navires, telles que le nom du navire, le numéro OMI, le type de navire, la destination, l'activité/le statut (en route, au mouillage, en train de pêcher, etc.), la position, le cap et la vitesse. Ces renseignements sont affichés sur le système de navigation du navire (radar et/ou SEVCM) sous forme de symboles avec des marqueurs pour indiquer le mouvement réel et relatif. De cette manière, le navigateur peut établir une corrélation entre les navires et les contacts radar, et les identifier immédiatement pour les communications radio de passerelle à passerelle afin d'éviter les collisions. Cette même technologie a également permis d'améliorer la sécurité maritime grâce à l'utilisation d'aides virtuelles à la navigation (VAtoN) qui mettent en évidence les dangers pour la navigation ou les zones d'exclusion temporaires. Il s'agit d'avertissements et de dangers pour la navigation transmis aux radars/traceurs de cartes des navires sous forme de symboles, indiquant les contacts apparents grâce à la technologie SIA, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un objet physique comme une bouée d'alerte.

Le recoupement des données radar et géographiques (cartographiques) sur les radars et le SEVCM, combiné au SIA, permet aux navigateurs d'évaluer les risques et de prendre des décisions sur la base de renseignements relativement précis<sup>5</sup> et complets, même dans des conditions de faible visibilité. Il est même possible pour les navires de suivre des trajectoires planifiées grâce à l'utilisation de pilotes automatiques. Ces derniers peuvent fonctionner selon trois modes : maintien de la trajectoire, suivi de la trajectoire et suivi de l'itinéraire. La plupart des navires utilisent le premier mode, la personne de quart à la passerelle effectuant les réglages nécessaires au suivi de la trajectoire, tout en restant consciente du cap et de la dérive du navire. Dans les situations critiques ou de trafic complexe, et par mer agitée, les équipages reviennent presque toujours au pilotage manuel pour un meilleur contrôle et un temps de réaction plus rapide.

Les technologies de communication ont également progressé de manière significative au cours des dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle. La prévalence croissante de l'accès aux données par téléphone mobile a permis l'acquisition en temps réel de données sur la météo, le vent, la bathymétrie, le niveau d'eau et l'espace aérien par l'entremise de réseaux localisés. La communication par satellite a initialement ouvert la voie à la communication vocale, même en dehors de la portée de la radio VHF. La communication par satellite est de plus en plus utilisée pour les données. Grâce à la technologie des satellites en orbite basse (p. ex. Starlink), l'Internet par satellite à moindre coût permet aux navires modernes d'avoir accès à des

---

<sup>4</sup> Ces systèmes de l'Union européenne, de l'Union soviétique/Russie et de la République populaire de Chine sont connus respectivement sous les noms de Galileo, GLONASS et BeiDou.

<sup>5</sup> Il convient de noter que le SIA et le GPS peuvent être sujets à des inexactitudes et à des falsifications délibérées, de sorte qu'une navigation prudente et la prévention des collisions doivent tenir compte de toutes les sources d'information.

sources de données en temps réel sur de grandes distances, sous réserve de la couverture satellite et de l'abonnement au service.

Les équipements de navigation de base – c.-à-d. ce qui est considéré comme la norme pour les navires de haute mer – varie en fonction de la jauge brute. Le tableau 1 résume l'équipement de navigation requis conformément au *Règlement de 2020 sur la sécurité de la navigation* (RSN 2020) du Canada, qui reflète les exigences du chapitre V de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) de l'OMI.

**Tableau 1 : Résumé de l'équipement de navigation (Source : RSN 2020)**

Jauge brute	<150 TJB	>150 TJB	>300 TJB	>500 TJB	>3 000 TJB	>10 000 TJB	>50 000 TJB
Compas-étalon magnétique	x	x	x	x	x	x	x
Gyrocompas		x	x	x	x	x	x
Récepteur GNSS		x	x	x	x	x	x
Taximètre		x	x	x	x	x	x
Compas magnétique de rechange		x	x	x	x	x	x
Fanal de signalisation de jour		x	x	x	x	x	x
Échosondeur			x	x	x	x	x
Radar à 9 GHz			x	x	x	x	x
Journal de bord			x	x	x	x	x
Aide de pointage radar automatique			x	x	x	x	x
Répétiteurs de barre et de moteur				x	x	x	x
Second radar (3 ou 9 GHz)					x	x	x
Pilote automatique						x	x
Indicateur du taux de rotation							x
Enregistreur des données du voyage (VDR)				Passagers	x	x	x
SEVCM				Passagers	x	x	x
SIA	Note 1	x	x	x	x	x	x
Communication vocale bidirectionnelle (radio)			x	x	x	x	x
Cartes marines et publications amendées	Note 2	x	x	x	x	x	x
Notes	1	Navires de plus de 20 m autres que les bateaux de plaisance, ainsi que les navires de plus de 50 passagers, les remorqueurs de plus de 8 m et les navires transportant des cargaisons dangereuses.					
	2	Tous les navires, mais les navires de moins de 100 TJB peuvent être exemptés si le capitaine a des connaissances locales; il peut s'agir de cartes électroniques de navigation.					

L'ensemble des technologies standard varie en fonction du tonnage du navire. Dans certains cas, les pilotes peuvent être amenés à venir en aide à des navires relativement petits, ce qui signifie que le pilote peut être confronté à un large éventail d'équipements de navigation. En Colombie-Britannique, par exemple, le seuil de pilotage obligatoire de 350 TJB de tonnage combiné englobe la quasi-totalité du

trafic côtier, y compris les petits remorqueurs et les gros chalands<sup>6</sup>. Ce qui est courant aujourd'hui, même sur les petits navires – GPS, SEVCM, aide de pointage radar automatique, SIA, pilote automatique, communications par satellite et connectivité Internet – représente une avancée considérable par rapport au milieu des années 1960, époque à laquelle même les grands navires naviguaient à l'aide de cartes papier, d'aides à la navigation radio rudimentaires et d'un système d'évitement des collisions tracé à la main sur de simples radars.

La tendance à la numérisation et à la technologie connectée observée sur les navires se reflète également dans la technologie déployée par les pilotes eux-mêmes. Les unités de pilotage portables (UPP) sont des tablettes électroniques personnelles portées par le pilote; elles ne remplacent pas les méthodes traditionnelles de pilotage mais ajoutent une source supplémentaire de précision de la navigation en temps réel. Les pilotes continuent d'utiliser l'équipement du navire (gyroscopes, radars, échosondeurs, cartes papier, etc.), complété par une navigation visuelle rendue possible par la mémorisation des caps, des marques d'orientation, des relèvements de dégagement et d'autres méthodes de pilotage traditionnelles. Le principal avantage des UPP est que le pilote dispose de renseignements très précis sur la position et la navigation, ce qui lui permet de naviguer avec précision, indépendamment de toute panne ou défaillance éventuelle des systèmes embarqués. Grâce à une connexion de données par téléphone cellulaire ou au Wi-Fi du navire, il est possible d'intégrer des sources en direct de données hydrographiques locales actuelles telles que les niveaux d'eau.

Dans la suite de ce rapport, nous aborderons les questions suivantes :

1. Comment équilibrer les niveaux requis de connaissances personnelles, expérientielles ou même traditionnelles, et les renseignements très objectifs, précis, fiables et actuels disponibles grâce aux technologies modernes?
2. Comment ces connaissances s'articulent-elles avec les compétences requises pour reconnaître et corriger les défauts ou les réactions inefficaces du système ou les conditions extrêmes?
3. Dans quelles conditions la sécurité de la navigation exige-t-elle une exécution humaine effective de cette fonction (ou au moins un contrôle et une supervision à bord) plutôt qu'une automatisation ou une exécution à distance?

---

<sup>6</sup> À la condition que les négociants locaux fréquents soient en mesure d'obtenir des certificats de pilotage ou de déroger aux exigences de pilotage obligatoire.

## 2.0 Contexte du pilotage au Canada

Cette section du rapport présente l'évolution historique et la situation actuelle des services de pilotage au Canada. Elle vise à fournir un contexte pour l'examen, à la section 3, des administrations de pilotage internationales comparables et de leur adoption de la technologie.

### 2.1 Évolution du pilotage au Canada

Avant la Confédération canadienne de 1867, le pilotage maritime variait considérablement d'un bout à l'autre du pays et relevait en grande partie de la responsabilité des provinces. Après la Confédération, le pilotage maritime est devenu une responsabilité fédérale. La première loi fédérale a été la *Loi sur le pilotage* de 1873, qui trouve son origine dans la *Merchant Shipping Act* de 1854 du Royaume-Uni.

Cette loi a survécu avec de légères modifications jusqu'à la Commission royale sur le pilotage de 1968. Entre 1873 et la Commission royale de 1968, le pilotage était régi par diverses commissions locales et, dans certains cas, par Transports Canada (TC). Bien que les services de pilotage aient considérablement évolué depuis l'adoption de la première loi sur le pilotage, il n'y a pas eu de modifications majeures pendant cette période.

La Commission royale de 1968, présidée par l'honorable juge Yves Bernier, a procédé à un examen approfondi du pilotage au Canada. Le rapport de la Commission a donné lieu à 38 recommandations et les conclusions ont été publiées en six volumes. Il en est résulté la *Loi sur le pilotage* de 1972, qui a créé quatre sociétés d'État fédérales chargées de réglementer et d'administrer les quatre zones de pilotage du Canada.

En vertu de la *Loi sur le pilotage* de 1972, les zones de responsabilité des quatre administrations de pilotage ont été établies comme suit :

- **Administration de pilotage du Pacifique (APP)** : La zone de responsabilité comprend toutes les eaux canadiennes situées dans la province de la Colombie-Britannique et eaux limitrophes.
- **Administration de pilotage des Grands Lacs (APGL)** : Toutes les eaux canadiennes de la province de Québec, au sud de l'entrée septentrionale de l'écluse de Saint-Lambert, et toutes les eaux canadiennes dans les provinces de l'Ontario et du Manitoba et eaux limitrophes.
- **Administration de pilotage des Laurentides (APL)** : Toutes les eaux canadiennes situées dans la province de Québec et eaux limitrophes, au nord de l'entrée septentrionale de l'écluse de Saint-Lambert, à l'exception des eaux de la Baie des Chaleurs, au sud de Cap-d'Espoir.
- **Administration de pilotage de l'Atlantique (APA)** : Toutes les eaux canadiennes situées dans les provinces de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard et de Terre-Neuve et eaux limitrophes, y compris les eaux de la Baie des Chaleurs dans la province de Québec, au sud de Cap-d'Espoir par 48 degrés 25 minutes 08 secondes de latitude nord et 64 degrés 19 minutes 06 secondes de longitude ouest.

Il convient de noter que depuis l'adoption de la première loi sur le pilotage en 1873, et jusqu'à la loi sur le pilotage de 1972 inclusivement, il n'a jamais été fait mention d'exigences en matière de pilotage dans le nord du Canada. À cette époque, il y avait très peu de trafic dans l'Arctique canadien pour justifier une telle surveillance nationale, avec seulement 17 transits enregistrés du passage du Nord-Ouest jusqu'à cette année-là<sup>7</sup>. Cependant, le recours prévalent à des officiers d'expérience en matière de navigation dans les glaces pour permettre de tels voyages constituait *de facto* une forme de pilotage non réglementée<sup>8</sup>.

Après l'adoption de la *Loi sur le pilotage* de 1972, certains des groupes de pilotage anciennement privés sont passés au statut de salariés, tandis que d'autres ont choisi de rester des entreprises privées. La répartition actuelle entre le statut de société privée et celui de salarié est la suivante :

- **Administration de pilotage du Pacifique** : Il existe deux groupes dans cette zone, à savoir BC Coast Pilots Ltd., une société privée qui sous-traite ses services à l'administration, et un groupe de pilotes salariés desservant le fleuve Fraser de Sand Heads à Silverdale près de Mission, qui travaillent directement pour l'APP.
- **Administration de pilotage des Grands Lacs** : Tous les pilotes sont employés par l'APGL.
- **Administration de pilotage des Laurentides** : À l'origine, l'APL comptait un groupe de pilotes employés couvrant le port de Montréal et deux organisations privées, à savoir la Corporation des pilotes du Bas-Saint-Laurent et la Corporation des pilotes du Saint-Laurent central. En 2011, les pilotes salariés ont choisi de se joindre à la Corporation des pilotes du Saint-Laurent central, de sorte que tous les pilotes de l'APL sont des pilotes contractuels.
- **Administration de pilotage de l'Atlantique** : Tous les pilotes sont des employés de l'APA, à l'exception des pilotes desservant le port de Halifax. En 2023, les pilotes du port de Halifax ont choisi de changer de statut et de se constituer en personne morale afin d'offrir leurs services à l'administration régionale à titre contractuel.

Le pilotage dans les quatre régions établies au Canada a évolué différemment pour faire face aux risques locaux de la navigation. Ces différences sont fonction de la densité du trafic maritime, de la difficulté de la navigation côtière, de l'état de l'hydrographie, de la proximité des ports, de la disponibilité des connaissances et de l'expérience locales, des risques environnementaux locaux et des différents défis que pose la navigation côtière par rapport à la navigation portuaire, fluviale, sur les canaux ou dans les glaces.

## 2.2 Réglementation du pilotage au Canada

Le pilotage au Canada est réglementé à l'échelon national par un certain nombre de lois. Au plus haut niveau, on trouve la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (LMMC), qui régit la sécurité du

---

<sup>7</sup> Détails compilés à partir des données du Scott Polar Research Institute (SPRI, <https://www.spri.cam.ac.uk>) et des statistiques de TC/NORDREG. NORDREG est le système de signalement des navires couvrant les eaux polaires du Canada.

<sup>8</sup> Jusqu'à la mise en œuvre du Code polaire de l'OMI en 2017, cette exigence était vaguement réglementée par l'obligation pour certains navires d'avoir à leur bord des navigateurs dans les glaces reconnus par Transports Canada comme ayant de l'expérience dans les glaces. L'exigence du Code polaire concernant l'expérience dans les eaux polaires (ou l'exigence de TC concernant une expérience équivalente dans les glaces) est intégrée dans l'adoption par TC des exigences de l'OMI selon lesquelles les officiers de navire doivent être titulaires d'un certificat d'aptitude pour naviguer dans les eaux polaires.

transport maritime et de la navigation de plaisance, ainsi que la protection de l'environnement marin. Comme la *Loi sur le pilotage* de 1873, la LMMC originale était fondée sur la *Merchant Shipping Act du Royaume-Uni*. Bien que la LMMC traite principalement des navires et des équipages et n'aborde pas directement la question des pilotes et du pilotage, les pilotes sont néanmoins assujettis à certaines parties de la LMMC et des règlements qui en découlent. Le *Règlement sur les abordages* (la mise en application canadienne de la *Convention sur le Règlement international de 1972 pour prévenir les abordages en mer* (COLREG) de l'OMI) en est un exemple.

La *Loi sur le pilotage* est distincte de la LMMC. Elle fournit le cadre législatif pour les services de pilotage au Canada en établissant les quatre administrations de pilotage en tant que sociétés d'État et en permettant aux pilotes de former des sociétés de pilotage locales.

Dans les modifications les plus récentes découlant des recommandations de l'examen de la *Loi sur le pilotage* de 2018, un important ajout a été fait à l'article 2, qui énonce l'objet et les principes des services de pilotage. Comme cette section fait partie intégrante des services de pilotage, elle est reproduite ici dans son intégralité :

*La présente loi a pour objet l'élaboration d'un cadre pour la prestation des services de pilotage conforme aux principes suivants :*

- a) *la prestation des services de pilotage favorise la sécurité de la navigation, y compris la sécurité du public et du personnel maritime, et y contribue; elle vise également la protection de la santé humaine, des biens et de l'environnement;*
- b) *la prestation des services de pilotage est efficace et efficiente;*
- c) *les outils de gestion du risque sont utilisés efficacement et l'évolution des technologies est prise en compte;*
- d) *le taux des redevances de pilotage d'une Administration est établi de manière à lui permettre d'être financièrement autonome.*

L'un des changements les plus importants mis en œuvre à la suite de l'examen de la *Loi sur le pilotage* de 2018 a été le transfert de l'autorité réglementaire des quatre administrations de pilotage au ministre des Transports. Ce dernier est également responsable de l'octroi des brevets aux pilotes et du respect de la *Loi*. TC a donc assumé la supervision de la *Loi sur le pilotage* et de ses règlements. Les rôles et responsabilités des administrations sont désormais essentiellement axés sur la prestation de services.

Transports Canada est donc responsable de l'établissement des règlements régissant les aspects du pilotage :

- a) *établir des zones de pilotage obligatoire;*
- b) *prévoir quels navires ou catégories de navires sont assujettis au pilotage obligatoire;*
- c) *régir les dispenses du pilotage obligatoire;*
- d) *encadrer l'échange d'information entre les capitaines et les pilotes;*
- e) *régir les catégories de brevets et certificats de pilotage qui seront délivrés, ainsi que les modalités de leur délivrance;*



- f) *régir les conditions que les candidats doivent satisfaire pour l'obtention d'un brevet ou certificat de pilotage;*
- g) *régir les examens administrés aux pilotes;*
- h) *régir les modalités attachées à un brevet ou à un certificat de pilotage;*
- i) *restreindre le nombre de brevets et de catégories de brevets qui peuvent être délivrés;*
- j) *régir la fourniture des renseignements par un navire sur le point d'entrer, de quitter ou de traverser une zone de pilotage obligatoire ainsi que les procédures et pratiques à suivre par ce navire;*
- k) *régir le nombre minimal de pilotes brevetés ou de titulaires de certificats de pilotage qui doivent se trouver à bord d'un navire;*
- l) *régir les formations complémentaires et les examens médicaux périodiques pour les pilotes brevetés et les titulaires d'un certificat de pilotage;*
- m) *régir les évaluations du risque;*
- n) *régir le développement et la mise en œuvre des systèmes de gestion;*
- o) *régir les droits et redevances à payer.*

En raison, en grande partie, des différences significatives dans la géographie locale et les niveaux de risque connexes, les programmes d'accréditation et de formation varient considérablement d'une région à l'autre. Néanmoins, ils ont tous des éléments communs :

- a) *Conditions préalables de base pour la certification maritime (certificat de compétence);*
- b) *Expérience acceptable en mer (dans la zone);*
- c) *Examen d'admission écrit et oral; et*
- d) *Formation en apprentissage (y compris les voyages d'observation, la formation sur modèle avec équipage, la formation sur simulateur et les cours de gestion des ressources à la passerelle).*

La responsabilité des questions ci-dessus est partagée entre l'administration de pilotage et, le cas échéant, les corporations locales de pilotes. TC est en train de mettre en œuvre de nouvelles exigences pour les deux entités, à savoir l'élaboration et la mise en œuvre de programmes formels de formation initiale et continue, ainsi que l'élaboration et le maintien de systèmes d'assurance de la qualité. Ces responsabilités consistent notamment à fournir, de temps à autre, des conseils à Transports Canada sur les changements recommandés à la *Loi* ou aux règlements sur le pilotage. Si des changements nécessaires sont cernés (ou si des changements importants sont apportés aux pratiques de pilotage opérationnel), TC ou l'administration de pilotage entreprend une évaluation des risques afin de déterminer si ces changements ont des répercussions négatives sur la sécurité. Le processus, guidé par la méthodologie de gestion des risques de pilotage de Transports Canada (MGRP – TP 13741F 05/2010), fait intervenir toutes les parties responsables et les parties prenantes dans une analyse subjective et/ou numérique de tous les facteurs pertinents.

Les administrations portuaires dépendent de la prestation de services de pilotage. Les dix-sept administrations portuaires canadiennes, créées en vertu de la *Loi maritime du Canada* (LMC) de 1998, sont indépendantes du gouvernement fédéral. Comme les administrations de pilotage, elles doivent être

financièrement autonomes. La LMC régit les ports canadiens de manière à ce qu'ils restent compétitifs, efficaces et orientés vers le commerce. En particulier, la LMC établit des politiques et des règlements concernant :

- a) la fourniture d'infrastructures portuaires;
- b) l'harmonisation avec les normes et pratiques internationales;
- c) la fourniture de services maritimes à un coût raisonnable pour les utilisateurs;
- d) le maintien d'un niveau élevé de sécurité et de protection de l'environnement;
- e) l'octroi d'un degré élevé d'autonomie pour répondre aux besoins et priorités locaux;
- f) une gestion des infrastructures et des services qui intègre la contribution de la communauté locale; et
- g) la coordination des activités maritimes avec les systèmes de transport aérien et de surface.

Ainsi, bien que la prestation des services de pilotage relève de la supervision nationale de TC, le cadre réglementaire sur le pilotage a évolué pour répondre aux différentes exigences relatives au pilotage dans les différentes régions du Canada. Par conséquent, les exigences en matière de brevet des pilotes et les seuils de pilotage obligatoire varient d'une région à l'autre.

### 2.3 Résumés régionaux de la prestation des services de pilotage au Canada

Cette section du rapport fournit plus de détails sur le trafic maritime et la prestation des services de pilotage dans les régions du Pacifique, des Grands Lacs, du Saint-Laurent, de l'Atlantique et de l'Arctique au Canada.

Les dix plus grands ports du Canada ont manutentionné 318 millions de tonnes de marchandises en 2022 et assurent la majorité des services de pilotage essentiels fournis aux grands navires commerciaux. Le tableau 2 ci-dessous présente ces ports classés en fonction du volume de marchandises manutentionnées. Vancouver est le plus grand parmi eux, avec 141,4 millions de tonnes en 2022, soit autant que l'ensemble des dix principaux ports de la côte est.

**Tableau 2 : Les dix principaux ports du Canada en 2022 (Source : Rapports annuels des ports)**

Numéro	Port	Région	2022 (millions de tonnes)	2022 (%)
1	Vancouver, C.-B.	Pacifique	141,4	44,42 %
2	Montréal, QC	Saint-Laurent	36	11,31 %
3	Sept-Îles, QC	Saint-Laurent	33,4	10,49 %
4	Québec, QC	Saint-Laurent	27,7	8,70 %
5	Saint John, N.-B.	Atlantique	27,4	8,61 %
6	Prince Rupert, C.-B.	Pacifique	24,6	7,73 %
7	Hamilton, ON	Grands Lacs	9,9	3,11 %
8	Thunder Bay, ON	Grands Lacs	8,2	2,58 %
9	Halifax, N.-É.	Atlantique	5,4	1,70 %
10	Trois-Rivières, QC	Saint-Laurent	4,3	1,35 %
Totaux (pour les 10 ports)			318,3	100,00 %

Les quatre administrations de pilotage canadiennes constituent ensemble une entreprise de 292,7 millions de dollars. Elles emploient directement environ 125 pilotes, tandis que 325 pilotes travaillent pour des sociétés de pilotage locales qui ont conclu des ententes de services avec les administrations. Elles gèrent quelque 52 400 mouvements de navires par an – un mouvement de navire constituant une seule affectation de pilote d'un point à un autre. Le taux de réussite, défini comme les mouvements pour lesquels aucun incident n'a été signalé pendant le pilotage, était de 99,92 % pour toutes les administrations de pilotage en 2022. Le tableau 3 présente les principales statistiques pour chaque administration de pilotage et le trafic qu'elle gère. Les types de navires les plus courants sont les vraquiers, les navires-citernes et les transporteurs de produits chimiques et les porte-conteneurs.

**Tableau 3 : Activité de pilotage au Canada en 2022 (Source : Rapports annuels des administrations de pilotage)**

Administration de pilotage	APL	APP	APGL	APA	Total	
Mouvements de navires	22 115	12 896	9 315	8 079	52 405	
Nombre d'incidents	18	8	14	2	42	
Taux de réussite	99,92 %	99,94 %	99,85 %	99,98 %	99,92 %	
Effectif des pilotes	204	130	67 (ETP)	49	450	
Recettes (en milliers de \$)	108 177	105 632	46 000	32 868	292 677	
Type de navire	APL	APP	APGL	APA	Nb total	%
Vraquier	7 161	3 095	3 756	953	14 965	28,51 %
Navire-citerne	7 077	258	2 546	2 861	12 742	24,27 %
Porte-conteneurs	5 086	1 934	97	1 626	8 744	16,66 %
Cargaisons générales	1 548	903	1 998	663	5 112	9,74 %
Passagers	663	1 290	709	842	3 504	6,68 %
Mouvements au mouillage	0	3 095	0	0	3 095	5,90 %
Autre	221	1 676	111	361	2 370	4,51 %
Roulier (RoRo) et transporteur de voitures	442	645	0	201	1 288	2,45 %
Remorqueurs et chalands	0	0	98	306	404	0,77 %
Navires de ravitaillement	0	0	0	266	266	0,51 %
<b>Total</b>	<b>42,20 %</b>	<b>24,61 %</b>	<b>17,78 %</b>	<b>15,42 %</b>	<b>52,489</b>	<b>100,00 %</b>

## Région du Pacifique

La région du Pacifique comprend les premier et sixième plus grands ports du Canada (Vancouver et Prince Rupert). Nanaimo, Kitimat, Port Alberni, Victoria et Stewart sont également des ports importants de cette région. L'APP est l'administration de pilotage.

L'APP a établi une zone de pilotage obligatoire qui s'étend de 5 à 30 milles marins de la côte, selon l'endroit. Les principales stations d'embarquement des pilotes sont Victoria, Pine Island (extrémité nord de l'île de Vancouver), Cape Beale (pour Port Alberni) et Triple Island (pour Prince Rupert). Le seuil de pilotage obligatoire dans cette zone est de 350 TJB pour les navires commerciaux ou de 500 TJB pour les bateaux de plaisance. En Colombie-Britannique, ce seuil s'applique au tonnage combiné des remorqueurs et des unités remorquées<sup>9</sup>.

Certaines exceptions permettent aux navires d'être dispensés de pilotage. Les navires « exemptés » par la loi sont les navires de guerre et les navires gouvernementaux (y compris les navires du gouvernement américain de moins de 10 000 TJB), ainsi que les traversiers. Le pilotage obligatoire peut également faire l'objet d'une « dispense » pour les navires en détresse, les évacuations sanitaires, les opérations de sauvetage et de récupération, les navires à la recherche d'un lieu de refuge (pour des raisons météorologiques ou d'avarie) ou les navires qui se rendent à la station de pilotage. Les navires peuvent également être dispensés de prendre un pilote si le capitaine et/ou les officiers de pont sont titulaires d'un certificat de pilotage<sup>10</sup>. Ce certificat diffère du brevet de pilotage, mais exige un niveau similaire d'expérience, de formation et d'examen. Les certificats de pilotage ne sont accessibles qu'aux citoyens canadiens et aux résidents permanents.

En raison du nombre de navires battant pavillon américain qui transitent régulièrement dans la région et de la restriction des certificats de pilotage aux Canadiens, l'APP a généralement recours à un système de dispense. Cette « dispense de pilotage obligatoire » distincte est accordée aux navires de moins de 10 000 TJB dans certaines zones si les officiers du navire satisfont aux critères généraux concernant l'expérience récente (habituellement 150 jours en mer au cours des 18 derniers mois ou 365 jours au cours des 60 derniers mois), ainsi qu'à l'expérience dans la zone géographique pour laquelle la dispense est demandée, précisée comme un certain nombre de passages dans la zone. Ces critères sont énoncés dans le *Règlement général sur le pilotage*<sup>11</sup> et précisés dans les « Normes de prudence pour les dispenses de pilotage » de l'APP<sup>12</sup>, qui établissent des exigences supplémentaires en matière d'expérience, d'équipement et d'exploitation pour les six zones de la région de l'APP.

Les volumes de transport maritime sur la côte ouest du Canada devraient augmenter au cours des cinq prochaines années avec l'ajout de deux projets majeurs, à savoir : le projet d'agrandissement du réseau Trans Mountain (TMX), dont les travaux débuteront en 2024, et le projet de LNG Canada, dont les travaux débuteront vraisemblablement en 2025. Ces deux projets nécessiteront la présence de deux pilotes sur le pont dans un certain nombre de zones le long de l'itinéraire de transit. Dans le sud, deux pilotes devront se trouver sur la passerelle des pétroliers lors de leur transit par le Port de Vancouver, puis par le détroit de Haro et le passage Boundary. Pour le projet de LNG Canada à Kitimat, les navires pourraient avoir besoin de jusqu'à quatre pilotes en raison de la longueur de la traversée et de l'obligation pour deux pilotes d'être sur la passerelle pendant de nombreuses portions du transit.

Dans la région du Pacifique, on s'attend globalement à ce que la taille des navires continue d'augmenter. Actuellement, les plus grands porte-conteneurs manutentionnés mesurent 367 mètres, mais avec

---

<sup>9</sup> Ces sections sur les seuils de pilotage obligatoire sont une paraphrase des règlements à des fins de comparaison générale et n'incluent pas toutes les complexités et nuances de la *Loi* et des règlements.

<sup>10</sup> Parfois appelé « certificat d'exemption de pilotage » (CEP) dans d'autres territoires de compétence.

<sup>11</sup> *Règlement général sur le pilotage*, article 25.10(3)

<sup>12</sup> APP : « Normes de prudence – Dispense de pilotage », <https://www.ppa.gc.ca/fr/normes-de-prudence-dispenses-de-pilotage>

l'approbation du projet du terminal 2 du banc Roberts, les navires pourraient atteindre plus de 400 mètres de long.

Le plan d'entreprise 2023-2027 de l'APP indique que « L'Administration continue de s'impliquer dans le programme ECHO (Enhancing Cetacean Habitat and Observation/Amélioration et observation des habitats des cétacés) dirigé par l'Administration portuaire Vancouver-Fraser depuis sa création en 2014 ». Ce programme a institué un ralentissement volontaire (vitesse maximale de 11 nœuds au-dessus du sol) dans le détroit de Haro et le passage Boundary pendant les mois où les épaulards résidents du Sud sont présents dans la région<sup>13</sup>. Les coûts de pilotage supplémentaires résultant du ralentissement (prolongeant occasionnellement un passage de 7 heures à plus de 8 heures et nécessitant l'affectation de deux pilotes) ont été remboursés aux propriétaires de navires grâce au financement fourni par TC.

Une autre initiative technologique récente dans la région est la gestion active du trafic maritime<sup>14</sup> qui a débuté en 2021. Ce système s'interface avec les STM de la Garde côtière canadienne en fournissant une programmation complète pour rationaliser les mouvements des navires dans le port. Il fonctionne actuellement dans la zone du chenal Second Narrows du Port de Vancouver, mais pourrait à l'avenir inclure la gestion des zones de mouillage des îles du Golfe, les mouvements dans le fleuve Fraser et le passage autorisé du chenal First Narrows dans le Port de Vancouver.

## Région des Grands Lacs

La région des Grands Lacs comprend les eaux canadiennes de la Voie maritime du Saint-Laurent au sud de l'écluse de Saint-Lambert, et toutes les eaux canadiennes à l'intérieur et autour des provinces de l'Ontario et du Manitoba, y compris le port de Churchill. L'administration de pilotage responsable est l'Administration de pilotage des Grands Lacs (APGL). La zone de l'APGL couvre les eaux américaines et canadiennes partagées et comprend deux des dix principaux ports du Canada : Hamilton Oshawa (septième en importance) et Thunder Bay (huitième en importance).

La région de pilotage est divisée en cinq districts, les stations d'embarquement des pilotes étant associées aux écluses qui divisent les districts à l'écluse de Saint-Lambert, l'écluse de Snell (Massena, NY), Cape Vincent, NY (Kingston, Ont.), Port Weller/Port Colborne, Ont., et Sarnia, Ont.

Le seuil de pilotage obligatoire dans la région des Grands Lacs est de 1 500 TJB pour les navires canadiens ou de 35 m pour les navires étrangers. Les remorqueurs sont exemptés s'ils ont un tonnage inférieur à 1 500 TJB et s'ils n'effectuent pas de remorquage de plus de 80 m. Dans le cas contraire, les conditions habituelles de dispense du pilotage obligatoire s'appliquent.

Un aspect particulier de la région des Grands Lacs est la nature transfrontalière des routes maritimes. La réglementation canadienne permet à une personne autorisée à piloter un navire dans les eaux américaines des Grands Lacs de le faire dans les eaux canadiennes jusqu'à St Regis, PQ (près de Cornwall)<sup>15</sup>, et une autorisation réciproque est prévue dans la réglementation américaine<sup>16</sup>. Un protocole d'entente entre la

---

<sup>13</sup> Administration portuaire Vancouver-Fraser, programme ECHO, <https://www.portvancouver.com/fr/la-protection-de-lenvironnement-au-port-de-vancouver/la-sante-des-ecosystemes-sur-notre-territoire/echo-program/>

<sup>14</sup> Administration portuaire Vancouver-Fraser, Programme de gestion active de la circulation des navires, <https://www.portvancouver.com/fr/marine-operations-2/programme-de-gestion-active-de-la-circulation-des-navires/>

<sup>15</sup> Règlement général sur le pilotage, art. 24.9

<sup>16</sup> Règlement de pilotage des Grands Lacs, art. 401.120, <https://www.ecfr.gov/current/title-46/chapter-III/part-401/subpart-A>

Garde côtière américaine et l'APGL<sup>17</sup> régit le partage de la répartition des pilotes, des bateaux-pilotes et de la facturation dans trois districts. Dans deux de ces districts, les pilotes canadiens desservent principalement les navires pairs, tandis que les pilotes américains desservent les navires impairs. Dans le troisième, le travail est réparti entre le Canada (19 %) et les États-Unis (81 %). Pour les navires s'arrêtant dans le district 2, les pilotes desservent les navires à destination de leurs propres ports; pour les navires faisant route entre les ports canadiens et américains des Grands Lacs, les pilotes desservent les navires quittant leurs propres ports et le transfert aux pilotes opposés est géré par le bateau-pilote de Detroit.

Les conditions d'obtention du brevet de pilotage dans les Grands Lacs sont similaires à celles des autres régions (12 mois en tant que capitaine ou 24 mois en tant qu'officier de pont), avec 50 voyages dans la région. À ce stade, deux options s'offrent aux candidats. La première consiste à passer un examen devant un jury d'examineurs et la seconde à suivre un programme de formation et à passer un examen pratique sous la supervision d'un évaluateur agréé. Ce programme fait actuellement l'objet d'un examen par Transports Canada.

De nombreux clients de l'APGL ont récemment utilisé un système d'information sur le tirant d'eau (SIT) comme outil pour fournir à leurs navires de meilleures données sur les dégagements sous quille. Ce programme, supervisé par la Corporation de Gestion de la Voie Maritime du Saint-Laurent, vise à permettre d'augmenter en toute sécurité le tirant d'eau des navires lorsqu'ils empruntent la Voie Maritime du Saint-Laurent, ce qui se traduit par une plus grande capacité de transport de marchandises, optimisant ainsi l'efficacité et la rentabilité.

La gestion du trafic maritime dans la Voie maritime du Saint-Laurent et les Grands Lacs est assurée par le réseau Grands Lacs/Voie maritime du Saint-Laurent (GLVMSL) (de l'écluse de Saint-Lambert au lac Érié), la GCC (Sarnia) et la Garde côtière des États-Unis (USCG) (rivière Sainte-Marie). Le réseau GLVMSL publie le Manuel de la Voie maritime qui contient toutes les instructions nécessaires pour transiter dans ce tronçon, y compris les communications et les points d'appel. L'ordre de priorité des navires aux écluses est fonction des protocoles internes de la Voie maritime, où le premier arrivé est le premier servi, ou les contrôleurs de la Voie maritime déterminent l'ordre de priorité. Néanmoins, cela entraîne parfois des embouteillages lorsque le trafic est important.

## Région du Saint-Laurent

La région du Saint-Laurent comprend les deuxième, troisième, quatrième et dixième ports en importance du Canada (Montréal, Sept-Îles, Québec et Trois-Rivières). L'administration de pilotage responsable est l'Administration de pilotage des Laurentides (APL).

La zone de pilotage de l'APL s'étend du détroit de Belle-Isle à l'écluse de Saint-Lambert dans la Voie maritime du Saint-Laurent, y compris les îles de la Madeleine et Anticosti dans le golfe du Saint-Laurent ainsi que la rivière Saguenay. En dehors des neuf ports clés de cette zone, le pilotage obligatoire commence aux Escoumins et s'étend jusqu'à l'écluse de Saint-Lambert. La zone de pilotage obligatoire est couverte par deux sociétés de pilotage (prestataires de services), l'échange de pilotes étant géré par bateau à Québec pour le trafic en amont du fleuve.

---

<sup>17</sup> <https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/Office%20of%20Waterways%20and%20Ocean%20Policy/CG-WWM-2/2013%20MOU%20English.PDF?ver=2019-11-19-120352-133>

Le pilotage obligatoire dans la région de l'APL est dicté par le tonnage, la longueur ou la cargaison : les navires canadiens de plus de 70 m ou 2 400 TJB dans les districts 1 et 1.1 (en amont du Québec) et de 80 m ou 3 300 TJB dans le district 2 (des Escoumins au Québec), ou les navires étrangers de plus de 35 m, ainsi que tout chaland ou gabarre transportant des cargaisons polluantes. Les exceptions au pilotage sont similaires à celles de la région du Pacifique, mais incluent également les navires de pêche et les remorqueurs s'ils ne remorquent pas ou ne poussent pas de chalands. L'APL autorise également la dispense de pilotage pour les navires en détresse et en quête de refuge.

L'APL dispose d'un système de quatre classes de brevet de pilote; l'entrée se fait en classe D, avec une promotion vers la classe A en fonction de l'expérience accumulée. La qualification minimale est précisée en termes d'expérience en tant que capitaine/officier de pont (2 ans en tant que capitaine ou 1+3 ans en tant que capitaine/officier de pont), ce qui équivaut à un certificat de capitaine, à proximité du littoral. La *Loi sur le pilotage* stipule que les candidats à un certificat de pilotage doivent avoir un niveau de connaissance des eaux locales similaire à celui des candidats à un brevet de pilote. Transports Canada est en train de revoir le processus dans le but d'élaborer un programme qui soit mieux aligné au niveau national.

Le plan d'entreprise 2023-2027 de l'APL indique ce qui suit : « Au fil du temps, les navires marchands sont plus imposants et le trafic généralement en croissance pour plusieurs types de navire, bien qu'une baisse soit survenue en 2020 et 2021. L'Administration doit donc adapter sa prestation de services afin qu'elle soit efficace, efficiente et sécuritaire. Cette adaptation passe notamment par le développement de systèmes permettant de perfectionner la gestion des services de pilotage, une gestion des affectations optimisant les transits sous la conduite d'un pilote ainsi que par la mise en place de protocoles ou d'applications aidant à la coordination de certaines tâches ». Le terminal à conteneurs de Contrecœur, situé à 70 km au sud de Montréal, augmentera la capacité de transport de conteneurs du port de Montréal de 55 % et devrait contribuer à la croissance du trafic dans cette région.

En ce qui concerne la technologie, le plan d'entreprise de l'APL indique que : « L'APL suit de près les évolutions technologiques liées à la navigation commerciale et se positionne pour jouer un rôle de leadership sur les aspects touchant ou affectant le pilotage. Elle examine, entre autres, la manière dont les technologies et les logiciels en développement ou actuellement disponibles peuvent rendre les services de pilotage et les transits de navires plus efficaces et plus efficaces. À cet égard, l'APL mène un projet de développement d'un logiciel servant à optimiser les transits sous la conduite d'un pilote. Ce projet permettra aussi à l'Administration de se positionner pour être impliquée dans des projets relatifs au pilotage à distance et à l'arrivée des navires autonomes ». Le projet de services de pilotage optimisés, dont la livraison est prévue pour 2024, visera à harmoniser les affectations de pilotes et la vitesse des navires et la disponibilité des postes d'amarrage et de mouillage afin d'éviter les encombrements et les attentes inutiles<sup>18</sup>. Une initiative technologique connexe est le projet de l'APL et du Port de Montréal en partenariat avec Global Spatial Technology Solutions Ltd. (GSTS) pour créer un système de suivi et d'optimisation des transits océaniques fondé sur l'intelligence artificielle, afin de permettre aux navires d'arriver juste à temps en fonction de la disponibilité des postes d'amarrage.

---

<sup>18</sup> Étienne Landry, Mémoire de l'APP à l'atelier des travailleurs en mer de 2023 de la Fédération maritime du Canada.

## Région de l'Atlantique

L'Administration de pilotage de l'Atlantique (APA) est responsable du pilotage dans l'ensemble du Canada atlantique, qui comprend les cinquième et neuvième plus grands ports du Canada : Saint John, N.-B. et Halifax, N.-É. La zone se compose de 20 « zones de pilotage obligatoire », largement associées aux ports et aux zones de contraintes de navigation telles que le détroit de Canso et le pont de la Confédération. Les stations de pilotage sont précisées en conséquence<sup>19</sup>.

Les ports particuliers et les zones d'embarquement des pilotes pour l'APA sont les suivants :

- Labrador : Baie de Voisey
- Terre-Neuve : Baie des Exploits, Humber Arm, Stephenville, baie de Plaisance, Holyrood, St. John's
- Nouvelle-Écosse : Sydney, lac Bras d'Or, détroit de Canso, Sheet Harbour, Halifax
- Nouveau-Brunswick : Saint John, Miramichi, Belledune, Pugwash, Restigouche
- Île-du-Prince-Édouard : Charlottetown, Summerside, Pont de la Confédération

Dans la région de l'APA, le pilotage obligatoire est établi pour tous les navires étrangers et les navires canadiens de plus de 1 500 TJB ou les embarcations de plaisance de plus de 500 TJB. Le seuil de tonnage s'applique au tonnage combiné ou aux remorqueurs et aux unités remorquées, sauf s'il y a plus d'une unité remorquée, auquel cas le seuil est de 500 TJB. Les exemptions sont similaires à celles des autres régions de pilotage, mais elles incluent également les navires de ravitaillement hauturiers de 5 000 TJB ou moins situés dans la région, les navires de pêche, les embarcations de plaisance étrangères de 500 TJB ou moins, et les remorqueurs étrangers de moins de 500 TJB si l'équipage est composé d'officiers de pont titulaires d'un brevet canadien. L'APA permet également de renoncer au pilotage dans les circonstances habituelles de besoin urgent, et prévoit des « dispenses prolongées » d'une durée maximale d'un an pour les navires effectuant des travaux de dragage, des travaux maritimes ou des opérations de récupération<sup>20</sup>.

L'APA applique un système de brevets graduels à trois niveaux : Classe A – plus de 40 000 TJB; Classe B – pas plus de 40 000 TJB; et Classe C – pas plus de 10 000 TJB. Les candidats à un brevet de pilote ou à un certificat de pilotage doivent prouver une expérience de 18 mois en tant que capitaine ou de 36 mois en tant qu'officier de pont, ou d'un an dans chaque cas, ou de 20 à 60 voyages dans la zone de pilotage, en fonction de leur rôle. L'APA prévoit que, au cas par cas, un programme de familiarisation peut remplacer cette expérience préalable. Les candidats au certificat de pilotage doivent prouver qu'ils ont effectué – au cours des deux années précédant la demande – au moins 12 voyages aller simple pour les ports principaux ou 4 voyages dans d'autres ports de la zone de l'APA. L'APA exige également un nombre minimum de voyages sur une période de deux ans comme condition de maintien d'un brevet ou d'un certificat de pilotage. Pour le reste, les exigences de l'APA en matière de qualification et d'examen sont similaires à celles des autres administrations de pilotage.

## Arctique

Il n'y a pas d'administration de pilotage responsable du pilotage dans l'Arctique, et il n'y a pas non plus de pilotage obligatoire dans l'Arctique canadien. Les zones de pilotage obligatoire les plus septentrionales sont la baie de Voisey (T.-N.-L.), dans la zone de l'APA, et le port de Churchill (Man.), dans

---

<sup>19</sup> Pour plus de détails, consulter le site Web de l'APA : <https://www.pilotagedelatlantique.com/operations/zones-de-pilotage-obligatoire/>

<sup>20</sup> Article 22.10 du RGP



la zone de l'APGL. Bien que ni la baie de Voisey ni Churchill ne se trouvent dans la zone définie par l'OMI comme « eaux polaires » (au-dessus de 60 degrés nord dans cette zone), elles sont toutes deux accessibles par des eaux encombrées de glace pendant la majeure partie de l'année.

Le trafic a augmenté dans l'Arctique canadien au cours des 20 dernières années<sup>21</sup>. Cela se manifeste à la fois par le nombre de navires et le nombre de voyages dans les eaux polaires canadiennes. En 2023, un nombre record de 11 navires de passagers et de 13 navires commerciaux auront franchi le passage du Nord-Ouest dans son intégralité. Bien qu'il ne figure pas parmi les dix principaux ports canadiens gérés par les administrations portuaires canadiennes, le port de Milne Inlet a connu une croissance importante du trafic en raison de l'exportation du minerai de fer de la mine Mary River de Baffinland Iron Mines. En 2023, la mine a produit un record de 6 075 millions de tonnes de minerai de fer, ce qui a nécessité 75 navires à destination et en provenance du nord de l'île de Baffin<sup>22</sup>.

Dans la dernière révision de la *Loi sur le pilotage*<sup>23</sup>, trois des 38 recommandations abordent directement la question de la sécurité de la navigation dans la région arctique du nord du Canada. La principale d'entre elles est la suivante :

27. *Je recommande que Transports Canada, que la Garde côtière canadienne et que le Service hydrographique du Canada établissent de façon prioritaire un échancier accéléré en vue d'élaborer et de mettre en place une structure de gestion des corridors à faible impact, ainsi que d'évaluer le besoin de faire appel à des services de pilotage comme mesure d'atténuation possible identifiée au moyen d'une méthode robuste d'évaluation des risques liés à la navigation.*

Il est significatif que la navigation dans le Nord ne soit pas soutenue par des exigences formelles de pilotage, mais seulement par l'adoption par le Canada des exigences du Code polaire pour les certificats de formation avancée pour la navigation en eaux polaires. Les exigences du Code polaire telles qu'elles ont été adoptées au Canada requièrent du temps de navigation dans les eaux polaires ou un temps équivalent dans les eaux couvertes de glace (qui pourraient être le golfe du Saint-Laurent ou les Grands Lacs). Les personnes qui acquièrent cette expérience dans les eaux polaires en tant que navigateurs dans les glaces sont les mieux placées pour acquérir la connaissance de la géographie et des conditions locales qui est au cœur du pilotage traditionnel.

La navigation dans le Nord présente des défis uniques. Les communications sont incomplètes en raison d'une réception radio et d'une couverture satellite limitées. Les relevés hydrographiques pour les cartes sont incomplets. Bien que le Service hydrographique du Canada poursuive un plan pluriannuel visant à réaliser des levés à plus haute résolution et offrant une fidélité accrue pour les couloirs primaires et secondaires, plusieurs sources suggèrent que seul un faible pourcentage des eaux de l'Arctique canadien fait actuellement l'objet de levés conformes aux normes modernes. La bathymétrie participative pourrait constituer une solution technologique permettant d'améliorer cette situation plus rapidement.

Le *Règlement sur la zone de services de trafic maritime du Nord canadien* (NORDREG) établit des protocoles pour les STM dans l'Arctique. Il est configuré principalement pour la sécurité et le contrôle de

---

<sup>21</sup> Scott Polar Research Institute, <https://www.spri.cam.ac.uk/resources/infosheets/northwestpassage.pdf>, et statistiques NORDREG jusqu'en 2016.

<sup>22</sup> Instagram de Baffinland, <https://www.instagram.com/p/CzHVJexOrOD/>

<sup>23</sup> Grégoire, 2018, S.6.4

la souveraineté plutôt que pour une surveillance précise de la navigation. Dans l'Arctique, rien n'est « en temps réel », qu'il s'agisse des conditions météorologiques, des prévisions concernant les glaces ou du suivi des navires. Les cartes du Service canadien des glaces sont souvent considérées comme des représentations définitives de l'état des glaces. Cependant, une carte des glaces peut être périmée de 12 heures avant de pouvoir être utilisée à bord d'un navire. Il faut donc faire preuve d'une certaine prudence dans l'interprétation; les conditions en temps réel peuvent être plus ou moins difficiles que prévu, car les glaces peuvent s'être déplacées sur une distance considérable sous l'effet du vent et du courant au moment où les cartes sont reçues.

Jusqu'à ce que l'hydrographie soit améliorée et qu'une couverture de communication par satellite fiable et complète soit établie pour l'Arctique, les navires dans le Nord doivent être largement autonomes. Les technologies embarquées de détection des dangers, telles que les échosondeurs prospectifs, les radars haute définition, la détection électro-optique des glaces, les superpositions d'images radar pour la vérification de la position et les projecteurs efficaces, constituent les meilleures mesures d'atténuation des risques. L'imagerie radar à synthèse d'ouverture haute résolution fournie par les satellites, si elle est disponible, peut réduire le temps de latence dans les prévisions sur les glaces, car elle permet de visualiser les conditions de glace indépendamment de la couverture nuageuse. Les prévisions et l'évaluation des risques fondées sur l'IA et les bases de données présentent également des débouchés technologiques émergents. Dans la région arctique, une autre tendance technologique émergente est l'utilisation de systèmes de navigation dans les glaces autonomes, mais compatibles, qui peuvent être reliés à un écran SEVCM et échanger des renseignements sur les points de cheminement du voyage. Cela permet de visualiser simultanément des images et des cartes des glaces géoréférencées à haute résolution sur un écran distinct des renseignements cartographiques nécessaires à la sécurité de la navigation.

## 3.0 Systèmes de pilotage comparables au niveau international

Les pays et les États étudiés dans cette section du rapport ont été choisis parce qu'ils partagent certains aspects du pilotage avec une ou plusieurs régions de pilotage du Canada, ou parce qu'ils sont représentatifs de certaines innovations de pointe dans le domaine. Ils ne sont peut-être pas les comparateurs des régions de pilotage du Canada pour ce qui est des volumes les plus élevés, mais ils représentent une variété de types géographiques comprenant un littoral échancré, des conditions climatiques uniques, des régions éloignées ou de vastes zones de pilotage obligatoire.

### 3.1 Norvège

L'Administration côtière norvégienne (NCA, « Kystverket », une agence gouvernementale) est responsable du service de pilotage de l'État norvégien. Tous les pilotes de l'État norvégien sont recrutés, formés, certifiés et employés par la NCA.

La Norvège possède un littoral très échancré qui présente de nombreuses similitudes avec la côte de la Colombie-Britannique sous la compétence de l'APP. La Norvège impose le pilotage obligatoire à l'intérieur de son littoral, qui entoure de grandes étendues d'eau libre comme le Vestfjord. Cette vaste zone de pilotage (950 milles marins du sud-ouest au nord-est) est desservie par 300 pilotes actifs dans des dizaines de stations de pilotage. En règle générale, tous les navires d'une longueur égale ou supérieure à 70 m ou d'une largeur égale ou supérieure à 20 m sont soumis au pilotage obligatoire, à l'exception des navires plus petits appartenant à certaines catégories telles que les navires à passagers, les remorqueurs et certaines cargaisons dangereuses, dont la longueur est égale ou supérieure à 50 m (longueur combinée pour les remorqueurs et les unités remorquées)<sup>24</sup>. Certaines exemptions sont prévues pour les navires se rendant d'une station de pilotage à l'autre à l'intérieur du littoral, ainsi que pour les navires militaires et les déplacements dans les ports pour les navires plus petits<sup>25</sup>.

La Norvège applique un système de « certificats de dispense de pilotage » (CDP) qui dispense les navires de transporter un pilote tant qu'un détenteur de CDP se trouve sur la passerelle à tout moment. Ces certificats s'appliquent à tous les navires, à l'exception des navires à propulsion nucléaire et (généralement) des navires de 150 m ou plus. Il existe trois classes de CDP s'appliquant aux navires de moins de 100 m, aux autres navires et (exceptionnellement, pour le CDP de classe 1) aux navires de 150 m ou plus. Chaque classe de CDP exige une période de référence (pour la classe 2, il s'agit d'un an en tant qu'officier de pont, avec 12 voyages aller-retour dans les chenaux pour lesquels le CDP est applicable, dont deux de nuit). Le CDP de classe 3 exige que la compagnie du candidat mette en œuvre un plan de formation au CDP, tandis que l'exigence est plus formelle pour le CDP de classe 2. Dans tous les cas, le candidat doit passer un examen. Nonobstant le champ d'application du système de CDP, celui-ci ne s'applique pas à certaines classes et tailles de navires (p. ex., les trains de remorque de 100 m ou plus, et les navires de 110 m ou plus transportant des cargaisons liquides dangereuses)<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> [https://www.kystverket.no/globalassets/ohm-regelverk/engelsk/02.2021\\_compulsory-pilotage-regulations.pdf](https://www.kystverket.no/globalassets/ohm-regelverk/engelsk/02.2021_compulsory-pilotage-regulations.pdf)

<sup>25</sup> <https://www.kystverket.no/en/pilotage-service-and-pilotage-exemption-certificate/pilotage/compulsory-pilotage/> – Voir aussi page 9 Carte 2 dans <https://www.state.gov/wp-content/uploads/2020/08/LIS148-Norway.pdf>, consulté le 14 février 2024.

<sup>26</sup> [https://www.kystverket.no/globalassets/ohm-regelverk/engelsk/02.2021\\_compulsory-pilotage-regulations.pdf](https://www.kystverket.no/globalassets/ohm-regelverk/engelsk/02.2021_compulsory-pilotage-regulations.pdf); l'annexe 3 présente un tableau détaillé des restrictions en matière de CDP pour chaque chenal.

La Norvège exploite un système complet de surveillance du trafic dans sa zone économique exclusive (jusqu'à 200 milles marins de la côte) appelé NOR Vessel Traffic Service (NOR VTS). Tous les pétroliers, les navires de plus de 5 000 TJB et les remorqueurs océaniques se trouvant en dehors de la limite de la mer territoriale (12 nm) sont tenus de se présenter au NOR VTS<sup>27</sup>. En outre, cinq zones de services de trafic maritime distinctes sont établies avec des dispositifs de séparation du trafic dans les approches des ports et terminaux importants, qui requièrent la participation obligatoire de tous les navires de plus de 24 m de long. Dans ces zones de services de trafic maritime, des restrictions très détaillées sont définies en fonction de la taille et de la cargaison des navires pour des chenaux particuliers<sup>28</sup>.

La Norvège a aussi participé de près à l'élaboration des futures cartes électroniques de navigation, en effectuant des démonstrations S-102 pour faire progresser les technologies de cartographie adaptées aux besoins futurs en matière de pilotage<sup>29</sup>. La Norvège a une certaine expérience du pilotage à distance, qu'il s'agisse de fournir des conseils lorsque le pilote n'est pas en mesure de monter à bord ou d'une situation plus intentionnelle de pilotage à terre (SBP). Dès 2001, Det Norsk Veritas (DNV) a défini les conditions préalables au SBP, à la suite d'un essai mené depuis la station des STM de Kvitsoy<sup>30</sup>. Récemment, une direction hors-bord plus traditionnelle a été exercée pendant la pandémie afin de limiter l'exposition des pilotes<sup>31</sup>. La société norvégienne Kongsberg est un chef de file mondial de la simulation marine et a été à l'avant-garde de l'élaboration des technologies de visualisation et de contrôle pour permettre non seulement le SBP mais aussi le contrôle à distance des navires. Elle a réalisé une vidéo illustrant ce que l'on imagine pour l'avenir du SBP<sup>32</sup>. La société norvégienne Massterly, en collaboration avec Kongsberg, a récemment ouvert un centre d'opérations à distance pour surveiller les opérations de son porte-conteneurs autonome de 80 m, le *Yara Birkeland*<sup>33</sup>. Il ne s'agit toutefois pas d'une technologie démontrée ou mise en œuvre sur des navires commerciaux de taille normale, ni d'une technologie qui peut être facilement installée sur des navires existants.

### 3.2 Finlande

Le pilotage maritime est pratiqué officiellement en Finlande depuis 320 ans, dans le but d'assurer la sécurité de la navigation dans les chenaux étroits et les chenaux publics de l'archipel finlandais. Le pilotage maritime en Finlande est assuré par Finnpilot Pilotage Ltd, une société d'État chargée de missions spéciales.

Le pilotage en Finlande est divisé en plusieurs régions :

- Golfe de Finlande, y compris les abords des ports d'Helsinki, de Kotka et de Porvoo.
- Archipel finlandais, couvrant les chenaux le long de la côte sud-ouest de la Finlande.

---

<sup>27</sup> PB 182, Instructions nautiques pour les côtes nord et ouest de la Norvège.

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj9ltXU\\_cGEAxVxODOIHfICACYQFnoECBUOQAQ&url=https%3A%2F%2Fmsi.nga.mil%2Fapi%2Fpublications%2Fdownload%3Fkey%3D16694491%2FSFH00000%2FPub182bk.pdf&usq=AOvVaw1OxEF6UO-5sO1WLhpOm335&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj9ltXU_cGEAxVxODOIHfICACYQFnoECBUOQAQ&url=https%3A%2F%2Fmsi.nga.mil%2Fapi%2Fpublications%2Fdownload%3Fkey%3D16694491%2FSFH00000%2FPub182bk.pdf&usq=AOvVaw1OxEF6UO-5sO1WLhpOm335&opi=89978449), également NCA VTS, <https://www.kystverket.no/en/navigation-and-monitoring/vts---vessel-traffic-service/sailing-rules/>

<sup>28</sup> Administration côtière norvégienne, <https://kystinfo.no/share/7922ea57a15b>

<sup>29</sup> Projet de démonstrateur S-102, <https://s102.no/operational-tests-results/kvitsoy-vts-operational-test/>

<sup>30</sup> Hovda, 2021, p. 14

<sup>31</sup> <https://marlog.no/en/making-history-with-remote-pilotage/>

<sup>32</sup> Centre d'opérations à distance de Kongsberg, <https://www.youtube.com/watch?v=UPtdgilrJI>

<sup>33</sup> La société de transport maritime autonome Massterly ouvre un centre d'opérations en Norvège, <https://www.marinelink.com/news/autonomous-shipping-company-massterly-512079>

- Mer de Botnie et baie de Botnie, une vaste zone couvrant les côtes nord et ouest de la Finlande. Elle comprend la mer de Botnie, le Quark et la baie de Botnie, ainsi que les ports situés dans cette zone.

En 2022, Finnpiilot a effectué 20 315 missions avec 132 pilotes déployés dans 11 stations de pilotage, dans une région de pilotage qui s'étend sur 370 milles marins du sud au nord et 230 milles marins de l'ouest à l'est<sup>34</sup>. Le pilotage obligatoire s'applique à tous les navires d'une longueur égale ou supérieure à 50 mètres, ainsi qu'aux navires transportant des cargaisons dangereuses précisées. Des dispenses sont accordées à certaines catégories de navires et à ceux dont les officiers sont titulaires d'un certificat de dispense de pilotage<sup>35</sup>. Le rapport annuel de 2022 de Finnpiilot indique que 35 % des navires naviguant dans les eaux finlandaises emploient des pilotes.

Les pilotes doivent détenir un brevet délivré par l'Agence finlandaise des transports et des communications (Traficom) pour effectuer le pilotage dans des chenaux particuliers. Bien que les qualifications précises puissent varier, les marins titulaires d'un certificat de compétence/de service en tant que capitaine d'un navire étranger peuvent prétendre à cet emploi. Les chefs de quart (naviguant à l'étranger) ou les officiers de dragage de grade I ayant au moins deux ans d'expérience peuvent également postuler.

La Finlande est un chef de file dans le développement continu du pilotage à distance, en grande partie grâce à l'orientation du gouvernement et aux changements apportés à la réglementation en 2019 qui facilitent le pilotage à distance fondé sur un permis. La Finlande participe également à la mise au point et aux essais de navires autonomes, utilisant des technologies de surveillance similaires qui pourraient faciliter le pilotage à distance. Malgré ces progrès, en 2022, le directeur du pilotage de Finnpiilot a conclu que : [traduction] « Bien que divers navires autonomes aient été testés en Finlande et dans le monde entier depuis quelques années et que nous soyons à la pointe du développement du pilotage à distance au niveau international, la mise en œuvre du pilotage à distance comme tel ne se fera pas avant plusieurs années<sup>36</sup> ». De plus amples détails sont fournis à la section 4.5.

La Finlande exploite six zones de STM autour de sa côte. Tous les navires d'une longueur égale ou supérieure à 24 mètres sont tenus d'y participer. La Finlande coopère également avec l'Estonie et la Russie dans le cadre du GOFREP (système de compte rendu des navires du golfe de Finlande) qui surveille le trafic (tous les navires de 300 TJB ou plus) dans les eaux internationales. Les services de trafic maritime d'Helsinki couvrent les zones de trafic finlandaises, et les services de trafic maritime de Tallinn et de Saint-Pétersbourg couvrent respectivement les zones de trafic maritime estoniennes et russes. La Finlande a également mis en œuvre ce système dans les eaux territoriales ne relevant pas de la compétence des STM<sup>37</sup>.

<sup>34</sup> Finnpiilot, [https://finnpilot.fi/wp-content/uploads/2023/03/Finnpiilot\\_annualreport\\_2022.pdf](https://finnpilot.fi/wp-content/uploads/2023/03/Finnpiilot_annualreport_2022.pdf)

<sup>35</sup> Réglementation maritime : <https://www.marineregulations.news/finland-ministry-of-transport-and-communications-has-published-the-pilotage-act/>

<sup>36</sup> Essai de pilotage à distance en Finlande : <https://smartmaritimenetwork.com/2022/05/20/remote-piloting-test-undertaken-in-finland/>

<sup>37</sup> Fintraffic : <https://www.fintraffic.fi/en/vts/masters-guide>

### 3.3 Danemark

DanPilot est le fournisseur gouvernemental de services de pilotage, effectuant plus de 20 000 missions par an<sup>38</sup>. La loi sur DanPilot (*Act on DanPilot*) a été adoptée par le Parlement danois en mai 2013 afin de transformer le prestataire de services de pilotage en une entreprise publique indépendante dotée de son propre conseil d'administration et d'une économie indépendante. Tous les pilotes sont approuvés et certifiés par l'Autorité maritime danoise et possèdent des qualifications et une expérience acquises dans le cadre du service de la marine marchande.

Les lignes directrices DanPilot sur le pilotage font mention de treize zones, auxquelles s'ajoutent les eaux entourant le Groenland. L'exigence fondamentale pour le pilotage obligatoire est liée au transport de cargaisons dangereuses, dont le seuil de base est de 5 tonnes de combustible de soute. Pour les navires de croisière naviguant dans les eaux du Groenland, le seuil de pilotage obligatoire est de 250 passagers, mais de nombreux navires plus petits choisissent de prendre des pilotes par mesure de diligence.

Les eaux entre le Danemark et la Suède sont des zones de pilotage non obligatoire en vertu d'un décret vieux de plusieurs siècles entre les deux pays. Cette situation a changé en 1985 avec la publication de la résolution A.579 (14) de l'OMI recommandant que certains pétroliers, tous les transporteurs de produits chimiques et de gaz, ainsi que les navires transportant des matières radioactives qui empruntent le détroit qui sépare la Suède et le Danemark, utilisent des services de pilotage. La résolution recommandait également le pilotage pour tous les navires d'un tirant d'eau supérieur à 7 ou 11 m, selon l'itinéraire emprunté.

Les pilotes sont munis d'UPP, de cartes électroniques actuelles et d'aides pour assurer le meilleur guidage possible. Les pilotes sont en ligne pendant l'opération et peuvent recevoir de l'information des autorités locales et du centre de services de DanPilot (présent 24 heures sur 24) sur les avertissements de navigation et tout autre facteur susceptible d'influer sur la sécurité du passage du navire. Une fois le pilote à bord du navire, l'opération est planifiée en coopération avec l'équipage afin de répondre à toutes les demandes et attentes du client, tout en choisissant le meilleur itinéraire et le plus sécuritaire qui soit. Les pilotes donnent également des conseils lorsqu'il existe d'autres itinéraires plus courts ou plus sécuritaires.

DanPilot et les fournisseurs de services de pilotage travaillent conjointement sur un projet visant à introduire le pilotage à terre dans la région. Dans la phase d'essai actuelle, ils placent un pilote à bord ainsi qu'un pilote au « centre de contrôle » lorsqu'ils effectuent un pilotage à distance sur un navire. Le projet d'essai se déroule dans la zone non obligatoire des eaux entre le Danemark et la Suède et dans la Baltique.

Les conditions actuelles pour qu'un navire puisse participer au programme de pilotage à distance sont les suivantes :

- réalisation d'une évaluation des risques particuliers à la zone;
- l'équipage du navire a une maîtrise avérée de l'anglais;
- le navire est doté d'un SEVCM avec SIA;
- le navire peut transmettre sa télémétrie, y compris l'image du radar de bord, au centre de contrôle;

---

<sup>38</sup> Les renseignements contenus dans cette section proviennent des sites Web de DanPilot et de l'Autorité maritime danoise (<https://www.danpilot.dk>, <https://dma.dk/safety-at-sea/safety-of-navigation/pilotage/rules-and-regulations>), ainsi que d'entretiens avec des cadres supérieurs de DanPilot.

- les données télémétriques sont extraites de l'enregistreur des données du voyage (VDR) et téléchargées toutes les quelques secondes ou à n'importe quel moment défini par le pilote qui prend part à l'opération de pilotage à distance. Toutes les données consultées par le VDR du navire sont envoyées au centre de contrôle SBP;
- le matériel relié au VDR utilise la communication par satellite pour transmettre l'information au centre de contrôle du pilotage à terre et constitue une communication unidirectionnelle entre le navire et le centre de contrôle. Cette communication unidirectionnelle réduit le risque de problèmes de cybersécurité. Le coût de ce matériel est d'environ 10 000 \$ US.

Le centre de contrôle SBP lui-même nécessite les éléments suivants :

- réalisation d'une évaluation des risques;
- accès à la télémétrie du navire, y compris l'image du radar de bord;
- une communication claire et constante avec le navire;
- un SEVCM avec SIA.

À l'heure actuelle, le centre de contrôle SBP n'a pas accès à une vidéo à bord du navire piloté à distance, mais cela ne saurait tarder. Pour l'instant, c'est comme si le pilote pilotait dans le brouillard. L'évitement des collisions reste une responsabilité de l'équipage à bord, avec les conseils du télépilote, plutôt que des télépilotes qui manœuvrent le navire. Compte tenu de ces limites et du fait que le pilote n'exerce pas la pleine « conduite » du navire, on pourrait affirmer que cette expérience de SBP ne constitue qu'une « aide à la navigation ».

Les pilotes de DanPilots sont spécialement formés pour fournir une assistance à la navigation à distance depuis le centre de contrôle SBP. Outre les exigences habituelles en matière de pilotage, ils doivent être capables de communiquer clairement pour donner des instructions à l'équipage du navire par la voix uniquement; il n'y a pas d'indices visuels tels que le langage corporel. Le télépilote doit communiquer le plan afin que l'équipage à bord ait la même image mentale du transit et de la progression du navire. Le programme semble conçu pour améliorer à la fois les connaissances et les compétences des pilotes (avec la nécessité d'une communication plus efficace) et celles de l'équipage du navire, qui apprend les connaissances et l'expertise locales du pilote pour manœuvrer le navire en toute sécurité pendant la traversée. Dans l'expérience danoise de pilotage à distance, les coûts du pilote restent les mêmes, mais les économies escomptées pourraient provenir de la réduction des déplacements – y compris des coûts du bateau-pilote – et de la sécurité accrue du pilote qui n'a pas à monter à bord du navire dans toutes les conditions météorologiques. Il s'agit toutefois d'une hypothèse, car la phase d'essai prévoit toujours l'embarquement d'un pilote « à sécurité intégrée » à bord du navire.

Selon le *DanPilots Professional Footprint Guide (2020)*<sup>39</sup>, les technologies envisagées à l'époque comprenaient le dégagement sous quille en temps réel, le pilotage assisté par drone pour une meilleure visibilité et les remorqueurs télécommandés.

### 3.4 Chili

Le pilotage maritime au Chili couvre trois zones d'un littoral très découpé de 4 300 km couvrant plus de 800 milles marins de latitude, y compris les chenaux de marée complexes du détroit de Magellan et de la

<sup>39</sup> [https://danpilot.dk/media/1295/danpilot\\_professional\\_footprint.pdf](https://danpilot.dk/media/1295/danpilot_professional_footprint.pdf)

Patagonie<sup>40</sup>. Les pilotes sont dépêchés à partir de 8 stations de pilotage allant du canal de Chacao (41°48' de latitude sud) au cap Horn (55°57' de latitude sud).

Les trois zones de pilotage sont :

- Zone de Chiloé et d'Aysén : de 41°45' de latitude sud (canal de Chacao/Ancud) à 47°00' de latitude sud (Golfo de Penas).
- Zone de la Patagonie : de 47°00' sud (Golfo de Penas) au détroit de Magellan.
- Zone fuégienne : du détroit de Magellan au cap Horn, y compris l'île de la Terre de Feu et les canaux fuégiens. Cette dernière région abritée est le passage le plus utilisé pour atteindre l'Antarctique.

Le pilotage est obligatoire pour tous les navires étrangers naviguant dans les eaux intérieures du Chili au sud du canal de Chacao. Certains navires ne sont pas tenus d'avoir un pilote dans la partie ouest du détroit de Magellan. Certaines routes sont soumises à des restrictions particulières en matière de tirant d'eau et de taille.

Au Chili, le pilotage maritime est réglementé par l'Autorité maritime nationale chilienne (également connue sous le nom de Direction générale du territoire maritime et de la marine marchande, ou Directemar). Les pilotes chiliens sont des marins ayant une expérience de commandement, issus à la fois de la marine militaire et de la marine marchande.

### 3.5 Australie

L'Australie possède de vastes zones de responsabilité océanique entourant une côte continentale de 34 000 km et des dizaines de ports, dont au moins 10 peuvent être considérés comme des ports majeurs. Une grande partie de cette zone est considérée comme écologiquement sensible ou présente des risques particuliers pour la navigation (notamment les eaux peu profondes de la Grande Barrière de Corail et du détroit de Torres). Les 10 principaux ports australiens ont traité un total de 1 516 millions de tonnes de fret international en 2020-2021<sup>41</sup>. En 1997, 272 pilotes brevetés ont géré un commerce international moindre de 478 millions de tonnes dans le cadre de plus de 60 000 mouvements de navires<sup>42</sup>.

En Australie, le pilotage est principalement limité aux ports et à leurs approches. En outre, le pilotage côtier est obligatoire dans cinq zones, à savoir :

- Route intérieure (du cap York à Cairns)
- Grand Canal du Nord-Est
- Passage des hydrographes
- Îles Whitsunday (passage de Whitsunday, groupe Whitsunday et groupe Lindeman)

<sup>40</sup> Les renseignements contenus dans cette section sont tirés du site Web de Directemar :

[https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/estrechodemagallanes\\_en.html#:~:text=Pilotage%20policy,Chacao%20Channel%20and%20Cape%20Horn](https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/estrechodemagallanes_en.html#:~:text=Pilotage%20policy,Chacao%20Channel%20and%20Cape%20Horn), et <https://www.findaport.com/country/chile> . Les rapports plus détaillés ne sont pas disponibles en anglais.

<sup>41</sup> Gouvernement australien : <https://www.bitre.gov.au/sites/default/files/documents/Australian%20Sea%20Freight%202020-21.pdf>

<sup>42</sup> AMPA :

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjO2pvfscceDAXWMweYEHe4NBIsQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.aph.gov.au%2Fparliamentary\\_business%2Fcommittees%2Fhouse\\_of\\_representatives\\_committees%3Furl%3Dcita%2Fmanfatigue%2Fsubmissions%2Fmfs37.pdf&usq=AOvVaw0fFeHvfZWcCesH1xebVH9&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjO2pvfscceDAXWMweYEHe4NBIsQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.aph.gov.au%2Fparliamentary_business%2Fcommittees%2Fhouse_of_representatives_committees%3Furl%3Dcita%2Fmanfatigue%2Fsubmissions%2Fmfs37.pdf&usq=AOvVaw0fFeHvfZWcCesH1xebVH9&opi=89978449)



- Détroit de Torrès

En vertu de la *Navigation Act of 2012*, les navires de plus de 70 mètres de long, les pétroliers chargés, les transporteurs de produits chimiques chargés et les transporteurs de gaz liquéfiés chargés (quelle que soit leur longueur) sont tenus d'embarquer un pilote côtier breveté lorsqu'ils traversent ces zones.

Les cinq zones de pilotage côtier sont réglementées par l'Autorité australienne de sécurité maritime, tandis que les pilotes portuaires sont brevetés et réglementés par les gouvernements des États. Marine-Pilots.com répertorie 24 prestataires de services de pilotage en Australie. L'Australasian Marine Pilots Institute (anciennement Australian MPI) a été créé en 1989 pour servir de voix collective à ces organisations disparates<sup>43</sup>.

Tous les pilotes doivent être en mesure de travailler en Australie, posséder les qualifications requises et être médicalement aptes. Pour pouvoir devenir pilote côtier, le candidat doit suivre une formation initiale, y compris des cours approuvés tels que la formation de pilote agréé et un cours de gestion des ressources à la passerelle. Comme les pilotes côtiers travaillent dans des zones particulièrement sensibles, ils doivent posséder un niveau élevé de connaissances locales pour guider en toute sécurité des navires de toute taille dans ces zones. Pour les pilotes portuaires, les exigences varient en Australie, mais en général, ils doivent être titulaires d'un certificat de compétence maritime approprié, démontrer leur expertise en matière de navigation et suivre la formation requise pour cette zone particulière.

En septembre 2023, l'Autorité australienne de sécurité maritime a annoncé qu'elle entreprendrait un examen complet du pilotage côtier<sup>44</sup>.

### 3.6 États-Unis (Alaska)

L'Alaska possède une vaste zone océanique qui présente des difficultés de navigation similaires à celles de la côte de la Colombie-Britannique, avec le défi supplémentaire des bras de mer encombrés de glace, ainsi qu'un domaine considérable d'eaux polaires qui est inaccessible pendant une grande partie de l'année et qui nécessite une expertise particulière pendant la saison de navigation. Le pilotage est obligatoire pour tous les navires de plus de 20 m (65 pieds) de longueur hors tout, bien que les navires de moins de 53 m (175 pieds) puissent bénéficier d'une dispense.

En Alaska, les pilotes maritimes peuvent détenir un permis dans trois régions, à savoir :

- Zone (1) Région du sud-est de l'Alaska : les eaux de pilotage obligatoire de l'Alaska commençant à la frontière sud avec le Canada, puis à l'ouest et au nord du 141° degré de longitude ouest. Cette zone est desservie par l'association des pilotes du sud-est de l'Alaska.
- Zone (2) Région du centre-sud de l'Alaska : les eaux de pilotage obligatoire de l'Alaska commençant à la limite ouest de la région de pilotage du sud-est de l'Alaska, puis généralement à l'ouest jusqu'au 156° degré de longitude ouest. Cette zone est couverte par l'association des pilotes du sud-ouest de l'Alaska.

---

<sup>43</sup> AMPI : <https://ampi.org.au/about-us/>

<sup>44</sup> Shipping Australia : <https://www.shippingaustralia.com.au/under-the-microscope-amsa-announces-coastal-pilotage-review>. Consulté le 5 janvier 2024.

- Zone (3) Région ouest de l'Alaska : les eaux de pilotage obligatoire de l'Alaska commençant à la limite ouest de la région de pilotage du centre-sud, puis à l'ouest, au nord et à l'est jusqu'à la frontière septentrionale avec le Canada. Cette zone est couverte par l'Alaska Marine Pilots, LLC.

Le pilotage en Alaska est supervisé par l'État d'Alaska par l'intermédiaire du conseil des pilotes maritimes (Board of Marine Pilots), qui relève de la division des sociétés, des entreprises et de la délivrance de permis professionnels (Division of Corporations, Business, and Professional Licensing). Le conseil adopte des règlements pour mener à bien sa mission, qui consiste à fournir un service de pilotage efficace et compétent pour la protection de la navigation, la sécurité de la vie humaine et des biens, et la protection de l'environnement marin.

Pour pouvoir se présenter à l'examen de pilotage, le candidat doit être titulaire d'un permis valide des garde-côtes américains en tant que capitaine ou second de navires ayant un tonnage approprié, avoir une expérience substantielle de la navigation dans les eaux de l'Alaska et réussir les examens écrits et oraux organisés par le conseil pour vérifier la connaissance des eaux de l'Alaska, de la navigation et des procédures de sécurité.

Après avoir réussi les examens, le candidat devient apprenti pilote et travaille aux côtés de pilotes expérimentés afin d'acquérir des connaissances et une expérience pratique. Il doit notamment suivre un programme de formation approuvé par le conseil d'administration et se soumettre à des évaluations régulières pour s'assurer de ses compétences. Une fois l'apprentissage et la formation terminés avec succès, l'apprenti reçoit un permis de pilote maritime de l'Alaska. Une fois le permis obtenu, le pilote doit se tenir au courant des réglementations, des technologies et des pratiques de sécurité, et participer à des ateliers, des séminaires et des cours de remise à niveau. Il est également soumis à une évaluation continue, le conseil évaluant périodiquement les pilotes afin de maintenir des normes élevées.

Les recherches menées dans le cadre de ce projet indiquent que la technologie utilisée par les pilotes de l'Alaska est conforme à la pratique courante au Canada.

### 3.7 Résumé des administrations et opérations de pilotage comparées

La portée et la taille des zones de pilotage maritime obligatoire varient considérablement d'un territoire de compétence à l'autre. Le point commun fondamental est le pilotage portuaire, avec quelques variations des seuils de tonnage et de cargaison dangereuse, cette obligation est presque universelle pour les navires battant pavillon d'un pays autre que l'État côtier. Le pilotage portuaire s'applique généralement à des zones limitées.

Les seuils de pilotage obligatoire se situent généralement entre 500 et 1 500 tonnes de jauge brute, ou entre 35 et 70 m de long. Les navires militaires et gouvernementaux (et parfois les navires de pêche) font généralement l'objet d'une exemption, et certaines situations extrêmes (détresse, sauvetage, recherche de refuge) peuvent donner lieu à une « dispense » de pilotage.

Tous les territoires de compétence disposent de critères et de systèmes d'octroi de permis pour les pilotes, généralement fondés sur une expérience de commandement de plusieurs années dans la zone géographique, suivie d'un examen, d'une formation et de programmes d'apprentissage. Presque tous les territoires de compétence disposent également de systèmes de délivrance de certificats de pilotage (exemption) aux marins qui remplissent certaines conditions de qualification et d'expérience locale.

En dehors des zones portuaires, le pilotage côtier peut être et est souvent imposé pour les approches de navigation étendues vers les ports. En général, le champ d'application de ces zones correspond aux eaux sous le contrôle exclusif de l'État, appelées « mer territoriale », jusqu'à 12 milles marins du rivage. C'est sur cette base que des exigences étendues en matière de pilotage côtier sont établies en Colombie-Britannique, en Alaska, au Chili et en Norvège. Certaines de ces zones couvrent de vastes détroits et détroits en eaux libres. Une autre catégorie de pilotage non obligatoire est le « pilotage en haute mer », dans lequel des entreprises non étatiques proposent des marins expérimentés pour aider à la planification et à la conduite de la traversée dans des zones très fréquentées telles que la Manche.

Dans certains cas (le Danemark et la Turquie en sont les principaux exemples), le droit d'imposer un pilotage obligatoire est limité par le droit de « passage inoffensif », qui permet aux navires d'effectuer sans entrave des transits « continus et rapides » dans les eaux territoriales reliant deux régions de la haute mer. Dans ce cas, le pilotage peut être fortement conseillé ou recommandé par l'État côtier et l'Organisation maritime internationale, mais il n'est pas imposé, sauf dans des cas limités impliquant des cargaisons dangereuses.

Dans plusieurs cas, ce droit de passage inoffensif s'oppose à la valeur de la protection de l'environnement. Le détroit de Torrès, par exemple, est un cas où l'imposition du pilotage obligatoire par l'Australie a permis de répondre aux exigences de gestion d'une zone maritime particulièrement sensible, au détriment de la liberté de navigation, ce qui a suscité la controverse. Le fait d'étendre le pilotage obligatoire à de vastes zones de l'Arctique canadien susciterait des objectifs et une opposition similaires, notamment parce que le statut des zones que le Canada considère comme des « eaux intérieures » est contesté par d'autres nations maritimes.

En ce qui concerne l'innovation technologique dans le domaine du pilotage, il semble que le Danemark et la Finlande soient en tête des pays interrogés dans le cadre de cette étude<sup>45</sup>. Tous deux participent de près à la préparation du pilotage à terre discrétionnaire, et la Finlande est activement engagée dans la préparation de la navigation autonome. La Suède, bien qu'elle n'ait pas fait l'objet d'une recherche explicite dans le cadre de cette étude, participe également aux structures coopératives d'échange d'information et de surveillance du trafic de l'UE et de la mer Baltique. La gestion du trafic maritime (GTM) et le projet connexe Mona Lisa 2.0 sont des initiatives exemplaires de l'Administration maritime suédoise dans ce domaine, mais elles semblent aujourd'hui principalement liées à l'échange de plans de passage (navigation)<sup>46</sup>.

Plusieurs raisons expliquent pourquoi ces pays baltes sont peut-être plus avancés que le Canada en matière de SBP/MASS : la préoccupation écologique pour la Baltique a permis une collaboration multinationale pour l'amélioration, et les efforts unifiés des États européens par l'intermédiaire de l'Agence européenne pour la sécurité maritime (AESM<sup>47</sup>) fournissent un important soutien politique, scientifique et financier pour l'innovation dans cette zone géographique limitée de la Baltique. En décembre 2023, l'AESM a publié un rapport<sup>48</sup> qui pourrait constituer la tentative la plus élaborée à ce jour

---

<sup>45</sup> Le Japon semble également être à la pointe de l'innovation maritime, notamment en ce qui concerne les MASS, mais il n'a pas été pris en compte dans notre comparaison des régimes de pilotage.

<sup>46</sup> GTM : <https://www.seatraficmanagement.info/projects/monalisa-2/>

<sup>47</sup> AESM : <https://www.emsa.europa.eu/about.html>

<sup>48</sup> AESM : Détermination des compétences pour les opérateurs de MASS dans les centres d'opérations à distance (en anglais) <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/5089-cmoroc-mass.html>

pour décrire « le fonctionnement efficace d'un futur centre d'opérations à distance ». Malgré cela, le rapport reconnaît implicitement, à travers ses cas d'essai hypothétiques, que la mise à l'échelle pratique de la technologie à une taille commercialement viable n'existe pas à l'heure actuelle.

Malgré des innovations dans de nombreux pays, ni le Danemark, ni la Finlande, ni les autres pays comparés n'utilisent de technologies de pilotage avec équipage qui présentent un contraste frappant par rapport à ce qui est courant au Canada.

## 4.0 Catalogue des technologies

Cette section du rapport présente le catalogue complet des technologies de navigation prises en compte dans le cadre de cette recherche et classées selon la méthodologie définie ci-dessous. Les technologies sont résumées dans une matrice à la section 4.2 et le catalogue complet est fourni à la section 4.3. Les technologies seront analysées plus en détail pour déterminer leur potentiel d'amélioration du pilotage dans la section 5.

### 4.1 Méthodologie

Une étude des régions de pilotage du Canada et plusieurs comparaisons internationales ont permis de mieux comprendre l'utilisation de la technologie dans chaque région qui contribue à l'efficacité et à l'efficacité (sécurité) du pilotage maritime. Les technologies rencontrées ont été classées selon trois critères :

1. Quelle est la fonction de pilotage assistée par la technologie?
2. À quel palier de l'organisation la technologie est-elle implantée ou mise en œuvre?
3. Quel est le degré de maturité de cette technologie et dans quelle mesure est-elle largement acceptée?

Ces trois critères sont définis plus en détail ci-dessous et permettent d'organiser les technologies en vue de leur présentation dans la matrice de synthèse de la section 4.2 et dans le catalogue de la section 4.3.

#### 4.1.1 Fonctions de pilotage

Le pilote maritime doit appliquer une grande variété de renseignements provenant de différentes sources pour accomplir un ensemble reconnu de fonctions. Ces fonctions peuvent être divisées en quatre domaines distincts :

1. **Position/mouvement** : position actuelle et future prévue du navire;
2. **Environnement** : tous les aspects de l'eau, de l'air et de la terre environnants qui constituent le milieu dans lequel le navire se déplace, y compris les dangers fixes et mobiles (c'est-à-dire les autres navires);
3. **Contrôle** : les fonctions dont disposent les officiers et le pilote du navire pour modifier le cap, la vitesse, l'attitude ou l'assiette/le tirant d'eau du navire; et
4. **Évaluation des risques** : processus (intellectuel ou technique) par lequel le pilote reconnaît et hiérarchise les dangers, puis décide des mesures à prendre pour atténuer les risques.

Le pilote doit tenir compte de ces fonctions à la fois dans la planification et dans l'exécution, ce qui nécessite un soutien technique/de l'information en temps non réel, comme les prévisions ou les plans, et en temps réel, comme des renseignements instantanés sur les conditions réelles au moment de l'exécution. Les supports ou outils technologiques peuvent aider le pilote à avoir accès aux renseignements/connaissances de base, à visualiser une situation complexe, à fournir des indications ou des avertissements sur les dangers imminents et à rationaliser le processus de prise de décision pour la gestion des risques. L'état actuel de la technologie fournit ce type de soutien selon un spectre d'automatisation, allant des opérations manuelles nécessitant que le pilote définisse et sélectionne

positivement les actions, aux fonctions entièrement automatiques dans lesquelles des machines dotées d'IA évaluent la situation et mettent en œuvre des actions soumises uniquement au veto du pilote à bord (ou d'opérateurs à distance).

#### 4.1.2 Niveau organisationnel

Les technologies envisagées peuvent s'appliquer à de multiples phases de la navigation, depuis les transits océaniques jusqu'à l'entrée dans les ports et l'amarrage, en passant par l'atterrissage et la navigation côtière. Les technologies peuvent être installées à bord du navire et mises à la disposition des officiers en l'absence du pilote, tandis que d'autres peuvent être des équipements spécialisés, des communications et des sources d'information que le pilote apporte à bord. D'autres encore doivent être mises en œuvre au moyen de systèmes complexes situés à terre.

Les technologies candidates ont été classées en fonction du niveau organisationnel auquel elles peuvent être fournies ou appliquées. Par exemple, certaines améliorations technologiques peuvent être mises en œuvre au niveau local (p. ex., la notification en temps réel des niveaux d'eau), tandis que d'autres nécessitent une coordination, une normalisation ou des services au niveau national (p. ex., l'amélioration des relevés hydrographiques). Les niveaux organisationnels pour la mise en œuvre de la technologie, du plus simple au plus complexe, sont les suivants :

1. **Pilotes** : technologie embarquée par le pilote, avec l'approbation/le soutien de l'administration de pilotage;
2. **Navires** : technologie installée par l'armateur ou l'exploitant du navire, ou attribuée à la conception et à la construction du navire;
3. **Administration portuaire/de pilotage** : technologie installée à terre par les autorités locales à l'intention des navires et des pilotes évoluant dans cette zone;
4. **État** : technologie mise en œuvre au niveau national ou résultant d'un développement, d'une normalisation ou d'une production à l'échelon national;
5. **OMI** : technologie installée pour se conformer à une convention ou une normalisation internationales.

#### 4.1.3 Maturité technologique

Les technologies ont ensuite été évaluées en fonction de leur niveau de développement ou d'acceptation. Les trois catégories élaborées à cette fin sont les suivantes :

1. **De base** : technologie dont la disponibilité est pratiquement garantie par convention ou par la loi;
2. **Améliorée** : technologie communément disponible et qui sera utilisée par la plupart des administrations portuaires et de pilotage modernes; et
3. **Émergente** : technologie qui existe sous forme de concept ou de démonstrations techniques, mais qui n'a pas encore été déployée à grande échelle dans le cadre d'une production commerciale ou d'une utilisation courante.

### 4.2 Synthèse des résultats

L'ensemble des technologies de base, améliorées et émergentes recueillies dans le cadre de cette recherche est présenté dans le tableau 4. Elles ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence

potentielle pour la sécurité et l'efficacité de la prestation des services de pilotage. Dans ce tableau, les technologies en caractères noirs sont considérées comme « base », celles en bleu sont « améliorées » et celles en rouge sont « émergentes ». Dans la section 4.3, ces technologies sont toutes numérotées de manière séquentielle, tel qu'indiqué dans le tableau 4, et portent les annotations selon le cas.

Les technologies ont été classées selon la fonction principale de pilotage (position/mouvement, environnement, contrôle, risque) à laquelle elles répondent et du niveau organisationnel du système de pilotage (pilote, navire, port, État, OMI) auquel elles sont mises en œuvre ou fournies. La catégorie « navire » contient les technologies dont disposent les officiers de bord et le pilote maritime lorsqu'il est embarqué. Celles de la catégorie « ports » sont mises en œuvre au niveau régional et profitent à tous les navires et pilotes évoluant dans cette zone.

**Tableau 4 : Technologies de base, améliorées et émergentes**

		Domaine fonctionnel			
		Pos/Mov	Environnement	Contrôle	Risque
Niveau d'implémentation	Pilote	2. Unite de pilotage portable		31. VHF digital portable	52. Outils nav. dans les glaces
		3. Logiciel de navigation			53. IA évaluation des glaces TR
		4. Prise réservée au Pilote			
		6. Indicateur vitesse giration			
		7. Pos. cinéma temps réel			
	Navire	5. SEVCM	12. SIA	35. Pilotes automatiques	48. Radar
		8. Position avancé autonome	18. Routage météo optimal	36. Cadrons de pont	49. ARPA
		9. Affichages tête haute RA	24. Affichage analyse de vagues	38. Enregistreur du voyage	51. Prédiction temps réel DSQ
			26. Échosondeurs prospectifs	40. Positionnement dynamique	54. Prévention collisions par IA
			27. 3D bathymétrie	41. Écheltes de pilote améliorées	50. Échosondeurs
	Port		28. Radar à ondes millimétriques	44. Passerelles ergonomique	
			29. Détection EO des dangers	45. Syst. amarrage automatique	
		10. Gestion de l'horaire avec IA	13. VAtoN	32. Remorque tracteurs/attachés	
			14. SGTm	33. Simulateurs mission complète	
			15. Connectivité Internet	34. Entraînement modèle réduit	
			16. Portails nav. électronique	37. Logiciel affectation pilotes	
			17. Routage météo optimal	39. Syst. protection des quais	
			18. Profondeur d'eau temps réel	42. Transfert hélicoptère de pilote	
			19. Espace vertical en temps réel	43. Transfert pilotes par VSTOL	
			21. Bathymétrie temps réel	46. Centres contrôle à distance	
	État		20. Courants en temps réel		
			22. Vents et mer en temps réel		
			23. Analyseur de vagues		
	OMI		24. Délect. TR mammifères mar.		
1. GPS/GNSS (DGPS)		25. Bathymétrie collaborative		55. Éval. complète des risques	
		11. CEN S-57			
		30. Normes S-100 pour CEN			

## 4.3 Catalogue des technologies

### 4.3.1 Position/Mouvement

#### 1. GPS/GNSS (Base)

Ces systèmes constituent la norme moderne en matière de détermination de la position et du mouvement des navires. Bien que tous les navires conservent la capacité de « fixer » le navire par des moyens astronomiques, des repères terrestres croisés<sup>49</sup>, et/ou le traçage de la portée radar, dans la pratique, les navires modernes s'appuient presque exclusivement sur des positions déterminées par le GPS/GNSS. La position future peut être déterminée par « point estimé » à partir des compas gyroscopiques<sup>50</sup> ou magnétiques embarqués, la vitesse étant déterminée par des « lochs » électromagnétiques ou Doppler, mais dans la pratique courante, la progression du navire est déterminée par la route fond ou la vitesse fond et la vitesse de giration, telles qu'indiquées par le GPS/GNSS. Le GPS (source unique) est vulnérable au piratage, au brouillage ou à toute autre forme de corruption par des interférences électroniques hostiles; cette vulnérabilité est réduite avec le GNSS multi-sources. Dans le présent rapport, le terme GPS est utilisé pour désigner une position générique dérivée d'un satellite.

#### 2. Unité de pilotage portable (Base)

Les UPP sont des ordinateurs personnels de la taille d'une tablette qui combinent les principales fonctions d'un SEVCM dans un format portable. Elles sont fournies par les administrations de pilotage et les corporations de pilotes, le cas échéant, et transportés à bord par les pilotes. Elles permettent au pilote d'apporter son propre plan de route et de fonctionner indépendamment des systèmes du navire. Les UPP peuvent être soit du matériel et des logiciels sur mesure, soit des plateformes courantes comme un iPad. Elles sont munies de récepteurs GPS indépendants et contiennent des cartes approuvées pour la zone de compétence du pilote. Souvent, elles fournissent également des données bathymétriques plus précises, telles que des relevés de postes d'amarrage, un niveau de détail qui n'est pas disponible dans les cartes électroniques de navigation standard. Une UPP combinée à un positionnement précis par GPS est un outil puissant qui complète mais ne remplace pas les méthodes de navigation traditionnelles du pilote.

#### 3. Logiciel de navigation (Base)

Des logiciels spécialisés sont produits pour fonctionner sur les UPP et fournir les fonctions de navigation avancées souhaitées par les pilotes. Il peut s'agir de produits sur mesure pour certains clients, ou d'un logiciel commercial plus largement disponible. BC Coast Pilots utilise un produit mis au point par NavSim, tandis que d'autres systèmes couramment utilisés sont produits par Wartsila, TRANSAS et SEAiQ.

---

<sup>49</sup> Pour ce faire, on utilise le pélorus, qui positionne un limbe horizontal au-dessus d'un répéteur de gyroscope ou de compas magnétique afin d'établir des lignes de position à partir de relevements horizontaux « vrais » ou « compas ».

<sup>50</sup> Un dispositif plus sophistiqué est le gyrolaser annulaire, mais son utilisation est généralement limitée aux plateformes navales. Il convient de noter que la plupart des systèmes gyroscopiques actuels sont reliés à des compas magnétiques émetteurs et génèrent des alarmes si le gyroscope s'écarte de la trajectoire corrigée correspondante du compas (c'est-à-dire : trajectoire magnétique  $\pm$  variation et déviation.) Cela dépend bien sûr de la stabilité du compas magnétique et peut donc déclencher des alarmes inutiles dans les zones où le champ magnétique est faible ou perturbé (telles que les régions polaires).



#### 4. **Prise réservée au pilote (Base)**

Les prises réservées au pilote sont des dispositifs WIFI ou Bluetooth qui se branchent sur un port spécial de la console de navigation du navire ou de la passerelle. Grâce à cette connexion, les pilotes peuvent recevoir sur leur UPP les données du navire concernant le cap, la vitesse, la vitesse de giration, les contacts SIA, etc. Il convient de noter que la vitesse de giration peut être obtenue directement à partir du système du navire ou que l'UPP peut différencier les changements de cap du navire pour l'obtenir<sup>51</sup>. Les connexions aux systèmes du navire peuvent ne pas être disponibles sur les navires plus petits et non commerciaux. Une prise réservée au pilote peut également fournir une source indépendante de position, tel que décrit précédemment au point 1.

#### 5. **Systèmes électroniques de visualisation des cartes marines (SEVCM) (Base)**

Les traceurs de cartes électroniques sont courants sur les navires modernes, qu'il s'agisse de navires commerciaux ou de bateaux de plaisance. On les désigne généralement par le terme « systèmes de cartographie électronique » (SCE), tandis que les SEVCM sont officiellement définis comme répondant aux normes de l'OMI en matière d'entrées positionnelles redondantes et à sécurité intégrée et de cartes électroniques approuvées (voir ci-dessous). Ces systèmes présentent l'avantage non négligeable de pouvoir sauvegarder et modifier les itinéraires précédents, d'ajuster les échelles de distance à utiliser, de « recouper » de manière transparente des cartes adjacentes et de fournir une multitude de fonctions détaillées de planification du voyage, telles que l'estimation de l'heure d'arrivée aux points de passage ou de la vitesse requise. Les navires qui satisfont aux exigences touchant les SEVCM et qui disposent de cartes électroniques approuvées pour leur zone d'opération peuvent être exemptés de l'obligation de transporter des équivalents papier. De nombreux SEVCM sont dotés d'une fonction de superposition d'images radar, qui permet de superposer l'image radar à la carte électronique. Cela permet de vérifier rapidement la précision du GPS (en faisant correspondre les littoraux) et de corrélérer rapidement les contacts radar avec des objets cartographiés tels qu'un rocher isolé ou une bouée. Aussi simple et utile que cela puisse paraître, cette fonction n'est pas universelle dans les SEVCM des navires. La superposition d'images radar est une fonction limitée aux systèmes des navires et n'est pas transférée aux UPP des pilotes. Le SEVCM intègre également un certain nombre de fonctions de risque ou d'alerte, telles que les caractéristiques d'affichage et d'alarme d'un « cône anti-échouement », une zone définie par l'utilisateur en termes de minutes d'avance par rapport au navire, qui laisse suffisamment de temps pour arrêter ce dernier ou modifier sa trajectoire.

#### 6. **Indicateur de vitesse de giration (Améliorée)**

Un indicateur de vitesse de giration fournit des données indépendantes plus précises sur la manière dont le navire réagit aux signaux de pilotage. Au lieu du dispositif gyroscopique analogique conventionnel dont sont dotés la plupart des navires, les indicateurs de vitesse de giration avancés sont de petits dispositifs portés par les pilotes et utilisent la technologie des systèmes micro-électromécaniques couramment utilisée dans les téléphones intelligents pour mesurer avec précision les changements dans le mouvement du navire. L'appareil calcule non seulement le taux de changement de cap, mais fournit également des mesures de tangage, de roulis, de pilonnement, d'oscillation et de surtension. Cette entrée dans l'UPP du pilote est préférée aux données sur la vitesse de giration générées par le navire.

---

<sup>51</sup> Les pilotes ne se fient généralement pas aux données sur la vitesse de giration transmises par le système du navire par l'intermédiaire de la prise réservée au pilote, car elles sont trop imprécises.

## 7. Positionnement cinématique en temps réel (Base)

La cinématique en temps réel offre une précision et une robustesse accrues par rapport au positionnement GPS/GNSS grâce à la comparaison de la position avec des données de référence. Elle réduit les effets de l'environnement, comme le passage sous un pont, et protège contre le piratage. L'unité cinématique en temps réel est un dispositif portable que le pilote apporte pour assurer l'interface sans fil avec son UPP. Cette technologie a largement remplacé les services GPS différentiels locaux. La cinématique en temps réel fonctionne généralement sur des lignes de base courtes et s'applique à des zones limitées, avec des besoins de haute précision. Des données de référence plus vastes peuvent être fournies par des services de renforcement des réseaux étendus ou des services de renforcement satellitaires pour obtenir une précision inférieure à 30 cm. À l'avenir, ces corrections positionnelles avancées pourront être fournies dans le monde entier grâce au système d'échange de données en VHF (VDES) par satellite.

## 8. Positionnement avancé autonome (Améliorée)

Des systèmes de positionnement très précis sont disponibles pour des utilisations spécialisées telles que les levés hydrographiques. Le système de choix du Service hydrographique du Canada (SHC) pour la précision du positionnement est le POS MV d'Applanix, qui fournit des coordonnées de latitude et de longitude à 7 endroits (précision au niveau du cm) dans des conditions dynamiques avec 6 degrés de liberté/d'orientation<sup>52</sup>. Bien que ce système n'ait pas d'utilité directe pour le pilotage, il témoigne de la précision croissante de la cartographie et du positionnement géophysiques.

## 9. Affichages tête haute/réalité augmentée (Émergente)

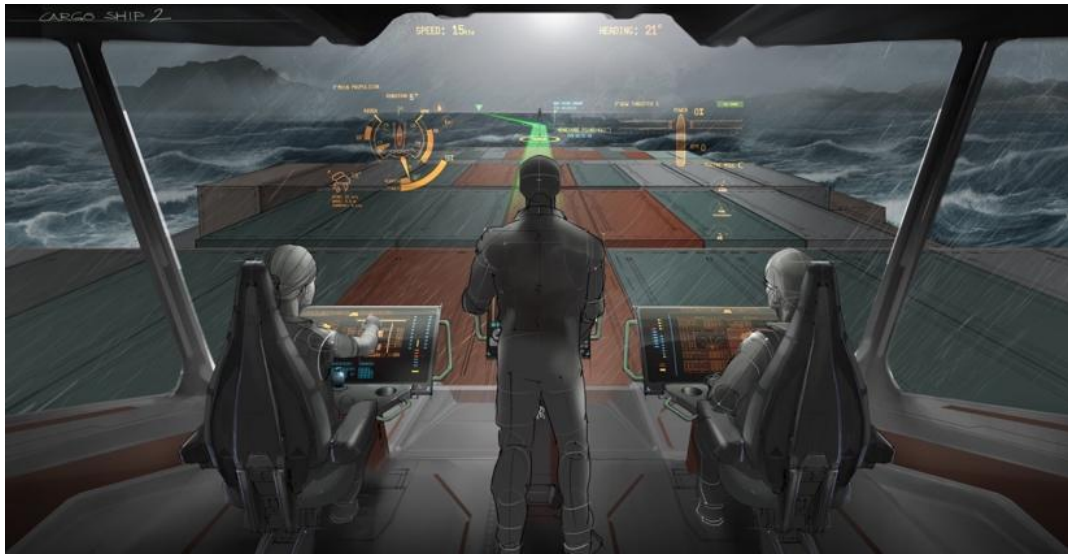
Les affichages tête haute sont disponibles dans les secteurs de l'aviation et de l'automobile depuis un certain temps, mais ce n'est que récemment qu'ils ont été sérieusement étudiés en vue d'une application dans le domaine maritime<sup>53</sup>. Cette technologie a des applications dans les fonctions de positionnement, d'évaluation environnementale et d'évaluation des risques, c'est pourquoi elle est abordée ici comme une plateforme pour ces autres fonctions. Jusqu'à présent, les approches en matière d'affichage tête haute pour la marine se sont concentrées sur les casques de réalité augmentée ou sur une forme d'affichage fixe (c'est-à-dire la projection sur les fenêtres de la passerelle). Le premier cas présente l'avantage d'être quelque chose que le pilote peut apporter à bord, tandis que le second nécessite un investissement et une installation préalables de la part de l'armateur. La seconde approche comporte trois éléments : un ordinateur pour combiner les renseignements, un projecteur pour projeter l'image et un « combinateur » ou une surface sur laquelle l'image est projetée. Cette technologie d'affichage particulière est décrite ou définie de diverses manières : réalité augmentée maritime ou visiocasque<sup>54</sup>.

---

<sup>52</sup> <https://www.applanix.com/products/posmv.htm>

<sup>53</sup> Holder et Pecota, 2011.

<sup>54</sup> Laera et al., 2021.



**Figure 2 : Affichage tête haute théorique (Source : Wollebaek)<sup>55</sup>**

Selon l'approche adoptée, la visualisation de l'image peut être limitée par la position du pilote dans la passerelle, le champ de vision et le contraste (c'est-à-dire que le pilote doit être en mesure de voir simultanément l'image – la réalité virtuelle – et la réalité au-delà des fenêtres). La visualisation simultanée de la réalité augmentée ou de la réalité simple peut poser un problème avec les approches fondées sur des casques. En outre, le pilote doit pouvoir avoir accès à d'autres renseignements de la passerelle (radar, aide de pointage radar automatique, données de barre et de position/mouvement) qui peuvent ne pas être incluses dans l'affichage tête haute.

L'un des principaux problèmes de l'affichage tête haute dans l'environnement maritime est de savoir quelles données afficher et en quelle quantité. L'« encombrement » est un problème important dans les affichages de connaissance de la situation. L'affichage tête haute doit-il améliorer la visibilité dans des situations de faible luminosité ou de visibilité réduite? Doit-il mettre en évidence les zones de navigation sécuritaires pour le pilotage côtier rapproché? Doit-il être utilisé comme une aide à la décision pour mettre en évidence ou classer les manœuvres potentielles permettant de résoudre une situation visée par le COLREG<sup>56</sup>? Et dans chacun de ces cas, quelle quantité de données doit-il afficher : position du navire, cap et vitesse, ordres de barre et du moteur, identité des objets/navires environnants, avertissements sur les risques relatifs, etc. Le défi est double : quoi afficher et comment l'afficher.

Une autre approche consiste à produire une vue virtuelle de la passerelle à l'aide d'une caméra visuelle superposée à des données provenant du SEVCM, du SIA, du radar et des applications d'évitement des collisions. Présenté sur un moniteur de passerelle séparé (ou même sur l'UPP du pilote), cet affichage permettrait d'améliorer la connaissance de la situation sans masquer la vue réelle. C'est l'approche adoptée par le système de navigation à réalité augmentée de Furuno (figure 3). Pour mettre en œuvre un tel système, il faut soit que le pilote importe le capteur visuel, soit que celui-ci soit installé en série sur les navires. L'affichage lui-même devrait être une fonction avancée

<sup>55</sup> Wollebeck, 2014.

<sup>56</sup> Szlapczynski, 2015.

de l'UPP ou un équipement supplémentaire du navire, et dans les deux cas, il devrait s'interfacer avec le flux de données SIA/VDR du navire.

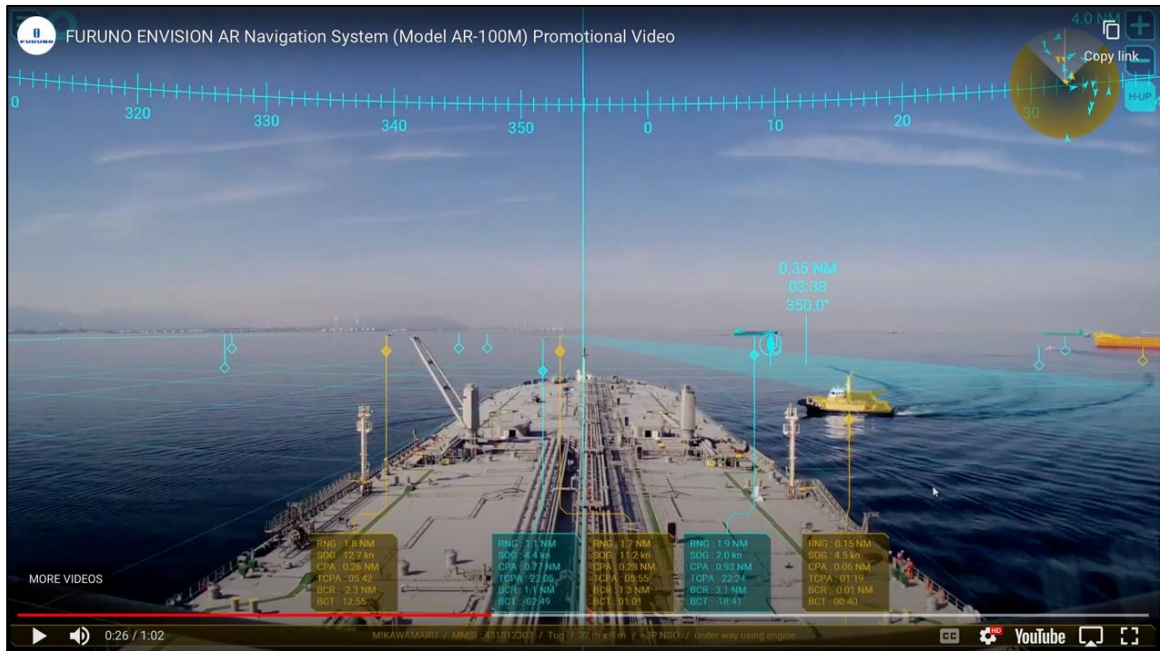


Figure 3 : Concept de navigation à réalité augmentée de Furuno (Source : Furuno)<sup>57</sup>

#### 10. Gestion de l'horaire basé sur l'IA (Émergente)

Les progrès de la télédétection des navires, grâce à la surveillance par satellite du SIA ou d'autres émissions électroniques, associés à l'analyse des mouvements par l'IA et à l'amélioration des méthodes d'optimisation des itinéraires, permettent aux ports de prévoir avec plus de précision les arrivées des navires et les files d'attente pour les postes d'amarrage disponibles. Cela permettra de réaliser des économies de carburant et de réduire les émissions de gaz à effet de serre en cours de route, de réduire le temps d'immobilisation dans les mouillages portuaires et d'améliorer l'efficacité des pilotes lors des transits directs entre la mer et les postes d'amarrage, ce qui profitera aux ports, aux administrations de pilotage et aux exploitants de navires. Au Canada, Global Spatial Technology Solutions (GSTS), à Halifax (Nouvelle-Écosse), est le pionnier de cette technologie grâce à une plateforme appelée Ociana<sup>58</sup>.

### 4.3.2 Environnement

#### 11. Cartes électroniques de navigation S-57 (Base)

Le S-57 est la norme commune des données des cartes électroniques de navigation (CEN) établi par l'Organisation hydrographique internationale (OHI) en 1992. Il s'agit de cartes vectorielles qui remplacent les images matricielles en format BSB<sup>59</sup>. Les cartes matricielles sont simplement des

<sup>57</sup> <https://www.furuno.com/special/en/envision/>

<sup>58</sup> GSTS, Outil de gestion de l'horaire des postes à quai Ociana (en anglais), <https://gsts.ca/wp-content/uploads/2023/06/GSTS-Port-Optimiser-Brochure.pdf>.

Divulgué : Nigel Greenwood et Kevin Obermeyer sont membres du conseil d'administration de GSTS.

<sup>59</sup> Le format de fichier BSB a été élaboré par Maptech, Inc. pour décrire et stocker des données d'images matricielles et la documentation textuelle associée.

images géoréférencées de cartes papier et ne s'adaptent pas à l'échelle choisie par l'utilisateur. Les CEN S-57 sont évolutives et constituées de couches d'information normalisées compatibles avec le système de référence de coordonnées<sup>60</sup> du GPS associé. L'un des principaux avantages des cartes vectorielles est que les couches peuvent être sélectionnées ou désélectionnées pour « désencombrer » le tracé, et que l'ombrage des profondeurs et les alarmes associées peuvent être adaptés au tirant d'eau du navire de l'utilisateur.

#### 12. **Système d'identification automatique (Base)**

Le SIA est un moyen de transmettre les données relatives à l'identification, à la position et au mouvement des navires entre eux et entre les navires et la terre. Il fonctionne dans le spectre radioélectrique des très hautes fréquences (VHF), qui permet des communications en visibilité directe (en fait à portée d'horizon, sauf si elles sont répétées à partir de stations de relais surélevées ou d'appareils installés sur des bouées). Les renseignements transmis peuvent comprendre : le numéro unique d'identification du service maritime mobile (ISMM) du navire, le nom du navire, la position, le cap, la vitesse, la destination, le statut (p. ex., en train de pêcher, au mouillage, en route), entre autres détails. Les unités participantes émettent et reçoivent; les renseignements reçus sont déclarés directement sous forme de symbologie sur les radars et les SEVCM et sont donc utiles aux navires et aux autorités à terre pour éviter les collisions, assurer la sécurité et la surveillance de l'environnement<sup>61</sup>. Les équipements SIA de classe A offrent des capacités complètes, tandis que les équipements de classe B offrent des fonctions plus limitées. Certains navires de plaisance peuvent recevoir des renseignements sur le SIA, mais ne pas en émettre.

Les signaux SIA transmis par les navires peuvent également être captés par des récepteurs satellites et relayés vers des stations terrestres. Un secteur important d'analyse des données SIA actuelles et historiques agrégées à partir de récepteurs satellites et terrestres est en train de se développer pour répondre aux besoins de la sécurité maritime, de l'efficacité commerciale et de la surveillance de l'environnement. À titre d'exemples, on peut citer la populaire application MarineTraffic.com ou l'application Web Ociana développée par la société canadienne GSTS.

#### 13. **Aides virtuelles à la navigation (VAtoN) (Améliorée)**

Les VAtoN sont des symboles générés par le SIA qui transmettent des renseignements de navigation supplémentaires aux navires dotés d'un SIA. Les VAtoN peuvent compléter les aides physiques existantes (p. ex., en amplifiant les renseignements changeants sur une bouée) ou constituer un avertissement virtuel d'un danger temporaire ou d'une zone d'exclusion, p. ex. en marquant le lieu d'une course à la voile.

#### 14. **Systèmes de gestion du trafic maritime (Améliorée)**

Le SGTm est l'outil technique des services de trafic maritime. Ce qui a commencé historiquement par de simples affichages radar, des communications radio et des comptages manuels des mouvements de trafic aux points de compte rendu a évolué pour inclure le suivi automatique assisté par ordinateur des navires au moyen de capteurs radar, SIA et électro-optiques. Cette évolution

---

<sup>60</sup> Les systèmes de référence de coordonnées (SRC) s'appuient sur différents référentiels géodésiques qui définissent la surface du globe et constituent la base du positionnement relatif satellite-Terre. L'utilisation d'un SRC différent de celui du récepteur GPS peut entraîner une erreur de position de 100 m ou plus. La transformation du SRC peut généralement être sélectionnée sur le SEVCM et doit donc être vérifiée. Le problème se pose davantage avec les cartes BSB – dont les SRC peuvent dater d'un certain temps ou même être désuètes – qu'avec les CEN.



peut aller jusqu'à l'utilisation de la technologie de simulation pour permettre à l'opérateur des STM de visualiser le mouvement des navires, que ce soit d'un point de vue externe ou d'un point de vue embarqué. Les systèmes de Wartsila et de Kongsberg sont des modèles exemplaires de cette capacité de pointe au niveau côtier ou portuaire<sup>62</sup>.

15. **Connectivité Internet (Base)**

Les connexions Internet sont une caractéristique courante du soutien technologique des navires et des pilotes. Les navires peuvent bénéficier de communications par satellite quasi permanentes pour ce service, tandis que les pilotes s'appuient sur des réseaux cellulaires locaux. Les deux sont des éléments essentiels pour recevoir les nouvelles CEN, les avertissements de navigation et les corrections apportées aux cartes, les prévisions météorologiques, les flux de données en direct pour les vents et les niveaux d'eau en temps réel, les renseignements de coordination pour les procédures d'arrivée au port et les ordres de mission des pilotes. Auparavant, les avertissements de navigation ou les mises à jour météorologiques étaient reçus par fax/télétype, par radio VHF et haute fréquence ou par NAVTEX, mais ces moyens n'offraient pas les taux de transmission de données ou la connectivité avec d'autres systèmes de bord comme le SEVCM qu'offre la connectivité Internet. La continuité, la fiabilité et la largeur de bande des réseaux cellulaires dépendent toujours de la distribution et de la situation des tours de relais locales. De plus en plus, les services à haut débit par satellite, tels que Starlink, offrent une connectivité mondiale à haut débit sans dépendre des services cellulaires locaux.

16. **Portails de navigation électronique (Base)**

Étant donné que de plus en plus de renseignements sont disponibles sous forme numérique et que les exigences en matière de rapidité d'exécution augmentent (jusqu'au temps réel), les administrations maritimes et les administrations portuaires investissent dans des sites Web combinés pour offrir la commodité d'un « guichet unique ». La contribution de la Garde côtière canadienne à cette tendance est le [portail de navigation électronique](#). Ces sites Web fournissent généralement des données environnementales en temps réel, des avertissements de navigation, des renseignements réglementaires et des détails sur les ports. La norme du guichet unique maritime de l'OMI, devenue obligatoire à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2024, constitue une approche plus globale. Elle fournit un cadre commun pour l'échange d'information afin de faciliter le commerce et l'échange combiné public/privé de renseignements sur les arrivées dans les ports<sup>63</sup>. L'Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL)<sup>64</sup> et le Système intégré d'observation des océans du Canada (SIOOC)<sup>65</sup> fournissent également un accès en ligne axé sur le SIG à une quantité de données océaniques géophysiques et biologiques.

17. **Routage météorologique optimal (Base)**

Le service de routage météorologique optimal a été élaboré par les centres météorologiques de la flotte de la marine américaine dans les années 1970 pour faciliter les transits en temps voulu et en toute sécurité autour des systèmes météorologiques océaniques. Des entreprises fournissent aujourd'hui de tels services aux navires commerciaux, comprenant non seulement des conseils en

---

<sup>62</sup> Wartsila, Systèmes de gestion du trafic maritime (*en anglais*) : <https://www.wartsila.com/marine/products/port-optimisation/vtms>;  
Kongsberg, L'avenir de la gestion du trafic maritime en Europe (*en anglais*) :

<https://www.kongsberg.com/globalassets/norcontrol/files/thefutureofvtmineu.pdf>

<sup>63</sup> <https://www.imo.org/en/OurWork/Facilitation/Pages/MaritimeSingleWindow-default.aspx>

<sup>64</sup> <https://ogsl.ca/fr/accueil/>

<sup>65</sup> <https://cioos.ca/fr/accueil/>

matière de routage, mais aussi des prévisions temporelles concernant le vent, la mer, la houle, la vitesse résultante du navire et les périodes de roulis critiques. Ce service s'applique davantage à la navigation océanique qu'à la navigation côtière, mais il est représentatif des services prédictifs très détaillés disponibles aujourd'hui pour les navires et les navigateurs. Les capacités émergentes de gestion de l'horaire des postes à quai basé sur l'IA s'appuient sur cette capacité.

#### 18. Niveaux d'eau en temps réel (Améliorée)

Le concept de l'indication de la profondeur en temps réel consiste à passer des profondeurs indiquées sur les cartes aux profondeurs réelles de l'eau. Il y a deux aspects à cela :

- a. mesurer avec précision le fond de l'océan par des mises à jour plus fréquentes des bases de données bathymétriques, en particulier dans les zones estuariennes en rapide évolution; et
- b. mesurer plus précisément le niveau de la surface de l'eau pour compenser les insuffisances des prévisions de marée dues aux limitations des logiciels et aux variations du niveau de l'eau causées par le vent.

Un exemple canadien du premier de ces systèmes est AVADEPTH, un système d'information qui permet d'effectuer des relevés fréquents et de signaler les profondeurs disponibles dans le fleuve Fraser<sup>66</sup>. Ces données sont affichées sur une carte Web, mais sont également disponibles sous la forme d'une couche d'information marine bathymétrique à utiliser dans le SEVCM. La mesure du niveau de l'eau en temps réel est également effectuée à l'aide d'installations fixes de mesure du niveau de l'eau ou de bouées intelligentes. La profondeur d'eau mesurée sert à calculer une correction de la hauteur de marée prévue en temps réel et cette information est diffusée par le SIA ou affichée sur les portails de navigation électronique. Les mesures sont généralement effectuées à des points de référence critiques dans le passage, par exemple au pont Second Narrows à Vancouver.

#### 19. Tirant d'air en temps réel (Améliorée)

Certaines des couches d'information mises à la disposition des pilotes s'étendent au signalement en temps réel des conditions océanographiques et à la mesure de la hauteur libre sous les ponts. Le système d'océanographie physique en temps réel (PORTS) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) est un exemple de cette technologie, qui date du début des années 1990 et couvre aujourd'hui 75 ports américains représentant 80 % du tonnage national de marchandises<sup>67</sup>. Ce système couvre les niveaux de marée et d'eau, les couches d'air, les profils de courant, les observations de vagues, la salinité et la température de l'eau, la vitesse et la direction du vent, ainsi que la visibilité, en enregistrant les changements toutes les 6 minutes et en publiant l'information sur un site Web de la NOAA pour diffusion ultérieure. Dans le cas de la mesure du tirant d'air, ces données intègrent non seulement les variations du niveau de l'eau, mais aussi l'expansion ou la contraction de la structure du pont sous l'effet de la température<sup>68</sup>. PORTS est également utilisé dans des applications avancées pour estimer les niveaux d'eau le long d'un itinéraire (par exemple le fleuve Columbia) afin de recommander les heures d'arrivée optimales. Les technologies employées pour ces applications comprennent des télémètres à micro-ondes et des

---

<sup>66</sup> MPO : <https://www2.pac.dfo-mpo.gc.ca/index-fra.html>

<sup>67</sup> NOAA : <https://tidesandcurrents.noaa.gov/ports.html>

<sup>68</sup> En 2017, il couvrait 16 capteurs dans 10 systèmes PORTS aux États-Unis. Cet article fournit également des statistiques intéressantes sur les avantages de ce système sur le plan monétaire, suggérant des économies de 300 millions de dollars US par an s'il est étendu à l'ensemble des 175 ports américains. Voir également Miro, <https://miros-group.com/blog/air-gap-why-measure-it-at-all/>, qui fait état d'une précision de  $\pm 5$  mm dans son système.

capteurs de niveau radar d'une portée allant jusqu'à 35 m avec une résolution de  $\pm 10$  mm<sup>69</sup>, ainsi que des télémètres lumière et laser (LIDAR/LADAR). Des renseignements en temps réel sur le tirant d'air sont désormais disponibles pour le pont Lions Gate de First Narrows dans le Port de Vancouver.

20. **Courants en temps réel (Améliorée)**

Les capteurs de courant en temps réel comprennent des profileurs de courant acoustiques à effet Doppler montés sur le fond ou orientés latéralement, parfois situés sur des aides à la navigation avec des liens Iridium (iAtoN) pour la surveillance en mer. Ils peuvent mesurer les courants à différentes profondeurs. Des capteurs montés sur le fond ont été utilisés pour la surveillance en temps réel de l'épaisseur et du mouvement des glaces dans la région du Saint-Laurent<sup>70</sup>. Parmi les autres technologies de mesure des courants de surface, citons les signaux radar à haute fréquence pour la détection à moyenne et longue distance des courants océaniques<sup>71</sup>.

21. **Bathymétrie en temps réel (Améliorée)**

Un exemple de cette technologie est le système « Berthwatch » de Kongsberg, qui surveille et signale en temps réel la profondeur des postes d'amarrage. À l'aide d'un sonar à balayage à deux axes monté sur la face du poste d'amarrage, ce système enregistre l'ensablement et l'affouillement (curage) pour fournir un profil bathymétrique continuellement mis à jour des abords du poste d'amarrage, permettant ainsi aux navires d'utiliser plus efficacement leur pleine capacité de chargement. Ce système a été mis à l'essai dans le port de Prince Rupert en 2022<sup>72</sup>.

22. **État des vents et de la mer en temps réel (Améliorée)**

La détection océanographique en temps réel est une fonction à la fois de la technologie et de la collaboration organisationnelle. Un exemple de cette dernière est le site Web d'observation de la NOAA<sup>73</sup>, qui fournit un portail pour toutes sortes de renseignements en temps réel et quasi réel, y compris des liens vers tous les capteurs du réseau PORTS. Les capteurs eux-mêmes couvrent un large éventail de technologies précises allant des radars à haute fréquence aux radars à ondes millimétriques, aux ultrasons, aux capteurs électriques et optiques dans le spectre visible et proche infrarouge, aux dispositifs magnétiques et gravitationnels.

23. **Affichage de l'analyseur d'ondes (Émergente)**

Il s'agit d'un système informatique qui analyse les échos radar pour présenter un affichage de l'état de la mer et des spectres de vagues<sup>74</sup>. Ce système a une incidence sur la sécurité en mer et sur le signalement des conditions météorologiques réelles afin de mieux estimer la progression du navire jusqu'à son poste d'amarrage, mais son utilité pour les pilotes est limitée, sauf peut-être pour les stations d'embarquement des pilotes exposées, comme Triple Island, en Colombie-Britannique.

---

<sup>69</sup> Campbell Scientific : <https://www.campbellsci.ca/rls>

<sup>70</sup> Chave, 2004.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=913bfd8162ff87f482f302316eeaa58a70b8dd0b>

<sup>71</sup> Voir CODAR Ocean Sensors :

[https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=CODAR+\(Coastal+Ocean+Dynamics+Applications+Radar\)&ie=UTF-8&oe=UTF-8](https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=CODAR+(Coastal+Ocean+Dynamics+Applications+Radar)&ie=UTF-8&oe=UTF-8), et Ocean Networks Canada,

<https://data.oceannetworks.ca/PrinceRupertPort?rotatemin=0&refreshsec=0&qpddr=L10> .

<sup>72</sup> Mech, 2022 : [https://aapa.cms-plus.com/files/AAPA\\_FacEngPPTJun2022.pdf](https://aapa.cms-plus.com/files/AAPA_FacEngPPTJun2022.pdf)

<sup>73</sup> NOAA : <https://marinenavigation.noaa.gov/observations.html>

<sup>74</sup> Furuno : <https://www.furuno.com/en/merchant/wave-analyzer/>



24. **Détection en temps réel des mammifères marins (Émergente)**

La détection et l'évitement des mammifères marins n'est pas strictement une question de sécurité des navires, mais devient une composante de plus en plus importante des mesures de protection de l'environnement pour les navires. Parmi les exemples de programmes actifs, on peut citer les zones de ralentissement saisonnier pour la baleine noire de l'Atlantique Nord et l'épaulard résident du Sud. De récents efforts déployés au Canada pour mettre en œuvre des systèmes en temps réel ont utilisé des caméras thermiques et visuelles assistées par une détection IA et une analyse de discrimination pour atteindre des portées de détection fiables allant jusqu'à 4 750 m, en fonction des espèces<sup>75</sup>. Ces systèmes ont été mis à l'essai dans des installations terrestres et navales, mais ne sont pas encore largement répandus. Le BC Cetaceans Sighting Network a mis en place un système de signalement collectif qui rassemble les observations visuelles et les transmet aux navires de la zone par messages textes<sup>76</sup>. D'autres approches courantes comportent une surveillance acoustique à l'aide de véhicules non invasifs tels que les planeurs Slocum<sup>77</sup>.

25. **Bathymétrie collaborative (Améliorée)**

Une grande quantité de données bathymétriques est recueillie par les sondeurs des navires commerciaux et de plaisance. En combinant ces données avec la position du navire mesurée à l'aide du GPS, il est possible de créer une image de la bathymétrie. Bien que ces données ne soient pas vérifiées et ne soient pas suffisamment rigoureuses pour la création de cartes traditionnelles, la technologie peut être utilisée pour renforcer la confiance des navigateurs dans les zones moins bien étudiées. Les ressources dont disposent les services hydrographiques comme le SHC étant limitées, cette technologie pourrait être une solution pour combler le fossé. Pêches et Océans Canada (MPO) a poursuivi cette idée pour le compte du SHC en vue d'une application dans les régions septentrionales<sup>78</sup>. L'initiative canadienne dans le secteur public s'appelle hydrographie communautaire<sup>79</sup>.

L'OHI a baptisé son programme « bathymétrie collaborative » et diffuse les sondages par l'intermédiaire du Centre de données pour la bathymétrie numérique. OLEX et Orange Force Marine ont produit des exemples commerciaux de cette approche<sup>80</sup>. Le premier fournit des solutions matérielles et logicielles ainsi que des bases de données de profondeur pour la navigation. Le second est un système de bathymétrie collaborative qui recueille et télécharge des données bathymétriques en nuage en vue de les communiquer aux abonnés. Il est également lié à l'initiative de bathymétrie collaborative de l'OHI. Le Centre de données polaires du British Antarctic Survey recueille également des données ponctuelles de tous les navires du British Antarctic Survey et de la Marine royale navigant dans les eaux de l'Antarctique de la même manière, en précisant que les « cartes » qui en résultent ne sont pas officielles et [traduction] « ne doivent pas être utilisées pour la navigation<sup>81</sup> ».

---

<sup>75</sup> Zitterbart, 2023. Mémoire au CMCC (en anglais), et <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1207369.pdf>

<sup>76</sup> BC Cetaceans Sighting Network : <https://wildwhales.org/category/sightings/>

<sup>77</sup> JASCO, 2022/2020; et Kowarski, 2020.

<sup>78</sup> MPO : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/science/partnerships-partenariats/research-recherche/its-sit/projects-projets/015-fra.html>

<sup>79</sup> MPO : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/science/hydrography-hydrographie/opp-ppo/index-eng.html>

<sup>80</sup> OLEX : [https://www.olex.no/depthcharts\\_en.html](https://www.olex.no/depthcharts_en.html) , [https://www.olex.no/products/olex\\_software\\_en.html](https://www.olex.no/products/olex_software_en.html) ; et Orange Force Marine : <https://www.orangeforcemarine.com/crowdsourced-bathymetry>

<sup>81</sup> British Antarctic Survey : <https://www.bas.ac.uk/data/uk-pdc/>

## 26. Échosondeurs prospectifs (Améliorée)

Les échosondeurs mesurent généralement la profondeur immédiatement sous le navire, ce qui ne permet pas de donner un avertissement adéquat dans les zones mal étudiées où les profondeurs peuvent être très faibles. Les échosondeurs prospectifs<sup>82</sup> sont équipés de transducteurs qui peuvent être orientés en azimut<sup>83</sup> et en élévation pour lancer le faisceau devant le navire ou sur le côté de celui-ci. L'erreur de lecture se dégrade proportionnellement plus le capteur regarde loin devant lui, mais les meilleurs appareils ont un rapport portée/profondeur de 20 (c'est-à-dire qu'ils peuvent voir à 100 m devant eux avec une profondeur sous quille de 5 m). Certains systèmes prétendent pouvoir éviter les obstacles jusqu'à 1 500 m devant le navire<sup>84</sup>. Ces systèmes sont désormais courants sur les navires d'expédition qui se déplacent dans des zones peu explorées, et les transducteurs peuvent être installés dans des eaux encombrées de glace, mais les échosondeurs prospectifs ne sont pas couramment utilisés.

## 27. Représentation 3D de la bathymétrie (Émergente)

Les représentations 3D de la topographie sont devenues monnaie courante à l'ère des jeux et des présentations de réalité virtuelle. Certains fournisseurs de logiciels de navigation populaires, tels que Navionics et Garmin, ont mis ces représentations à la disposition des utilisateurs récréatifs, pour qui la visualisation facilite l'orientation. Une approche plus complète est celle de Furuno avec son Nav-net 3D, qui permet la fusion des cartes, des radars, des images satellite, des échosondeurs et des données de contrôle des navires dans des affichages saisissants<sup>85</sup>. Dans la mesure où ces technologies reflètent l'intention des affichages tête haute, elles sont utiles à la navigation maritime, mais il existe un risque réel que les utilisateurs inexpérimentés se laissent distraire par des affichages tape-à-l'œil plutôt que d'être informés et alertés par des données classées par ordre de priorité.

---

<sup>82</sup> Voir, par exemple : <https://daniamant.com/products/echopilot-fls3d/> , <https://www.farsounder.com/argos-navigation-sonars> , <https://www.wavefront.systems/vigilant-crewed-surface/>

<sup>83</sup> Un azimut est une mesure angulaire en degrés dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord sur un cercle azimutal de 360 degrés.

<sup>84</sup> Farsounder revendique des portées de 1 000 m devant le navire à des vitesses allant jusqu'à 25 nœuds pour son Argos-1000 [ce qui peut encourager une navigation imprudente?]. Pour un autre exemple d'échosondeurs avancés, cliquer sur <https://www.furuno.com/special/en/fishfinder/dff-3d/> .

<sup>85</sup> Furuno NAVNet 3D : [https://www.furunousa.com/-/media/sites/furuno/document\\_library/documents/brochures/brochures/navnet\\_3d\\_brochure.pdf](https://www.furunousa.com/-/media/sites/furuno/document_library/documents/brochures/brochures/navnet_3d_brochure.pdf), consulté le 23 novembre 2023.

28. **Radar à ondes millimétriques (Améliorée)**

Les ondes millimétriques (bande E, 60-90 GHz) sont des radars à courte portée et à haute résolution (600 m,  $\pm 7,5$  cm) utilisés pour la discrimination de petits objets et un positionnement très précis<sup>86</sup>. Il trouve des applications dans les capteurs de navires autonomes et dans la surveillance des périmètres de sécurité maritime. La mise au point et la miniaturisation de cette technologie ont été en grande partie motivées par le secteur des véhicules autonomes<sup>87</sup>. La recherche a également porté sur la fusion des données des radars à ondes millimétriques et des caméras pour l'identification des objets<sup>88</sup>. Les radars à ondes millimétriques sont particulièrement utiles pour la navigation dans l'Arctique, car ils permettent de combler l'angle mort des radars conventionnels à bandes X et S sur le côté du navire jusqu'à 0,25 NM et de repérer avec succès de petites cibles de glace, sauf dans les mers les plus agitées.

29. **Détection électro-optique des dangers (Améliorée)**

Les technologies dans le domaine du visible ou du **proche visible** sont distinctes du radar mais utilisent toujours le spectre électro-optique. L'infrarouge prospectif et la télévision à faible luminosité en sont deux exemples. Current Corporation, de Port Coquitlam, en Colombie-Britannique, est l'un des fournisseurs canadiens de ces systèmes, combinés à des télémètres laser, qui sont montés sur des supports gyrostabilisés robustes destinés aux loisirs, à la défense et aux véhicules de surface sans équipage. L'offre comprend le balayage panoramique, la détection et les alertes<sup>89</sup>. Un autre fournisseur représentatif est Sea.AI, dont les produits combinent l'imagerie thermique et visuelle avec la « vision artificielle » (IA)<sup>90</sup>.

30. **Normes S-100 – Couches de données pour les CEN (Émergente)**

Le Modèle universel de données hydrographiques S-100 est une structure de différentes spécifications proposées par l'OHI, l'Association internationale de signalisation maritime (AISM), l'Organisation météorologique mondiale et d'autres instances visant à permettre l'ajout de couches à usage particulier à utiliser avec le SEVCM. Les couches S-100 de niveau 1 doivent pouvoir être utilisées d'ici le 1<sup>er</sup> janvier 2026<sup>91</sup>. Ces spécifications/normes constituent la base de l'échange de données entre les systèmes embarqués et le SEVCM du navire, ou la compatibilité des sources de données externes utilisées par le SEVCM. Le système couvre tous les aspects, de la symbologie des cartes et des normes de compétence pour les arpenteurs-géomètres hydrographes à la conception et au fonctionnement du SEVCM, en passant par les aides à la navigation, les niveaux d'eau (marées et courants), les messages des STM et l'échange de données, les avis de danger et de trafic, et les superpositions de données météo-océaniques<sup>92</sup>. Le Canada est à l'avant-garde de la mise en œuvre des services S-100, en collaboration avec la Norvège et la Corée du Sud<sup>93</sup>.

---

<sup>86</sup> Elva-1 : <https://elva-1.com/blog/e-band-short-range-marine-radar-faq#1>

<sup>87</sup> Utmel : <https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/millimeter-wave-radar-advantages-types-and-applications>

<sup>88</sup> Cheng, 2021.

<sup>89</sup> Current Corp. : <https://www.currentcorp.com>

<sup>90</sup> Sea.AI : <https://sea.ai> – Le système Sentry peut repérer une personne dans l'eau à 700 m.

<sup>91</sup> OHI : <https://iho.int/fr/s-100-universal-hydrographic-data-model-0>

<sup>92</sup> Remarque : Ce dernier aspect ne semble pas être avancé; aucune donnée sur le site Web de l'OHI.

<sup>93</sup> Voir la vidéo de 2020 du SHC concernant la coopération entre le SHC, les pilotes de l'APL et de l'APGL, Teledyne-Caris et PRIMAR pour l'élaboration des services S-100 au Canada : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/videos/s-100-fra.html>

### 4.3.3 Contrôle

#### 31. **Radio VHF numérique portable (Base)**

Il s'agit du lien essentiel entre le pilote du navire d'amarrage et les remorqueurs d'assistance aux navires. Au fil des ans, ces systèmes sont devenus petits, fiables, clairs et bon marché. Le pilote apporte à bord son propre système, avec des fréquences (voies) convenues pour communiquer avec les capitaines des remorqueurs d'assistance. Dans le cas très rare d'une panne, le navire dispose d'autres unités VHF portables qui peuvent être appelées sur les voies pilotes-remorqueurs.

#### 32. **Remorqueurs tracteurs/attachés (Base)**

L'utilisation de remorqueurs pour l'amarrage est une solution de rechange économique à l'installation de forces de contrôle supplémentaires (telles que des propulseurs d'étrave) à bord du navire. Au fil des ans, ces remorqueurs ont évolué, passant d'une simple assistance par poussée à des remorqueurs « tracteurs » très puissants utilisant une variété de mécanismes de propulsion et de contrôle (gouvernails Kitchen, hélices carénées, propulseurs orientables en azimuth, entraînements cycloïdaux) ainsi que des manœuvres dynamiques pour fournir des vecteurs de poussée significatifs. Les remorqueurs d'assistance aux navires typiques offrent aujourd'hui une puissance de traction pouvant aller jusqu'à 100 tonnes. Les remorqueurs fournissent une assistance au navire en réponse aux commandes vocales transmises par radio VHF par le pilote du navire assisté.

#### 33. **Simulateurs de passerelle en mission complète (Base)**

La pratique est l'une des conditions fondamentales d'une bonne maîtrise des navires. Celle-ci résulte de nombreuses années de navigation réelle, mais la formation par l'observation et le mentorat à bord est coûteuse en temps et en efforts. Depuis les années 1980, un certain nombre de simulateurs ont permis de combler cette lacune. En commençant par des simulateurs à mouvement complet qui émulaient les pratiques courantes de l'industrie aéronautique, ces simulateurs ont évolué vers des simulateurs à plateforme fixe dans lesquels le mouvement de l'horizon (simulé) imite le mouvement du navire. Les images sont fournies par des moniteurs à très haute résolution et à grande échelle qui remplacent les fenêtres de la passerelle. Ils sont alimentés en images virtuelles par l'ordinateur qui génère une vue correspondant à la position et au mouvement du navire.

Une autre approche consiste à projeter des images réelles sur les « écrans » des fenêtres<sup>94</sup>. Les simulateurs utilisent généralement des équipements de passerelle réels ou quasi réels pour reproduire le plus fidèlement possible les fonctionnalités d'une passerelle réelle et permettre des simulations de « missions complètes ». Dans de nombreux cas, les simulateurs peuvent jumeler ou regrouper plusieurs passerelles indépendantes pour une formation axée sur la coopération, comme l'amarrage d'un navire avec des remorqueurs attachés. Le mouvement du navire est prédit sur la base de calculs mathématiques utilisant des données sur l'état de la mer simulé et sur la forme et la puissance du navire lui-même<sup>95</sup>.

---

<sup>94</sup> C'est l'approche adoptée par le simulateur de remise à niveau de l'APP.

<sup>95</sup> Selon les témoignages, le mouvement simulé est étonnamment réel! Des stagiaires ont eu le mal de mer en utilisant les simulateurs.

Les simulateurs de passerelle modernes permettent notamment de construire des modèles numériques des structures prévues (infrastructures portuaires ou nouveaux navires théoriques) et de mener ensuite des expériences de manutention des navires dans une série de conditions environnementales prévues. De nombreuses entreprises actives dans ce domaine proposent une gamme de solutions matérielles et logicielles pour les besoins des simulateurs, allant de passerelles à mouvement complet à des maquettes de passerelles pleine grandeur avec une visibilité de 180 à 360 degrés, en passant par les progiciels de simulation qui peuvent fonctionner sur des ordinateurs de bureau ou portables, avec ou sans visualisation au moyen d'un casque de réalité virtuelle/augmentée.

Une autre innovation en matière de simulation pratique au Chili est la construction d'une maquette d'échelle d'embarquement physique pour former les pilotes à la phase la plus dangereuse de leur mission<sup>96</sup>.

34. **Entraînement sur modèle réduit (Base)**

Une approche courante pour former les pilotes aux manœuvres influencées par des facteurs environnementaux tels que les eaux peu profondes et l'effet de berge consiste à utiliser des modèles réduits de bateaux que les pilotes stagiaires manœuvrent sur un lac spécialement conçu pour imiter les situations océaniques réelles. La puissance du modèle est soigneusement adaptée pour produire des effets réalistes. Deux sites populaires pour ce type de formation sont Port Revel en France et Timsbury Lake au Royaume-Uni<sup>97</sup>.

35. **Pilotes automatiques (Base)**

Le pilote automatique d'un navire allège la tâche du timonier. Tous les navires disposent d'un certain degré de pilotage automatique. Il peut fonctionner selon trois modes : (i) suivi de cap, pour maintenir un cap constant; (ii) suivi de trajectoire, pour naviguer en suivant une seule route tracée; et (iii) suivi de trajectoire, pour exécuter un itinéraire planifié de plusieurs routes. En règle générale, les pilotes automatiques ne sont pas suffisamment sophistiqués pour gérer les situations de trafic, ni pour prévoir les effets négatifs du vent et du courant.

36. **Cadrans de pont (Base)**

La passerelle d'un navire moderne comporte de nombreux cadrans et affichages qui rappellent constamment à l'officier de quart les paramètres critiques de mouvement et de contrôle. Il s'agit au minimum de l'heure locale, de la vitesse, du cap (gyroscope), ordres aux machines/régime du moteur, de la position de la barre, de la profondeur, du vent relatif (vitesse et direction) et de l'inclinaison. Les éléments les plus critiques (cap, barre, ordres aux machines) seront configurés pour être visibles sur toute la passerelle ainsi que sur les ailes de cette dernière. L'UPP d'un pilote peut inclure certains de ces éléments, mais pas tous, ainsi que la vitesse de giration du navire.

37. **Logiciel d'affectation des pilotes (Améliorée)**

Les logiciels modernes de planification des horaires des pilotes permettent d'attribuer les tâches de la manière la plus efficace possible afin de réduire les déplacements et d'optimiser les cycles de travail. Le système d'information de gestion portuaire de Portlink<sup>98</sup> est un exemple de logiciel

---

<sup>96</sup> Pilotes maritimes, 2020.

<sup>97</sup> <https://www.portrevel.com> , <https://www.solent.ac.uk/facilities/ship-handling-centre>

<sup>98</sup> <https://www.portlinkglobal.com/solutions>

modulaire moderne qui peut être adapté pour répondre aux exigences d'interface dans la gestion de l'horaire des pilotes et des postes de mouillage et d'amarrage, ainsi que de la facturation. L'APL élabore actuellement une solution logicielle d'affectation baptisée Optimum Pilot Services. Les progiciels de base sont considérés comme une technologie de référence, mais des solutions plus intelligentes qui optimisent les affectations pour tenir compte des restrictions de voyage et d'autres contraintes sont considérées comme un domaine émergent pour la poursuite de la recherche et du développement.

**38. Enregistreur des données du voyage (VDR) (Base)**

Les VDR contribuent à assurer une navigation future plus sécuritaire en permettant de reconstituer avec précision les mouvements des navires pour faciliter l'analyse des accidents. Cependant, les VDR sont de plus en plus utilisés pour fournir des données en temps réel plus complètes sur les mouvements des navires, les états techniques et les ordres de contrôle, sur lesquelles fonder les conseils de pilotage à distance. Les règles de l'OMI exigent que les navires à passagers et les navires de plus de 3 000 TJB construits après 2002 soient dotés d'un VDR. L'exigence relative à un VDR simplifié (S-VDR) a été appliquée à tous les navires de plus de 3 000 TJB à partir de 2010.

**39. Systèmes efficaces de défenses et de quais (Base)**

Il s'agit de l'élément final du contrôle de l'approche du navire vers le poste d'amarrage. Le navire finira par entrer en contact avec le poste d'amarrage à une vitesse finie, et les systèmes de défenses doivent être capables d'absorber cette vitesse sans plier la structure du navire ou permettre à l'élan du navire d'endommager la jetée. Les défenses sont conçues en fonction des éléments suivants : (i) taille maximale des navires prévus, (ii) angle d'approche, (iii) vitesse terminale des navires, et (iv) amplitude locale de la marée. En règle générale, les navires entrent en contact avec le poste d'amarrage parallèlement (idéal) ou à un angle ne dépassant pas 5 degrés par rapport à la ligne de la jetée, à une vitesse comprise entre 10 et 15 cm/seconde (ce qui équivaut au plus à un tiers de nœud). La majorité des incidents qui se produisent lorsqu'un navire est sous pilotage ont lieu pendant la phase d'amarrage, de sorte qu'une conception efficace des quais est un facteur important d'atténuation des risques et comprend non seulement des systèmes efficaces de défenses et de quais, mais aussi un positionnement approprié des grues ou d'autres infrastructures côté quai, telles que les boîtes de jonction<sup>99</sup>.

**40. Positionnement dynamique/manettes de commande (Améliorée)**

Le positionnement dynamique est la capacité des navires à maintenir une position et un cap ordonnés. Différents niveaux de systèmes séparés et de redondance (DP-1/2/3) sont précisés en fonction de la nature critique de l'emploi et de la question de savoir si des vies humaines sont en jeu. Parmi les exemples de navires dotés d'une capacité de positionnement dynamique, on peut citer les navires de croisière et les navires de soutien aux plateformes pour l'exploration pétrolière et gazière. La technologie sous-jacente du positionnement dynamique (références positionnelles/attitudinales, systèmes de rétroaction et éléments de propulsion tels que les

---

<sup>99</sup> Pour une vue détaillée du sujet des structures d'amarrage et de terminaux, voir : Thoreson, C., *Port Design*, et Greenwood, N., *Évaluation des risques liés à l'amarrage (en anglais)*, 2016, rapport préparé pour l'APP et l'APVF.

Azipod<sup>100</sup> et les propulseurs) confère aux navires une mobilité suffisamment précise pour l'amarrage automatique.

#### 41. **Échelles de pilote améliorées (Base)**

Une simple échelle de corde avec des marches en bois est utilisée pour permettre au pilote de passer du petit bateau-pilote au grand navire. Les accidents qui surviennent lors de cet acte vulnérable ont entraîné des blessures graves et des décès, et sont une source de préoccupation majeure. En 2023, la Marine Accident Investigation Branch (MAIB) du R.-U. a signalé 400 incidents liés à l'échelle sur 96 000 transferts, et Finnpilot a indiqué en 2019 que le problème s'aggravait plutôt qu'il ne s'améliorait. Sur les 124 personnes tuées dans des accidents maritimes dans l'UE entre 2017 et 2021, cinq étaient des pilotes. L'Association internationale des pilotes maritimes (AIPM) a indiqué qu'une enquête menée auprès de 4 664 pilotes avait révélé que 16,8 % d'entre eux avaient eu à utiliser des échelles non conformes<sup>101</sup>; selon les statistiques de l'AIPM, la Fédération française des pilotes maritimes (FFPM) a fait état de 32 décès sur une période de 18 ans (1,8 par an)<sup>102</sup>. Il existe peu d'exemples d'innovations technologiques potentielles, mais une amélioration majeure consisterait simplement à mieux respecter les normes déjà existantes en matière de construction, d'entretien et de déploiement des échelles de navire.

#### 42. **Transfert hélicoptéré de pilotes (Améliorée)**

Le transfert de pilotes par hélicoptère (par appontage ou par treuillage) est une pratique en place dans certains territoires de compétence depuis plus de 30 ans<sup>103</sup>. L'utilisation des hélicoptères dans l'environnement marin par les marines et l'industrie pétrolière et gazière extracôtière a permis d'obtenir des résultats très probants en matière de sécurité. Dans les endroits où on a fréquemment recours au transfert par hélitreuillage, cette méthode s'est avérée plus sécuritaire pour les pilotes et plus efficace pour le service de pilotage. Les transferts par hélicoptère permettent également un embarquement plus précoce à bord du navire avant que ce dernier n'atteigne une contrainte de navigation critique susceptible de présenter un risque pour le transfert, par exemple la station d'embarquement de Triple Island au large de Prince Rupert (C.-B.)<sup>104</sup>.

#### 43. **Véhicules de transfert de pilotes à décollage et atterrissage courts ou verticaux (VSTOL) : (Émergente)**

Une idée novatrice présentée dans un mémoire de maîtrise de l'Université Johns Hopkins consiste à utiliser des véhicules individuels VSTOL téléguidés<sup>105</sup>. Bien que cette proposition particulière puisse être un exercice de planification/intellectuel plutôt qu'un projet pratique, la réalité n'est pas très éloignée. Dès 2021, la Marine royale britannique a effectué des essais avec des réacteurs dorsaux (« jet packs ») pour des opérations d'embarquement militaire. Ayant donné des résultats

---

<sup>100</sup> Les Azipod sont des unités de propulsion marine qui font saillie sous la coque et pivotent en azimuth pour fournir une poussée directionnelle. Ils peuvent fonctionner à la fois en mode poussée et en mode traction, et sont de plus en plus populaires en raison de leur efficacité lorsqu'il s'agit d'effectuer des manœuvres dans la glace.

<sup>101</sup> Grundmann, 2023.

<sup>102</sup> Gaillard, 2022.

<sup>103</sup> Voir Lewin concernant l'expérience des pilotes maritimes du fleuve Columbia, dans *IMPA on Pilotage, Helicopter Use*.

<sup>104</sup> Greenwood, 2014.

<sup>105</sup> Bijani, 2020.



variés allant de « très réussi » à « peut-être pas encore tout à fait prêt pour une adoption militaire<sup>106</sup> », les essais ont au moins démontré la faisabilité de tels systèmes.

#### 44. **Conception ergonomique des passerelles des navires (Émergente)**

La sécurité et l'efficacité des services de pilotage reposent sur la normalisation des outils de navigation, de l'équipement et de leur disposition physique. L'utilisation par les pilotes d'UPP et d'équipements personnels atténue dans une large mesure cette variabilité, mais beaucoup dépend encore de l'aménagement du navire et de l'agencement de l'espace de navigation. Les passerelles modernes sont conformes aux normes de l'OMI en matière d'équipements essentiels<sup>107</sup>, mais des améliorations pourraient être apportées sur le plan de l'accessibilité et de l'ergonomie, à la fois pour les commandes et les indicateurs clés du navire et pour la visibilité à travers les fenêtres de la passerelle. Au fur et à mesure que de nouvelles technologies de pointe deviennent disponibles, la conception des passerelles doit évoluer pour s'y adapter.

#### 45. **Systèmes d'amarrage automatique (Émergente)**

Des systèmes d'amarrage automatique<sup>108</sup> sont en train d'être mis au point en vue de fournir un soutien aux navires autonomes. En 2022, plusieurs voyages autonomes de grands navires ont fait l'objet d'essais, y compris l'amarrage automatique; les navires autonomes étaient un porte-conteneurs de 313 m et un traversier de 223 m, tous deux faisant partie du projet de navires autonomes MEGURI2040 de la Fondation Nippon<sup>109</sup>. Parmi les technologies nécessaires pour permettre de telles réalisations, citons les caméras infrarouges, l'analyse d'images cibles, les télémètres LIDAR, le contrôle des manœuvres par l'IA, les capteurs ultrasoniques et les propulseurs connexes qui donnent les vecteurs de poussée nécessaires.

#### 46. **Centres de contrôle du pilotage à distance (Émergente)**

Pour permettre le pilotage à distance, trois éléments reliés entre eux sont nécessaires : (1) le navire à bord duquel les instructions du pilote sont reçues, interprétées et exécutées; (2) le centre de contrôle à terre dans lequel le pilote observe les mouvements du navire et donne des instructions; et (3) le système de communication sans faille qui relie les deux. Le centre de contrôle du pilotage doit s'efforcer de fournir au pilote à distance la même connaissance de la position du navire, de son orientation, de son environnement et de ses fonctions de contrôle que celle qu'il aurait eue à bord du navire. Dans les expériences menées jusqu'à présent, cela s'est traduit par une combinaison de technologies de simulation et de supervision des SGTM afin que le pilote puisse conserver une « sensation » de la progression réelle du navire. Le degré d'immersion ou de réalité dépend de la criticité ou de la difficulté du passage de navigation. La transmission des instructions au navire devra également répondre à des normes élevées en matière de continuité à sécurité intégrée, de clarté et d'interprétation sans ambiguïté, de faible latence et de protection contre les menaces de cybersécurité.

---

<sup>106</sup> Marine royale : <https://www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2021/may/05/050521-boarding-trials#:~:text=Royal%20Marines%20ont%20testé%20les,opérations%20militaires%20dans%20le%20futur>. La Marine royale effectuait des essais avec des dispositifs produits par Gravity Industries, <https://gravity.co>

<sup>107</sup> Au Canada, cette disposition est mise en œuvre par le Règlement de 2020 sur la sécurité de la navigation.

<sup>108</sup> À noter que cette notion est différente de celle de « système d'amarrage automatique », qui concerne la manipulation et la tension des lignes d'amarrage ou des connecteurs navire-terre. Voir le site Web de Trelleborg et Gravendeel 2017 pour plus de renseignements à ce sujet. L'amarrage automatique, cependant, est susceptible d'être un élément de l'accostage automatique.

<sup>109</sup> Yukinori, 2022; The Maritime Executive, 2022.



#### 4.3.4 Risque

##### 48. Radar (Base)

Outre sa valeur en tant qu'aide à la fixation (aujourd'hui de plus en plus redondante), le radar est un outil essentiel d'évaluation des risques. C'est la seule source indépendante embarquée de renseignements sur les dangers mobiles. La plupart des navires commerciaux sont dotés de deux systèmes radar autonomes : l'un en bande S (3 GHz, 10 cm de longueur d'onde) pour les détections à moyenne et longue distance, et l'autre en bande X (9 GHz, 3 cm de longueur d'onde) pour la détection et le suivi à plus haute résolution et à plus courte distance. Dans les systèmes modernes, la distinction n'a plus lieu d'être, car même la bande X a une portée significative, et la bande S est capable de détecter des objets aussi petits que des oiseaux de mer. Tous les radars modernes sont numériques et disposent de fonctions avancées d'autoréglage, de discrimination par balayage multiple et de « traînées » chronométrées pour mettre en évidence les contacts persistants. Néanmoins, les systèmes radar sont susceptibles d'être dégradés par des états de mer plus élevés (fouillis de mer) et si les officiers de quart règlent manuellement les filtres de suppression, ils doivent veiller à ne pas filtrer des cibles valables. Des « radars de glace » spécialisés à haute définition utilisent un traitement avancé pour produire une image dans laquelle les types et les limites de la glace peuvent être plus facilement discernés<sup>110</sup>.

##### 49. Aide de pointage radar automatique (ARPA) (Base)

L'ARPA a été introduit dans les années 1970 pour alléger le fardeau que représentait le traçage manuel des trajectoires relatives, généralement à l'aide de crayons gras sur des écrans radar recouverts de plexiglas. L'ARPA est rapidement devenu indispensable et fait désormais partie intégrante des systèmes radar modernes. Ses fonctions sont, notamment : (i) la détection et le suivi automatiques des contacts; (ii) la génération de paramètres de risque de collision tels que le relèvement de la cible, la distance, la trajectoire, la vitesse, le point de rapprochement maximal, le temps jusqu'au point de rapprochement maximal, la distance de passage sur l'avant et le temps de passage sur l'avant; et (iii) l'émission d'alarmes sonores à des distances de danger sélectionnées par l'utilisateur. Les ARPA fournissent également des leaders de mouvement relatifs et réels<sup>111</sup> pour aider à visualiser les positions futures, ainsi qu'une fonction de « manœuvre d'essai » qui permet de prévisualiser différentes solutions de manœuvre. Les contacts (symbologie) générés par l'ARPA peuvent être transférés au SEVCM, pour donner une appréciation des positions des dangers mobiles par rapport aux dangers fixes et ainsi délimiter plus clairement les options en matière d'atténuation.

##### 50. Échosondeurs (Base)

Les échosondeurs sont des outils de navigation fondamentaux, autrefois utilisés pour confirmer la proximité de la terre en cas de visibilité réduite, mais aujourd'hui relégués au second plan. Les systèmes modernes ont des gammes de profondeur et une sensibilité avancée qui permettent parfois de confondre des couches organiques ou thermiques avec le fond. Il s'agit d'un équipement indispensable, mais d'une utilité limitée, car les systèmes les plus courants utilisent un faisceau sonique étroit qui ne mesure que la profondeur directement sous le navire.

---

<sup>110</sup> [https://www.furuno.fi/eng/merchant\\_marine/navigation\\_products/ice\\_radar/](https://www.furuno.fi/eng/merchant_marine/navigation_products/ice_radar/)

<sup>111</sup> Il s'agit de lignes représentant la future position réelle ou relative d'un navire cible en fonction d'une période de temps sélectionnée, par exemple 6 ou 12 minutes ou une heure, selon l'échelle et les préférences de l'officier de quart.

51. **Prédiction en temps réel du dégagement sous quille (DSQ) (Émergente)**

Le DSQ est fonction de la combinaison, sensible à la position et au mouvement, de la profondeur cartographiée, de la hauteur de la marée et du tirant d'eau du navire. Ces trois éléments sont sujets à des erreurs et à des changements : la profondeur peut être imprécise ou variable [p. ex., ensablement et affouillement (curage)]; les hauteurs de marée prévues sont soumises à des influences harmoniques ou environnementales; et le tirant d'eau du navire peut être modifié par des effets hydrostatiques (enfouissement dû à des changements de salinité) ou hydrodynamiques (accroupissement dû à des eaux peu profondes). Ce calcul est compliqué par les manœuvres, au cours desquelles un navire barré s'incline et génère un tirant d'eau effectif plus important du côté extérieur, proportionnellement à l'angle d'inclinaison et à la largeur du navire. Dans certains cas, ce tirant d'eau peut représenter une part importante des marges de sécurité disponibles.

La résolution de ces facteurs pour un DSQ dynamique précis nécessite une action du port pour établir les niveaux d'eau actuels en temps réel, une action du navire pour calculer ou mesurer avec précision le tirant d'eau statique dans des conditions connues, et une action des architectes navals pour déterminer l'enfoncement et l'accroupissement du navire dans diverses conditions de vitesse et de DSQ hypothétique. Les technologies relatives aux niveaux d'eau en temps réel, à la bathymétrie et à l'état de la mer sont également importantes et ont été abordées ailleurs. La prévision de l'enfoncement est généralement disponible pour les navires sous la forme d'un tableau généré par ordinateur en fonction de la vitesse et du tirant d'eau. Le paramètre fondamental du tirant d'eau statique est généralement contrôlé visuellement par rapport aux marques de tirant d'eau du navire au moment du chargement, puis ajusté en fonction des variations de salinité et de charge (consommation de carburant) en cours de route, mais cette méthode est sujette aux erreurs humaines de mesure du tirant d'eau et de la salinité. Des solutions plus techniques incluent la surveillance directe (c'est-à-dire en temps réel) du tirant d'eau par des capteurs ultrasoniques ou des capteurs de pression. L'aspiration ultime des systèmes DSQ dynamique est de fournir une superposition sur l'UPP du pilote qui décrit l'entrée du port en termes de DSQ résiduel, compensé pour l'ensemble des facteurs. Ce sujet fait l'objet d'un projet dans le cadre du programme S-100 de l'OHI pour l'intégration des sources de données nautiques<sup>112</sup>.

52. **Outils d'évaluation des risques pour la navigation dans les glaces (Améliorée)**

ENFOTEC<sup>113</sup> de Fednav poursuit l'évolution de son programme IceNav, développé dans les années 1990 et qui connaît un grand succès. Les dernières versions du système IceNav utilisent un ordinateur autonome qui se branche sur les capteurs des navires et utilise les données de position, de cap, de vitesse et les données radar superposées à l'imagerie satellite des glaces à haute résolution et aux cartes des glaces géoréférencées. Ces images peuvent être téléchargées directement et automatiquement sur IceNav lorsqu'il est connecté à l'Internet par satellite du navire. Le résultat de l'indice de risque<sup>114</sup> du système d'indexation du risque pour l'évaluation des limites d'exploitation dans les eaux polaires (POLARIS) s'affiche lorsque l'on passe la souris sur les cartes numériques des glaces en format SIGRID-3, ce qui permet d'évaluer immédiatement les risques. Les navigateurs peuvent choisir un itinéraire dans les glaces en fonction de l'imagerie et des cartes

---

<sup>112</sup> Voir OHI : <https://s-100.no/operational-test-s-129-under-keel-clearance-management-tested-in-tjeldsundet-norway/>

<sup>113</sup> Anciennement Enfotec Technical Services Inc., cette filiale a été réorganisée sous le nom de Fednav's Ice Services Group. <https://www.fednav.com/en/icenav-forefront-ice-navigation-technology>

<sup>114</sup> Le résultat de l'indice de risque est une somme de concentrations partielles de différents types de glaces, pondérées par des multiplicateurs en fonction de la catégorie de glace du navire, ce qui donne un nombre (positif ou négatif) reflétant l'aptitude du navire à traverser un régime de glaces particulier.

affichées, superposées à l'imagerie radar en temps réel et aux données relatives à la position du navire. Les itinéraires peuvent être téléchargés dans le SEVCM pour vérification de la sécurité bathymétrique, corrigés sur place, puis renvoyés à la plateforme de navigation dans les glaces si nécessaire. Le système est capable de générer des rapports de routage POLARIS ou du Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA)<sup>115</sup> comme l'exige le NORDREG dans le nord du Canada.

IcySea, une application danoise développée par Drift+Noise, spécialiste de l'imagerie satellite des glaces, en est un autre exemple<sup>116</sup>. Cette application simple peut être utilisée sur les ordinateurs PC et iOS, les tablettes et les téléphones intelligents. Elle peut se connecter manuellement ou automatiquement pour télécharger des « paquets » d'images haute résolution de petites zones, construisant ainsi une grille de données sur les glaces dans des tailles de transmission gérables (souvent moins de 100 Ko par carré de la grille). La possibilité de sélectionner des grilles particulières de petites zones et de recevoir des images à plus haute résolution uniquement pour les zones spécialement requises, plutôt que pour les grandes zones (et par conséquent des paquets de données beaucoup plus volumineux, souvent supérieurs à 30 Mo), permet non seulement une acquisition et un transfert de données moins coûteux, mais aussi une visualisation et une représentation plus ciblées des données.

### 53. **Application IA pour l'évaluation des glaces en temps réel (Émergente)**

L'American Bureau of Shipping a mis au point une application Android qui permet de déterminer et de catégoriser les conditions de glace grâce à l'intelligence artificielle. Après avoir pris une photo de l'état des glaces environnantes, l'application tente de décomposer les glaces de la photo en éléments nécessaires pour effectuer les calculs de gestion du risque de POLARIS. Actuellement en « phase d'apprentissage », plusieurs unités sont sur le terrain où des navigateurs expérimentés prennent des photos de l'état des glaces, notent l'interprétation de l'IA, puis corrigent le résultat à l'aide des conditions réelles sur le terrain – ce qui revient à « enseigner » à l'IA. De nombreuses années de vérification sur le terrain et de formation sont nécessaires pour constituer des bibliothèques de photos afin d'enseigner l'application; l'utilité opérationnelle n'est pas attendue avant les dix prochaines années<sup>117</sup>.

### 54. **Prévention des collisions pilotée par l'IA (Émergente)**

Ce système comprend un certain nombre de technologies déjà mentionnées, à des fins de détection automatisée des obstacles et d'alerte (systèmes d' « alerte de proximité » ou de « veille automatisée »). Nombre d'entre elles sont destinées aux yachts océaniques à équipage réduit. D'autres, comme OrcaAI, comprennent des éléments d'affichage tête haute et ont été adoptés pour un usage commercial<sup>118</sup>. La technologie d'aide à la décision et d'exécution en train d'être mise au point pour les navires autonomes est plus importante. Il s'agit notamment de l'utilisation de l'IA, non seulement pour la reconnaissance et la classification des objets de surface, mais aussi pour déterminer, classer et fournir les meilleures options possibles pour éviter d'autres navires afin de respecter le Règlement sur les abordages dans des situations de trafic complexes. Plusieurs

---

<sup>115</sup> Le Système des régimes de glaces pour la navigation dans l'Arctique (SRGNA) est un système canadien d'évaluation des risques liés aux glaces qui a précédé la mise en œuvre du système POLARIS de l'OMI, mais qui fonctionne selon des principes similaires.

<sup>116</sup> Drift+Noise, <https://driftnoise.com/icysea/>

<sup>117</sup> Communication personnelle au capitaine Snider.

<sup>118</sup> Riviera, 2023.

systèmes ont été élaborés et mis à l'essai; dans le cas du système AIM (Advanced Intelligent Manoeuvring) de Wartsila/TRANSAS, par exemple, des marins expérimentés ont apprécié le fait de pouvoir visualiser le problème et d'obtenir confirmation de leurs propres solutions, mais ont exprimé leur scepticisme quant à l'acceptation d'emblée de décisions prises par des machines<sup>119</sup>. D'autres systèmes utilisent des règles simplifiées qui conviennent à des situations simples de rencontre et de croisement, mais échouent dans des situations complexes d'évitement de plusieurs navires, en particulier dans des eaux confinées.

#### 55. **Évaluation complète des risques (Améliorée)**

La planification de la traversée constitue un élément important de la gestion prudente des risques. Les organismes de pilotage planifient les passages en fonction de la familiarité acquise par l'expérience, modifiée au besoin par la prise en compte des conditions environnementales prévues à court terme. La disponibilité de plusieurs bases de données à long terme permet d'évaluer les conditions prévues en les filtrant par zone, par itinéraire ou par date. Le système CASRAS (Système canadien d'évaluation des risques associés au transport maritime dans l'Arctique) du Conseil national de recherches Canada<sup>120</sup> est un exemple de ce type de système qui s'applique particulièrement à la navigation nordique en intégrant les registres climatiques à long terme de la couverture de glace à l'analyse POLARIS. Le système est en train d'être adapté pour être accessible sur le Web et fournit maintenant des prévisions à court terme (deux jours) des crêtes et des champs de pression pour compléter les rapports quotidiens du Service canadien des glaces sur l'état des glaces.

### 4.4 Services avancés de gestion du trafic maritime

Les services de trafic maritime (STM) sont des services opérationnels mis en place dans le cadre de mandats de sécurité nationale et de sécurité maritime pour surveiller, coordonner et gérer le trafic maritime. Autrefois appelés simplement STM, ils gagnent en ampleur et en autorité à la suite d'appels à une surveillance accrue de la sécurité de la navigation, et sont donc parfois appelés gestion du trafic maritime (GTM ou SGTM). Cette tendance est évidente dans l'évolution de l'expression « gestion proactive des navires », qui s'étend à la protection des zones sensibles sur le plan environnemental ou culturel. Des technologies intelligentes et prédictives sont utilisées pour optimiser l'établissement de l'horaire des postes à quai et les services portuaires dans le cadre de projets tels que le programme de gestion active du trafic maritime de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser.

Pour établir des règles de séparation du trafic, les STM s'appuient généralement sur des dispositifs de séparation du trafic approuvés par l'OMI ou localement, ou sur des zones à circulation restreinte. Une salle de contrôle permet aux opérateurs d'avoir accès à la surveillance radar et SIA à terre. Les communications se font par radio VHF aux points d'appel désignés. Les opérateurs fournissent l'autorisation d'entrer dans le port et de traverser les zones à circulation restreinte. Au-delà des eaux territoriales, les administrations maritimes nationales ou les services frontaliers peuvent exiger des rapports de position quotidiens pour surveiller le trafic dans la zone économique exclusive du pays. Dans l'enceinte d'un port, les fonctions des STM peuvent être partiellement ou totalement dévolues au port, ou le centre des STM peut exercer un contrôle au nom du port. Dans les autres cas, les STM sont généralement mis en place et gérés par les garde-côtes sous l'égide des autorités nationales.

---

<sup>119</sup> Aylward, 2021.

<sup>120</sup> CNRC, <https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/produits-services/services-techniques-consultatifs/systeme-canadien-devaluation-risques-associes-au-transport-maritime-larctique-casras>. Voir également Sodom, 2023.

Les STM n'ont pas encore le même degré d'autorité en matière de direction que les services de contrôle du trafic aérien, mais la tendance va dans ce sens.

#### 4.5 Pilotage à distance

Le pilotage à distance n'est pas une technologie en soi, mais l'application combinée d'un certain nombre de technologies, dans le but de fournir des conseils de pilotage depuis l'extérieur du navire. Il se distingue du contrôle à distance, qui suppose la commande et le contrôle à distance d'un navire sans équipage. Dans le cas du pilotage à distance, une présence humaine physique est maintenue à bord du navire.

Dans un sens fondamental, le pilotage à distance n'est pas nouveau; il est pratiqué au Canada, mais seulement dans des circonstances exceptionnelles et sur de courtes distances, lorsque les conditions empêchent le pilote de monter à bord par l'échelle du navire, de sorte que le pilote puisse donner des conseils à partir du bateau-pilote jusqu'à ce que le navire atteigne des eaux plus calmes à l'intérieur de la station de pilotage où l'embarquement peut être effectué en toute sécurité. Les approches expérimentales du pilotage à distance tentent de faire la même chose, mais de manière plus délibérée et à une plus grande distance, grâce à l'utilisation d'une surveillance avancée, d'un contrôle et de communications à sécurité intégrée à partir des stations côtières. Un rapport de 2012 de l'Union européenne sur les dispenses de pilotage indiquait que le pilotage à distance était exercé (exceptionnellement) par 12 des 24 pays membres, et que 10 pays n'autorisaient que les conseils fournis à partir du bateau-pilote<sup>121</sup>. L'Italie était le seul pays à utiliser le SBP de façon régulière en 2021<sup>122</sup>. Dans de nombreux cas, ce qui est décrit comme un SBP est en fait une « aide à la navigation », car le pilote n'assume pas la « conduite » du navire.

Le SBP est étudié depuis plus de 20 ans et, au cours des 10 dernières années, il a été reconnu comme techniquement réalisable<sup>123</sup>. Parmi les motivations, on peut citer la difficulté de recruter des personnes suffisamment formées, les économies et les gains d'efficacité attendus de l'augmentation du nombre de navires qu'un pilote peut aider au cours d'une même période de travail, et les gains de sécurité liés à l'évitement des embarquements par l'échelle de pilote. Le rapport de COWI de 2014 prévoyait des économies allant jusqu'à 50-60 % pour des diminutions modestes de la sécurité des navires<sup>124</sup>. D'autres ont proposé que le SBP pourrait accroître la sécurité, en réduisant les taux d'erreur de pilotage de 1 sur 15 543 mouvements de navires à 1 sur 95 000 sur une période de cinq ans. Selon ce dernier rapport, les avantages potentiels du SBP se répartissaient comme suit : 25 % pour la sécurité de la navigation, 10 % pour la sécurité des pilotes, 20 % pour le recours aux pilotes et 45 % pour l'efficacité de l'appui aux pilotes<sup>125</sup>. D'autres rapports sont plus sceptiques quant à la possibilité d'améliorer la sécurité de la navigation avec le SBP. L'accent est mis sur les « canaux intelligents » qui s'appuient sur l'infrastructure existante pour garantir une connaissance partagée de la situation entre le commandement du navire et les opérateurs des STM (SBP)<sup>126</sup>.

Les premières études se sont concentrées sur les éléments techniques/opérationnels essentiels (voir tableau 5) et ont supposé certaines limitations opérationnelles telles que « pas de SBP dans les ports » ou « pas de SBP pour les navires transportant des cargaisons dangereuses dans des eaux confinées ». D'autres limitations ou mises en garde ont été proposées, notamment les eaux confinées, la certification préalable des navires, l'expérience préalable du pilote à bord du navire, la navigation dans le chenal avec

---

<sup>121</sup> Union européenne, 2012.

<sup>122</sup> Hovda, 2021.

<sup>123</sup> Bruno, 2009; COWI, 2014; Brooks, 2016.

<sup>124</sup> COWI, 2014, p. 7-8.

<sup>125</sup> Brooks, 2016.

<sup>126</sup> Lahtinen, 2019. Ces « passerelles intelligentes » pourraient également inclure des bouées pilotées dont les caractéristiques et la puissance pourraient être adaptées aux conditions environnementales actuelles (Lindborg, 2021).

un trafic limité, l'approbation préalable des plans de passage, la restriction du SBP aux visiteurs fréquents et la présence de deux officiers sur la passerelle<sup>127</sup>.

L'une des préoccupations majeures (des pilotes) concernant le SBP est la perte de « contact » avec le navire, ce qui signifie une perte de conscience intuitive de la situation. Une des mesures proposées pour combler cette lacune consiste à fournir des caméras de connaissance de la situation ou des drones à suivi automatique pour obtenir une vue d'ensemble de la progression du navire en complément de l'échange des images radar et du SEVCM<sup>128</sup>. La faisabilité du SBP dépend en grande partie de l'investissement dans un centre de contrôle à terre. Les travaux initiaux de Rolls-Royce, aujourd'hui Kongsberg, démontrent qu'il s'agit d'un domaine où l'on peut combiner plusieurs technologies de pointe, allant des communications et de la navigation à la visualisation de simulations<sup>129</sup>. La Finlande poursuit une approche similaire avec le laboratoire d'essai des technologies de navigation intelligente (ISTLAB) de Finnpiilot, qui vise à créer un environnement de simulation pour permettre le pilotage à distance en Finlande d'ici à 2025<sup>130</sup>.

---

<sup>127</sup> Hovda, 2021.

<sup>128</sup> Lindborg, 2021.

<sup>129</sup> Voir la vidéo sur YouTube : <https://www.youtube.com/watch?v=UPtdgilrJI>

<sup>130</sup> <https://istlab.samk.fi>

**Tableau 5 : Exigences techniques pour le SBP (Source : COWI)**

Doit être disponible à terre	Doit être disponible en mer
Un système similaire à celui du SEVCM/STM	Deux radars fonctionnels
Image radar en surimpression de l'interface	SEVCM approuvé avec cartes de navigation à jour
Système de données SIA intégré à l'ordinateur	Au moins deux systèmes VHF indépendants
Ligne/voie de communication stable et directe (VHF) avec sauvegarde	L'équipement technique et les mécanismes de direction ne doivent pas être défectueux
Accès aux données météorologiques dans la zone de navigation – principalement le courant, le vent et la visibilité	L'équipage de la passerelle doit avoir une bonne connaissance de la situation et, de préférence, être expérimenté
Voie de communication (courriel) pour l'échange de renseignements sur le navire (carte de pilote) et la trajectoire prévue	L'équipage à la passerelle doit pouvoir communiquer en anglais

D'une certaine manière, la Finlande est à la pointe du progrès en matière de SBP. Un certain nombre de consortiums et d'associations de haut niveau ont combiné les compétences en recherche et l'innovation d'un grand nombre de partenaires. La Finlande a adopté des lois permettant le pilotage à distance (SBP) en 2019 et a travaillé de façon régulière à rendre le concept opérationnel<sup>131</sup>. Cela s'est traduit par un test en direct du SBP dans le centre de pilotage de Turku en mai 2022. Cet essai, réalisé en collaboration avec le consortium finlandais Safe for Value Fairway (S4VF) et Brighthouse, comprenait des données provenant du VDR du navire et des caméras vidéo embarquées 360 degrés et transmises à la station côtière par l'intermédiaire d'une « Smartbox » isolée par diodes (afin d'empêcher les attaques par des signaux entrants). Les données y étaient compilées dans un environnement virtuel à l'intention de l'opérateur (pilote) et les instructions qui en résultaient étaient transmises au navire par des communications résilientes par voix (VoIP) et des casques de réalité virtuelle<sup>132</sup>.

Certains des problèmes persistants liés à la viabilité (fiabilité) du SBP restent ceux de la communication, tant technique que verbale. La prévalence croissante de marins dont l'anglais n'est pas la langue maternelle signifie que la simple continuité des communications ne garantira pas toujours une compréhension parfaite. Les flux de données à canal unique peuvent ne pas suffire à reproduire la connaissance directe de la compétence et de la cohésion de l'équipe à la passerelle ou de la compréhension des ordres du pilote. Dans la pratique, cela nécessitera des protocoles de communication plus formels pour compenser la perte du langage corporel, des indices interpersonnels et d'autres moyens d'interaction à bord qui établissent une relation et une confiance mutuelles entre le capitaine et le pilote.

#### 4.6 Navires autonomes

Le sujet des navires autonomes, plus formellement appelés navires de surface autonomes (MASS), dépasse largement le cadre de la présente étude. Toutefois, étant donné qu'il repose sur un grand nombre des

<sup>131</sup> Rinkinen, 2022.

<sup>132</sup> Grundmann, 2023.

technologies présentées plus haut dans cette section du rapport, il est utile d'examiner les progrès réalisés et les difficultés rencontrées<sup>133</sup>.

La technologie des MASS fait l'objet d'une recherche rigoureuse, avec des voyages de démonstration récents et réussis de navires de 15 à 220 m dans des situations de trafic maritime parfois intense<sup>134</sup>. Parallèlement, une discussion bien établie est en cours sur la définition et les aspects juridiques de l'exploitation de navires sans équipage<sup>135</sup>. Dans les discussions techniques et juridiques, il est reconnu que le sujet couvre un spectre de modes opérationnels allant de l'actuel « équipage complet avec pilotes à bord » au pilotage à distance, en passant par le contrôle à distance, puis par un spectre gradué de solutions « hybrides » avant d'arriver à des navires entièrement autonomes (c'est-à-dire d'un « poste à quai à l'autre »). Une grande partie de la technologie nécessaire pour parvenir à une telle automatisation est mise au point dans l'industrie automobile<sup>136</sup> et dans d'autres secteurs tels que l'industrie pétrolière et gazière extracôtière et l'industrie de la défense. Les conséquences en matière de responsabilité (assurance) constituent une part importante de cette discussion dans le domaine civil<sup>137</sup>. En fait, il se peut que les questions juridiques et réglementaires soient plus importantes et plus difficiles à résoudre que les outils techniques liés aux MASS<sup>138</sup>.

Au plus haut niveau, un système MASS sécuritaire et fiable a besoin des éléments suivants : <sup>139</sup>

- des communications navire-terre à sécurité intégrée (y compris la cybersécurité);
- des capteurs avancés et une navigation autonome;
- une surveillance et un contrôle autonomes du moteur; et
- un centre de contrôle à terre.

Différents niveaux d'automatisation sont définis pour chacune de ces fonctions. On parle parfois d'une taxonomie des niveaux d'automatisation, qui répertorie cinq à huit niveaux d'automatisation répartis en quatre catégories :

1. Acquisition d'information
2. Analyse de l'information
3. Sélection des décisions et des mesures à prendre
4. Mise en œuvre des mesures

Certains d'entre eux sont des tâches de renseignement (c'est-à-dire numériques) et d'autres nécessitent une interface informatique et physique pour l'activation des fonctions de contrôle du navire. Ce qu'ils ont en commun, cependant, c'est la nécessité de revenir à des niveaux de contrôle inférieurs. L'OMI a défini quatre niveaux de contrôle :

- Degré 1 : navires avec équipage humain à bord, mais avec quelques systèmes automatisés;

---

<sup>133</sup> Olcer (2023) et Fenton (2023) donnent des aperçus particulièrement intéressants des aspects techniques, juridiques/réglementaires et humains des MASS.

<sup>134</sup> Il s'agit notamment de : 2021 : *American Courage*, 190 m, à Cleveland (Wartsila); 2021 : *Sunflower Shiretoko*, 190 m, au Japon (Mitsui); 2021 : *Mikage*, 95 m, au Japon (Mitsui); 2022 : *Suzaku*, 95 m, au Japon (MEGURI 2040), atteignant 97,4 à 99,7 % d'autonomie; 2022 : *Soleil*, 220 m, au Japon; 2022 : *Zhi Fei*, 120 m, en Chine; 2021 : *Yara Birkland*, 95 m, en Norvège (Kongsberg); 2018 : *Falco*, 54 m, en Finlande (Rolls Royce); 2021 : *Mayflower 400*, 15 m, aux États-Unis (Promare/IBM); d'autres par Wartsila et ABB en Finlande et à Singapour. Au moins trois d'entre eux sont en service actif (Sources : divers sites Web).

<sup>135</sup> Carey, 2017.

<sup>136</sup> Même dans ce cas, la technologie n'est pas encore au point ni infaillible; voir <https://www.caranddriver.com/news/a44185487/report-tesla-autopilot-crashes-since-2019/>

<sup>137</sup> Rylander, 2016.

<sup>138</sup> Soyer, 2022.

<sup>139</sup> Rylander, 2016.



- Degré 2 : navires télécommandés avec équipage humain à bord;
- Degré 3 : navires télécommandés sans équipage humain à bord;
- Degré 4 : navires capables de fonctionner de manière autonome sans contrôle humain, que ce soit à bord ou à distance<sup>140</sup>.

La sophistication des circuits décisionnels et fonctionnels déterminera le degré d'autonomie dont jouira un véhicule donné et les conditions dans lesquelles il demandera ou redemandera l'intervention d'un opérateur.

La plupart des auteurs sur le sujet des MASS supposent qu'il peut y avoir (au moins à moyen terme) des restrictions quant au niveau d'automatisation autorisé dans certains domaines. Cela peut poser des défis sur le plan pratique et technologique : alors que le navire est optimisé pour des opérations autonomes, sans équipage, quelles dispositions seront prises pour assurer la présence d'un équipage occasionnel à bord afin de répondre aux préoccupations juridiques ou pratiques liées à l'arrivée au port? Il y a également la question des différents types de navires et des différents profils opérationnels : comment les navires sans équipage pourront-ils effectuer les tâches précédemment exécutées pendant le voyage (p. ex., entretien préventif, nettoyage des cales à cargaison/préparation des cargaisons pendant le transit « sur lest »), sans imposer des retards et des coûts de main-d'œuvre aux abords du port?

Les entreprises qui dirigent actuellement la mise au point des navires autonomes sont : Rolls-Royce, Kongsberg, Wartsila, ProMare, DNV GL et ABB<sup>141</sup>. Rolls-Royce estime que le calendrier de mise au point aboutira à des navires de haute mer autonomes d'ici 2035<sup>142</sup>, tandis que la Fondation Nippon estime que son projet MEGURI2040 aboutira à une « mise en œuvre pratique » d'ici 2025<sup>143</sup>. La One Sea Association a été créée en tant que groupe industriel pour représenter les fabricants, les intégrateurs et les opérateurs dans le domaine de l'autonomie maritime; son livre blanc de 2021 traite principalement de la sécurité, de la cybersécurité et de divers obstacles juridiques/réglementaires<sup>144</sup>.

Malgré ces progrès apparents, nombreux sont ceux qui doutent franchement de la faisabilité, de l'acceptabilité ou des avantages économiques de la conversion de ce développement technologique en une mise en œuvre commerciale à grande échelle des navires autonomes. Certains affirment que la mise en œuvre doit s'accompagner d'une répartition équitable des coûts, des risques et des avantages<sup>145</sup>. Le rapport 2023 de l'AESM sur la détermination des compétences des opérateurs de navires autonomes indique que [traduction] « la mise en œuvre des MASS devient de plus en plus réaliste ... [mais] l'opérateur humain conserve un rôle important<sup>146</sup> ». Dans une évaluation de 2024, l'AESM estime que la mise en œuvre généralisée de grands navires autonomes ne se produira pas avant 20 ans et que [traduction] « si l'on reconnaît que l'erreur humaine contribue aux accidents et que les MASS pourraient contribuer à réduire cette erreur, tout le monde n'est pas convaincu que l'autonomie soit la solution ». L'AESM repère six domaines d'incitation et de défis à relever pour concrétiser la vision des MASS. Le Centre national d'expertise en pilotage maritime (CNEPM) du Canada recense 21 lacunes particulières (exigences qui ne

<sup>140</sup> Fenton, 2023. Le degré 4 peut néanmoins faire l'objet d'un certain niveau de suivi ou de surveillance, voire d'un contrôle actif.

<sup>141</sup> Nishant, 2023.

<sup>142</sup> Rolls Royce, 2023. Remarque : la division marine de Rolls-Royce a été achetée par Kongsberg en 2019 pour un montant de 525 millions de dollars (<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/kongsbergrolls-royce-deal-completed-for-estimated-us525m-54057>).

<sup>143</sup> Fondation Nippon

<sup>144</sup> Lehtovaara, 2021.

<sup>145</sup> Negenborn, 2023

<sup>146</sup> AESM, 2023

peuvent pas être satisfaites actuellement) sous les rubriques suivantes : technologique, opérationnel, juridique, coût et investissement et perception/acceptation du public <sup>147</sup>.

L'OMI travaille à l'élaboration d'un recueil de règles pour les MASS, mais l'on ne s'attend pas à ce qu'il devienne obligatoire avant 2028<sup>148</sup>. Dans l'intervalle, les directives provisoires de l'OMI concernant la mise à l'essai des MASS indiquent : « qu'il faudrait procéder aux essais d'une manière qui assure au moins le même degré de sécurité, de sûreté et de protection de l'environnement que ce qui est prévu par les instruments pertinents [les réglementations existantes]<sup>149</sup> ».

---

<sup>147</sup> CNEPM, 2024 – Lettre à Clear Seas.

<sup>148</sup> OMI, 2024. Les transports maritimes autonomes. <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>

<sup>149</sup> <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>

## 5.0 Analyse des débouchés technologiques

### 5.1 Méthodologie

Le catalogue des technologies de pilotage compilé dans la section 4 est maintenant analysé afin d'évaluer leur potentiel d'amélioration de la sécurité et de l'efficacité de la prestation des services de pilotage. L'évaluation a commencé par l'attribution d'un « indice d'utilisation » – une échelle de 5 points allant de 5 (universel) à 1 (rare). Les technologies dont l'indice d'utilisation actuel est faible peuvent présenter une plus grande possibilité d'amélioration. Une série de mesures subjectives pour l'analyse coût/bénéfice des technologies a été élaborée et l'équipe de recherche a noté chaque technologie en utilisant l'échelle de 5 points pour essayer de discerner les technologies qui offrent les meilleures possibilités.

Il convient de souligner que la notation effectuée était subjective et relative, fondée sur un nombre limité de points de vue et manquant souvent de preuves tangibles (en particulier en ce qui concerne les coûts). En l'absence de faits concrets, les chercheurs ont exercé leur jugement professionnel pour choisir une note probable plutôt qu'une note absolue. Les résultats ci-dessous doivent donc être acceptés comme étant généralement indicatifs mais ne faisant pas autorité. La notation résultant de ces critères représente l'appréciation de l'équipe de recherche et constitue principalement un outil de tri et d'examen de la recherche plutôt qu'un jugement faisant autorité sur les technologies existantes et émergentes.

#### 5.1.1 Caractéristiques souhaitées de la technologie de pilotage

En ce qui concerne les avantages que la technologie peut offrir aux pilotes, nous avons d'abord examiné les caractéristiques pratiques :

1. **Ergonomie conviviale** : la mesure dans laquelle la technologie est intuitive, facile à utiliser et produit l'effet escompté avec le moins d'effort possible;
2. **Échange d'information rapide, efficace et efficient** : la mesure dans laquelle la technologie fournit clairement des renseignements pertinents et actuels au bon moment;
3. **Alimentation électrique ininterrompue** : un mode de fonctionnement à sécurité intégrée qui perdure indépendamment de l'alimentation électrique du navire; et
4. **Modes de fonctionnement de secours ou de sécurité** : la possibilité de revenir en douceur à des modes de fonctionnement inférieurs (manuels ou non automatiques).

Ces aspects n'ont pas été notés de manière explicite mais ont influencé l'approche du processus d'évaluation formel.

#### 5.1.2 Critères de comparaison

Les critères de comparaison utilisés sont les suivants :

1. **Maturité** : la mesure dans laquelle la technologie est prête à être mise en œuvre;
2. **Indice d'utilisation** : la mesure dans laquelle la technologie peut être considérée comme courante;
3. **Coût** : un ordre de grandeur du coût du système;
4. **Bénéfice** : mesure subjective de l'utilité potentielle;

5. **Effet/coût** : un chiffre calculé qui exprime le compromis entre (3) et (4);
6. **Facilité d'utilisation** : un chiffre subjectif pour la facilité d'utilisation; et
7. **Risque lié à la mise en œuvre** : chiffre subjectif qui exprime la difficulté de la mise en œuvre et la certitude des avantages escomptés.

Les échelles de catégorisation et de comparaison associées sont présentées dans le tableau 6. Les échelles de comparaison en cinq points sont cohérentes, allant de Très faible (1) à Très élevé (5). Cela permet un codage couleur cohérent correspondant au bien-fondé : le vert (score élevé) est le meilleur et le rouge (score faible) est le pire<sup>150</sup>.

**Tableau 6 : Critères de comparaison technologique**

Score	Catégorie	Maturité	Indice d'utilisation	Coût	Bénéfice au pilotage sécuritaire	Efficacité (Effet/Coût)	Facilité d'utilisation	Risque lié à la mise en œuvre
1	TF	Principes de base - Concept tech	Rare	>\$10M	Avantage marginal	0.2	Difficile, complexe	Changement majeur, difficile, indéterminé, douteux
2	F	Preuve de concept - validation	Occasionnel	>\$1M	Quelques améliorations	0.6	Formation significative req	Impliqué, complexe, long, incertain
3	M	Demo prototype laboratoire	Fréquent	>\$100k	Améliorations modestes	1	Formation modérée requise	Progressif, prudent, moyen, confiant
4	E	Demo prototype opérationnel	Commun	>\$10k	Améliorations significatives	3	Une formation nécessaire	Incrémental, naturel, rapide, probable
5	TE	Technologie déployée	Universel	<\$10k	Améliorations significatives	5	Intuitive, naturel	Simple, facile, immédiat, certain

## 5.2 Résultats de l'analyse

Le présent rapport a examiné 54 technologies liées au pilotage, telles qu'elles sont répertoriées à la section 4. Le plus grand nombre de technologies repérées (23) nécessitaient une mise en œuvre au niveau du navire, et 5 autres au niveau de l'État ou au niveau international, tel qu'indiqué dans le tableau ci-dessous. Il reste donc 26 technologies qui sont gérées individuellement par le pilote ou par l'administration portuaire/de pilotage – il s'agit des technologies qui relèvent du champ d'innovation des administrations de pilotage individuelles ou des groupes de pilotes. Sur ces 26 technologies, 20 (14 + 6) ont été évaluées comme étant à un stade de maturité complète.

**Tableau 7 : Technologies, par degré de maturité**

Maturité	Pilotes	Navires	Ports/Autorité	État	OMI	Total général
1		2				2
2					1	1
3		2				2
4	2	5	4	1		12
5	6	14	14	2	1	37
<b>Total général</b>	8	23	18	3	2	54

Les technologies sont également évaluées en fonction de leur degré d'utilisation, comme le montre l'indice d'utilisation du tableau 8. Si l'on se concentre à nouveau sur les technologies qui relèvent de la sphère d'influence des administrations de pilotage, on constate que sept des technologies susceptibles d'être mises en œuvre au niveau du pilote/port ou de l'administration de pilotage sont « universelles » avec une note de 5, tandis que sept autres sont « courantes » avec une note de 4.

<sup>150</sup> Cela a nécessité une inversion des critères préférés de coût et de risque lié à la mise en œuvre pour les colonnes 5 et 9 de ce tableau.

**Tableau 8 : Technologies, par indice d'utilisation**

Index d'utilisation	Pilotes	Navires	Ports/Autorité	État	OMI	Total général
1	2	3	2	1	1	9
2		8	2	1		11
3		1	6			7
4	2	3	5			10
5	4	8	3	1	1	17
Total général	8	23	18	3	2	54

### 5.3 Possibilités d'amélioration

Si l'on cherche à améliorer les services de pilotage au moyen de la technologie, les données du tableau 9 montrent le nombre de technologies qui présentent un avantage prospectif élevé associé à un indice d'utilisation faible (mise en œuvre actuelle).

**Tableau 9 : Technologies, par indice d'avantage/utilisation**

Index d'utilisation	Avantage					Total général
	1	2	3	4	5	
1	1	4	3	1		9
2	2	2	5	1	1	11
3			1	1	5	7
4	1		3	4	2	10
5	1		1	3	12	17
Total général	5	6	13	10	20	54

Un grand nombre d'éléments présentant un niveau d'avantage de 4-5 sont déjà mis en œuvre et ont des indices d'utilisation de 4 ou plus, ce qui correspond à la couleur orange du tableau 9 avec 21 technologies. Ces éléments ne sont pas considérés comme des possibilités d'amélioration.

Ceux qui présentent un fort potentiel d'amélioration ont été sélectionnés sur la base d'un score de 3 pour l'indice d'utilisation (c'est-à-dire « fréquent », mais pas « courant » ou « universel »), mais d'un score de 3 ou plus pour l'avantage (c'est-à-dire « modeste » ou « plus important »). Ces sept éléments sont les suivants (le niveau de mise en œuvre figure entre parenthèses) :

1. Tirant d'air en temps réel (administrations portuaires/de pilotage)
2. Renseignements en temps réel sur les courants de marée (administrations portuaires/de pilotage)
3. Données en temps réel sur le vent et la mer (administrations portuaires/de pilotage)
4. Niveaux d'eau en temps réel (administrations portuaires/de pilotage)
5. Positionnement dynamique, manettes de commande (navires)
6. Transfert hélicoptère de pilotes (administrations portuaires/de pilotage)
7. Amélioration des systèmes de quais et de défenses (administrations portuaires/de pilotage)

Le niveau suivant correspond aux technologies qui obtiennent un score de 2 pour l'indice d'utilisation (c'est-à-dire « occasionnel ») et un score de 3 ou plus pour les avantages. Ces huit éléments sont les suivants (le niveau de mise en œuvre figure entre parenthèses) :

1. Échosondeur prospectif (navires)
2. Conception ergonomique de la passerelle (navires)
3. Positionnement avancé indépendant (navires)
4. Radar à ondes millimétriques (navires)
5. Détection électro-optique automatique des dangers (navires)
6. Bathymétrie en temps réel (administrations portuaires/de pilotage)
7. GPS différentiel (État)
8. Systèmes d'amarrage automatique (navires)

En examinant ces deux groupes d'améliorations potentielles, il est évident que le premier groupe relève principalement de la responsabilité des administrations portuaires et de pilotage ou des groupes de pilotes, tandis que le second groupe relève principalement de la responsabilité des navires.

## 6.0 Conclusion

### 6.1 Évaluation actuelle

Le pilotage au Canada est établi de manière variée, en fonction de la géographie, du trafic et des conditions locales des différentes régions. Dans l'ensemble de ces régions de pilotage, le Canada joue un rôle de chef de file dans de nombreux aspects du pilotage moderne :

- Des conditions préalables solides; robuste processus de sélection et d'examen pour les candidats au pilotage;
- Formation avancée en apprentissage et mentorat;
- Niveau élevé d'assistance technique autonome à bord (UPP, etc.);
- Des agences hydrographiques et environnementales bien établies;
- De vastes réserves d'expertise en matière de navigation polaire/glaciaire; et
- Un secteur privé très innovant dans le domaine des technologies maritimes.

Dans ses quatre régions de pilotage, le Canada utilise déjà un grand nombre de technologies de pointe applicables au pilotage, ce qui lui permet d'afficher un bilan très satisfaisant en matière de sécurité :

- Utilisation d'UPP, combinée à un positionnement très précis et à des générateurs de vitesse de rotation;
- Une hydrographie fiable (sauf pour l'Arctique), complétée par des capteurs en temps réel pour le niveau de l'eau, les courants et les couches d'air;
- Un réseau bien établi de portails de navigation électronique, tant au niveau local que national; et
- Des centres de STM robustes et modernes.

### 6.2 Recommandations

Bon nombre des principales innovations technologiques sont mises au point ou normalisées par des entreprises ou des organisations internationales. La mise en œuvre à l'échelle locale ou régionale suivra, mais les efforts déployés par les administrations portuaires ou de pilotage locales pour améliorer la sécurité et l'efficacité du pilotage grâce à la technologie sont limités à leur sphère d'influence.

Des changements sont en cours dans le secteur mondial du transport maritime, traditionnellement conservateur, mais compte tenu du long cycle de vie des navires, la mise en œuvre d'une nouvelle technologie sur tous les navires est un processus de longue haleine. Outre le fait que l'investissement dans une nouvelle technologie pour un nouveau navire (ou la modernisation d'un navire existant) nécessite une solide analyse de rentabilité, les armateurs devront avoir la certitude que la nouvelle technologie sera bénéfique, qu'elle jouira d'un soutien et qu'elle sera fiable. Les améliorations doivent être guidées par la demande.

Ce rapport tente de mettre en évidence les technologies les plus réalisables grâce à l'utilisation de ressources locales ou régionales, en mettant l'accent sur les priorités suivantes :

- Sécurité des pilotes
- Sécurité des navires

- Sécurité de l'environnement
- Sécurité du public

D'après cette évaluation de haut niveau, les principales possibilités d'amélioration sont les suivantes :

1. Dispositions relatives aux transferts de pilotes;
2. Efficacité des STM (surveillance/prédiction/communication/formation);
3. Amélioration de l'apport de données en temps réel aux pilotes (afin d'accroître la précision sans réduire indûment les marges de sécurité);
4. Surveillance locale/régionale (y compris le repérage en temps réel des mammifères marins);
5. Communications avancées et connectivité dans les zones côtières.

Dans de nombreux milieux de l'industrie maritime, la technologie est perçue comme une arme à deux tranchants : une occasion de simplifier et de rationaliser l'exécution des travaux de routine à bord; mais, à l'inverse, une menace pour les moyens de subsistance des marins. Une enquête menée en 2018 auprès de 1 000 professionnels de la mer a révélé que [traduction] « 84 % des professionnels de la mer considèrent l'automatisation comme une menace pour leurs métiers, et 85 % estiment que les navires télécommandés sans équipage constituent une menace pour la sécurité en mer<sup>151</sup> ». Ces opinions sont encouragées par l'échec de la technologie à alléger jusqu'à présent le fardeau du travail à bord des navires – un exemple clé est le fait que la « numérisation » exige encore jusqu'à présent que le personnel de quart fasse des enregistrements horaires à la main!

En même temps, il y a une grave pénurie de main-d'œuvre dans le secteur maritime, ce qui suscite en partie un désir d'automatisation, et les progrès rapides de la technologie de l'automatisation ont déjà fait des navires autonomes expérimentaux une réalité. Mais ce n'est pas nécessairement une menace pour la sécurité de l'emploi. [Traduction] « Les niveaux de compétence plus élevés requis pour les navires qui deviennent de plus en plus complexes sur le plan technique signifient que les opérateurs doivent être plus – et non moins – qualifiés afin de faire face avec succès à ces conditions atypiques<sup>152</sup> ».

Un scepticisme considérable subsiste quant aux avantages ultimes de l'automatisation : [traduction] « Les résultats du projet de STM (Sea Traffic Management) (gestion du trafic maritime) [en Suède] indiquent que, bien que plusieurs des services fournis par la STM aient été utiles, ils ont entraîné des changements dans les pratiques de travail existantes qui pourraient avoir une incidence sur les structures de communication, la charge de travail et la connaissance de la situation<sup>153</sup> »; et [traduction] « il est également problématique de supposer que, dans l'ensemble, les systèmes maritimes autonomes sont impliqués dans moins d'accidents que les systèmes non autonomes<sup>154</sup> ». La mise en garde la plus importante de ce dernier rapport est que [traduction] « la technologie n'est pas une fatalité ».

Néanmoins, il a prédit que de tels changements dans l'industrie du transport maritime sont inévitables, notamment :

- Le pilotage pour le transit dans les eaux côtières (et éventuellement dans le port et sur un poste d'amarrage) est assuré à partir de la terre;

---

<sup>151</sup> Aylward, 2022.

<sup>152</sup> Université de Southampton, 2017.

<sup>153</sup> Aylward, 2023.

<sup>154</sup> Université de Southampton, 2017.



- L'espace maritime encombré est géré activement par l'équivalent maritime du contrôle du trafic aérien; et
- Mise en place de centres internationaux de contrôle des flottes pour surveiller et gérer les flottes de navires connectés numériquement dans le monde entier.

Ces changements sont déjà possibles avec les technologies actuellement disponibles. La généralisation de ces pratiques sera limitée non pas par les progrès techniques, mais par le rythme des changements réglementaires et juridiques qui permettront de les généraliser. Cette évolution dépendra à son tour de l'adhésion du secteur maritime, du taux de renouvellement de la flotte mondiale et de l'acceptation du public.

## 7.0 Références

- Allianz. 2023. Shipping and Safety Review: Report & Insights. <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Brisbane Marine Pilots Pty Ltd (sans date). *Inquiry into Managing Fatigue in Transport* (mémoire au comité permanent des communications, du transport et des arts de la Chambre des représentants). [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjO2pvfsceDAXWMweYEHe4NBIsQFnoECBMQAO&url=https%3A%2F%2Fwww.aph.gov.au%2Fparliamentary\\_business%2Fcommittees%2Fhouse\\_of\\_representatives\\_committees%3Furl%3Dcita%2Fmanfatigue%2Fsubmissions%2Fmfs37.pdf&usq=AOvVaw0fFeHvfZWcCesH1lxeBVH9&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjO2pvfsceDAXWMweYEHe4NBIsQFnoECBMQAO&url=https%3A%2F%2Fwww.aph.gov.au%2Fparliamentary_business%2Fcommittees%2Fhouse_of_representatives_committees%3Furl%3Dcita%2Fmanfatigue%2Fsubmissions%2Fmfs37.pdf&usq=AOvVaw0fFeHvfZWcCesH1lxeBVH9&opi=89978449). Consulté le 12 janvier 2024.
- Australasian Marine Pilots Institute (site Web). <https://ampi.org.au/about-us/>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Administration de pilotage de l'Atlantique (site Web). Zones de pilotage obligatoire. <https://www.pilotagedelatlantique.com/operations/zones-de-pilotage-obligatoire/>. Consulté le 10 janvier 2024.
- Gouvernement australien (site Web). 2023. *Australian sea freight 2020–21* (Rapport statistique du Bureau of Infrastructure and Transport Research Economics (BITRE)). <https://www.bitre.gov.au/sites/default/files/documents/Australian%20Sea%20Freight%202020-21.pdf>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Aylward, Katie et al. 2022. « Navigators' views of a collision avoidance decision support system for maritime navigation ». <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/navigators-views-of-a-collision-avoidance-decision-support-system-for-maritime-navigation/077D42D9C3589DE03F941E635D175748>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Baffinland Iron Mines. 2023. Annonce Instagram, page Instagram de Baffinland : <https://www.instagram.com/p/CzHVJexOrOD/>. Consulté le 10 janvier 2024.
- British Antarctic Survey (site Web). UK Polar Data Centre. <https://www.bas.ac.uk/data/uk-pdc/>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Bawlf, Samuel. 2004. *The Secret Voyage of Sir Francis Drake*. Penguin.
- BC Cetaceans Sighting Network (site Web). Send a Sighting. Save a Whale! <https://wildwhales.org/category/sightings/>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Bijani, Amir. 2020. *Remote-Guided Pickup Drop Off System (RGPDOS)*. <https://ep.jhu.edu/wp-content/uploads/2020/09/se-seminar-series-a-bijandi.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Brooks, Ben et al. 2016. « Technological innovation in the maritime industry: The case of remote pilotage and enhanced navigational assistance ». <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/technological-innovation-in-the-maritime-industry-the-case-of-remote-pilotage-and-enhanced-navigational-assistance/5B17E903DBA7D610872A40A49852BC0D>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Bruno, Karl et Lutzhoft, Margareta. 2009. « Shore-Based Pilotage: Pilot or Autopilot? Piloting as a Control Problem ». [http://us.lodstilsyn.dk/files/links/rapporter/shore-based%20pilotage\\_karl%20bruno\\_and\\_margareta\\_ltzhoft.pdf](http://us.lodstilsyn.dk/files/links/rapporter/shore-based%20pilotage_karl%20bruno_and_margareta_ltzhoft.pdf). Consulté le 11 janvier 2024.
- Campbell Scientific (site Web). Radar Level Sensor. <https://www.campbellsci.ca/rls>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Carey, Luci. 2017. *All Hands Off Deck? The Legal Barriers to Autonomous Ships*. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3025882](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3025882). Consulté le 11 janvier 2024.
- Conseil des académies canadiennes. 2016. *Accidents dans le transport maritime commercial : Cerner les risques au Canada*. Préparé pour Clear Seas. [https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2018/10/cca\\_marine\\_shipping\\_risks\\_fr\\_fullreport.pdf](https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2018/10/cca_marine_shipping_risks_fr_fullreport.pdf). Consulté le 11 janvier 2024.
- Garde côtière canadienne. Portail e-Navigation. <https://e-navigation.canada.ca/index-fr>. Consulté le 11 janvier 2024.



Agence européenne pour la sécurité maritime. 2023. *Identification of Competences for MASS Operators in Remote Operations Centres*. <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/5089-cmoroc-mass.html>. Consulté le 26 mars 2024.

Etymology Online (site Web), <https://www.etymonline.com/word/pilot>. Consulté le 10 janvier 2024.

Union européenne. 2012. *Study on Pilotage Exemption Certificates*. <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-09/2012-09-18-pec.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.

Farsounder (site Web). Argos Navigation Sonars. <https://www.farsounder.com/argos-navigation-sonars>. Consulté le 11 janvier 2024.

Fednav (site Web). ICENAV : À l'avant-garde de la technologie de navigation dans les glaces. <https://www.fednav.com/fr/icenav-lavant-garde-de-la-technologie-de-navigation-dans-les-glaces>. Consulté le 11 janvier 2024.

Fenton, Adam James et Chapsos, Ioannis. 2023. « Ships Without Crews: IMO and UK responses to cybersecurity, technology, law and regulation of maritime autonomous surface ships (MASS) ». <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomp.2023.1151188/full>. Consulté le 11 janvier 2024.

Findaport (site Web). Chile. <https://www.findaport.com/country/chile>. Consulté le 12 janvier 2024.

Finnpilot (site Web). Rapport annuel 2022. [https://finnpilot.fi/wp-content/uploads/2023/03/Finnpilot\\_annualreport\\_2022.pdf](https://finnpilot.fi/wp-content/uploads/2023/03/Finnpilot_annualreport_2022.pdf). Consulté le 12 janvier 2024.

Furuno Finland (site Web). Ice Radar FICE-100. [https://www.furuno.fi/en/merchant\\_marine/navigation\\_products/ice\\_radar/](https://www.furuno.fi/en/merchant_marine/navigation_products/ice_radar/). Consulté le 11 janvier 2024.

Furuno (site Web). 1st Watch Wireless Radar. <https://www.furuno.com/en/products/radar/drs4w>. Consulté le 11 janvier 2024.

Furuno (site Web). Augmented Reality Navigational Concept. <https://www.furuno.com/special/en/envision/>. Consulté le 12 janvier 2024.

Furuno (site Web). NAVNet 3D. [https://www.furunousa.com/-/media/sites/furuno/document\\_library/documents/brochures/brochures/navnet\\_3d\\_brochure.pdf](https://www.furunousa.com/-/media/sites/furuno/document_library/documents/brochures/brochures/navnet_3d_brochure.pdf). Consulté le 11 janvier 2024.

Furuno (site Web). Network Multi-Beam Sonar. <https://www.furuno.com/special/en/fishfinder/dff-3d/>. Consulté le 11 janvier 2024.

Furuno (site Web). Wave Analyzer. <https://www.furuno.com/en/merchant/wave-analyzer/>. Consulté le 11 janvier 2024.

Galliard, André. *Accidentology of the Past 20 Years Within the French Maritime Pilotage*. <https://www.impahq.org/sites/default/files/content-files/Capt.%20André%20Gaillard.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.

Global Newswire. 2023. « Dry Bulk Shipping Market is Anticipated to Grow at a CAGR of 4% by 2030 ». <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/04/26/2655215/0/en/Dry-Bulk-Shipping-Market-is-Anticipated-to-Grow-at-a-CAGR-of-4-by-2030-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>. Consulté le 10 janvier 2024.

Administration de pilotage des Grands Lacs (site Web). Pilotage obligatoire dans la région des Grands Lacs. <https://www.glp-aagl.com/fr/passage-plan/great-lakes-region-passage-plan/>. Consulté le 10 janvier 2024.

Gravendeel, A. et al. 2017. *Automatic Berthing*. <http://www.maritimesymposium-rotterdam.nl/uploads/Route/Automatic%20berthing.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.

Gravity Industries (site Web). Flight Club. <https://gravity.co>. Consulté le 11 janvier 2024.

- Greenwood, Nigel S. 2014. Évaluation des risques liés à l'embarquement des pilotes par hélicoptère sur les méthaniers (*en anglais*) (rapport préparé pour l'APP).
- Greenwood, Nigel S. 2016. Évaluation des risques liés à l'amarrage (*en anglais*) (rapport préparé pour l'APP et l'APVF).
- Greenwood, Nigel S. 2018. Gestion proactive du trafic maritime (*en anglais*) (rapport préparé pour Transports Canada).
- Grégoire, Marc. 2018. *Rapport final – Examen de la Loi sur le pilotage – Avril 2018*. <https://tc.canada.ca/fr/examens-legislatifs/loi-pilotage-projet-loi-c-97/rapport-final-examen-loi-pilotage-avril-2018>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Grundmann, Robert, et al. 2023. « Use Case Remote Pilotage – Technology Overview », *J. Phys.: Conf. Ser.* **2618** 012007 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2618/1/012007/pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Holder, E. et Pecota, S. 2011. « Maritime Head-Up Display: A Preliminary Evaluation », *The Journal of Navigation*, 64(4), p. 573-594. doi:10.1017/S0373463311000191. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/abs/maritime-headup-display-a-preliminary-evaluation/F61E84D3D543E5BB15CAD3C2C46B7B29>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Hovda, Knut. 2021. *Pilotage Methods* (thèse de maîtrise). <https://hvlopen.brage.unit.no/hvlopen-xmlui/handle/11250/2765799>. Consulté le 11 janvier 2024.
- AIMS. 2024. Future Scenarios Regarding the Development and Evolution of MASS. <https://www.iala-aim.org/sailing-into-the-future-of-autonomous-ships/>. Consulté le 26 mars 2024.
- OHI (site Web). Projet de démonstration de faisabilité S-100. <https://s-100.no/operational-test-s-129-under-keel-clearance-management-tested-in-tjeldsundet-norway/>. Consulté le 12 janvier 2024.
- OHI (site Web). Modèle universel de données hydrographiques S-100. <https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model>. Consulté le 11 janvier 2024.
- OMI (site Web). Guichet unique maritime. <https://www.imo.org/en/OurWork/Facilitation/Pages/MaritimeSingleWindow-default.aspx>. Consulté le 11 janvier 2024.
- ISTLAB (site Web). Intelligent Shipping Technology Test Laboratory (ISTLAB). <https://istlab.samk.fi>. Consulté le 11 janvier 2024.
- JASCO. 2022. JASCO, BO-MTS and OCIUS demonstrate cutting-edge capabilities in Real-Time Marine Mammal Acoustic Monitoring. [https://www.jasco.com/press-releases/2023/real-time-marine-mammal-acoustic-monitoring#:~:text=—,In%20September%202023%2C%20JASCO%20Applied,underwater%20vehicles%20\(AUVs\)%20and%20uncrewed](https://www.jasco.com/press-releases/2023/real-time-marine-mammal-acoustic-monitoring#:~:text=—,In%20September%202023%2C%20JASCO%20Applied,underwater%20vehicles%20(AUVs)%20and%20uncrewed). Consulté le 11 janvier 2024.
- Kongsberg (site Web). Vidéo : Kongsberg Maritime – Remote operation center. <https://www.youtube.com/watch?v=UPtdgilrJI>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Kowarski, Katie et al. 2020. « Near real-time marine mammal monitoring from gliders: Practical challenges, system development, and management implications ». [http://whitelab.biology.dal.ca/hw/Kowarski\\_et\\_al\\_JAE\\_2020.pdf](http://whitelab.biology.dal.ca/hw/Kowarski_et_al_JAE_2020.pdf). Consulté le 11 janvier 2024.
- Laera, F., Fiorentino, M., Evangelista, A., Boccaccio, A., Manghisi, V., Gabbard, J., . . . Foglia, M. (2021). « Augmented reality for maritime navigation data visualisation: A systematic review, issues and perspectives », *The Journal of Navigation*, 74(5), p. 1073-1090. doi:10.1017/S0373463321000412. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/abs/augmented-reality-for-maritime-navigation-data-visualisation-a-systematic-review-issues-and-perspectives/934E94814CCD6F89F1F25E4458BC60AB>. Consulté le 11 janvier 2024.

- Lahtinen, Janne et al. 2020. « Remote piloting in an intelligent fairway – A paradigm for future pilotage ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753520302861>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Landry, Étienne (APL). 2023. Mémoire sur le projet de services de pilotage optimaux (communication personnelle de la part de Clear Seas).
- Leblanc, Mark (SHC). 2023. Séance d'information du Service hydrographique du Canada (communication personnelle).
- Lehtovaara, Eero. *White Paper: Autonomous Ships and Safety at Sea*. <https://www.iims.org.uk/wp-content/uploads/2021/07/Autonomous-ships-and-safety-at-sea-whitepaper.pdf>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Lewin, Gary. « Helicopter Use in IMPA on Pilotage ». [https://docs2.cer-rec.gc.ca/ll-eng/llisapi.dll/fetch/2000/90464/90552/548311/956726/2392873/3614457/3615225/3635252/3717037/A96323%2D14\\_IMPA\\_on\\_Pilotage\\_%2D\\_Helicopter\\_Use\\_%2D\\_A6L3K6.pdf?nodeid=3716832&vernum=-2](https://docs2.cer-rec.gc.ca/ll-eng/llisapi.dll/fetch/2000/90464/90552/548311/956726/2392873/3614457/3615225/3635252/3717037/A96323%2D14_IMPA_on_Pilotage_%2D_Helicopter_Use_%2D_A6L3K6.pdf?nodeid=3716832&vernum=-2). Consulté le 11 janvier 2024.
- Lindborg, Liro. 2021. S11 – Autonomy Simplified: Conceptual Approach to Remote Pilotage. <https://www.linkedin.com/pulse/s11-autonomy-simplified-conceptual-approach-remote-iiro-lindborg>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Marine Pilots. 2020. Physical Pilot Ladder Simulator (Chile). <https://www.marine-pilots.com/videos/157338-physical-pilot-ladder-simulator-chile>. Consulté le 5 janvier 2024.
- Marine Regulations (site Web). « Finland: Ministry of Transport and Communications has published the Pilotage Act ». <https://www.marineregulations.news/finland-ministry-of-transport-and-communications-has-published-the-pilotage-act/>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Mech, Konrad. 2022. Document d'information de Kongsberg à l'intention de l'American Association of Port Authorities (AAPA). *Maritime Civil Engineering Applications and Solutions*. [https://aapa.cms-plus.com/files/AAPA\\_FacEngPPTJun2022.pdf](https://aapa.cms-plus.com/files/AAPA_FacEngPPTJun2022.pdf). Consulté le 23 novembre 2023.
- Mercator International. 2021. *Appendix IR2020-3-B – Updated Roberts Bank Terminal 2 container vessel call forecast study*, AEIC, 2020. <https://iaac-aeic.gc.ca/050/documents/p80054/141575E.pdf>. Consulté le 20 novembre 2023.
- Miros (site Web). Why Measure Air-Gap? <https://www.miros-group.com/air-gap-why-measure-it-at-all/>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Administration côtière norvégienne (Kystverket) (site Web). <https://www.kystverket.no/en/pilotage-service-and-pilotage-exemption-certificate/pilotage/compulsory-pilotage/>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Negenborn, Rudy R., et al. 2023. « Autonomous ships are on the horizon: here's what we need to know ». <https://northsearegion.eu/media/23978/20230630-rudy-negenborn.pdf>. Consulté le 26 mars 2024.
- Fondation Nippon (site Web). MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program. <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/what/projects/meguri2040>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Nishant, Shankar. 2023. « How Autonomous ships are revolutionizing the maritime industry ». <https://maritime-professionals.com/how-autonomous-ships-are-revolutionizing-the-maritime-industry/>. Consulté le 11 janvier 2024.
- NOAA (site Web). Custom Chart. <https://nauticalcharts.noaa.gov/updates/noaa-custom-chart-version-2-0-now-available-to-the-public/>. Consulté le 11 janvier 2024.
- NOAA (site Web). PORTS (Physical Oceanographic Real-Time System). <https://tidesandcurrents.noaa.gov/ports.html>. Consulté le 11 janvier 2024.
- NOAA (site Web). Real-Time Observations. <https://marinenavigation.noaa.gov/observations.html>. Consulté le 11 janvier 2024.

Conseil national de recherches Canada (site Web). Le système canadien d'évaluation des risques associés au transport maritime dans l'Arctique (CASRAS). <https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/produits-services/services-techniques-consultatifs/systeme-canadien-devaluation-risques-associes-au-transport-maritime-larctique-casras>. Consulté le 11 janvier 2024.

Ocean Networks Canada (site Web). Prince Rupert Regional Ocean Observatories. <https://data.oceannetworks.ca/PrinceRupertPort?rotatemin=0&refreshsec=0&qpddr=L10>. Consulté le 12 janvier 2024.

Olcer, A.I., et al. 2023. *Transport 2040: Impact of Technology on Seafarers - The Future of Work*. [https://commons.wmu.se/lib\\_reports/78/](https://commons.wmu.se/lib_reports/78/). Consulté le 11 janvier 2024.

OLEX. Bathymetry in Olex. [https://www.olex.no/depthcharts\\_en.html](https://www.olex.no/depthcharts_en.html). Consulté le 11 janvier 2024.

OLEX. Software. [https://www.olex.no/products/olex\\_software\\_en.html](https://www.olex.no/products/olex_software_en.html). Consulté le 11 janvier 2024.

Orange Force Marine (site Web). Crowdsourced Bathymetry. <https://www.orangeforcemarine.com/crowdsourced-bathymetry>. Consulté le 11 janvier 2024.

Port Revel (site Web). Manned Model Training. <https://www.portrevel.com>. Consulté le 11 janvier 2024.

Portlink Global. Port Management Information System (PMIS). <https://www.portlinkglobal.com/solutions>. Consulté le 11 janvier 2024.

Port Skills and Safety. 2012. Marine Accident Data Study 2012 [UK Ports]. [https://www.portskillsandsafety.co.uk/files/2017-05/2012%20Marine%20Accident%20Study%20-%20UK%20Ports%20-%20Final\\_0.pdf](https://www.portskillsandsafety.co.uk/files/2017-05/2012%20Marine%20Accident%20Study%20-%20UK%20Ports%20-%20Final_0.pdf). Consulté le 11 janvier 2024.

Rinkinen, Antti. 2022. *Remote Pilotage*. <https://www.marine-pilots.com/articles/386923-book-remote-pilotage-by-antti-rinkinen>. Consulté le 11 janvier 2024.

Riviera (site Web). 2023. NYK to roll out Orca AI platform across fleet. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/nyk-to-roll-out-orca-ai-platform-across-fleet-75846>. Consulté le 11 janvier 2024.

Rolls Royce. 2023. *Autonomous Ships: The Next Step*. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/%20customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.

Marine royale (site Web). 2021. Royal Marines trial use of jet suit for boarding operations. <https://www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2021/may/05/050521-boarding-trials#:~:text=Royal%20Marines%20have%20tested%20the,military%20operations%20in%20the%20future>. Consulté le 11 janvier 2024.

Rylander, Robert et Man, Yemao. 2016. *Autonomous safety on vessels, an international overview and trends within the transport sector*. <https://seatracker.ru/viewtopic.php?t=29776>. Consulté le 11 janvier 2024.

Sea AI (site Web). Machine Vision for Safety at SEA. <https://sea.ai>. Consulté le 11 janvier 2024.

Shipnet. 2023. The Outlook for the Dry Bulk Market 2023–2030. <https://www.shipnet.no/articles/the-outlook-for-the-dry-bulk-market-2023-2030#:~:text=From%202023%20to%202030%2C%20the%20global%20shipping%20industry%20is%20set,in%20the%20dry%20bulk%20market>. Consulté le 10 janvier 2024.

Shipping Australia (site Web). 2023. Under the microscope: AMSA announces coastal pilotage review. <https://www.shippingaustralia.com.au/under-the-microscope-amsa-announces-coastal-pilotage-review/>. Consulté le 12 janvier 2024.

Soyer, B., Tettenborn, A. et Leloudas, J. 2022. *Remote Controlled and Autonomous Shipping: UK Based Case Study*. <https://www.swansea.ac.uk/media/Remote-Control-and-Autonomous-Shipping-Final.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.



- Splash247.com. 2023. Port of Montreal receives funding for expansion project in Contrecoeur. <https://splash247.com/port-of-montreal-receives-funding-for-expansion-project-in-contrecoeur/>. Consulté le 10 janvier 2024.
- Scott Polar Research Institute, <https://www.spri.cam.ac.uk>. Consulté le 10 janvier 2024.
- Starlink (site Web). <https://www.starlink.com>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Sudom, Denise et al. 2023. *NRC Canadian Arctic Shipping Risk Assessment System (CASRAS): Report for Fiscal Year 2021-22*. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=3a748ae9-588d-4ed2-8ca4-5577401ef729>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Szlapczynski, R. et Szlapczynska, J. 2015. « A Target Information Display for Visualising Collision Avoidance Manoeuvres in Various Visibility Conditions », *The Journal of Navigation*, 68(6), p. 1041-1055. doi:10.1017/S0373463315000296. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/abs/target-information-display-for-visualising-collision-avoidance-manoevres-in-various-visibility-conditions/EFE4220DD261BE19DAE4CC6E0F94D467>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Transports Canada (site Web). Élargissement du Programme de sensibilisation accrue aux activités maritimes. <https://tc.canada.ca/fr/campagnes/protégeons-nos-cotes-plan-protection-oceans/partenariats-plus-forts-avec-communautés-autochtones-cotières/elargissement-programme-sensibilisation-accrue-activites-maritimes>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Transportation Economics & Management Systems Ltd. 2023. *Marine Pilotage in Canada: A Cost Benefit Analysis – 2023 Update*. Rapport préparé pour l'APMC. <https://www.marinepilots.ca/news-docs/Canadian-Pilotage-Cost-Benefit-Analysis-2023.pdf>. Consulté le 11 janvier 2024.
- The Maritime Executive. 2022. First Autonomous Navigation and Berthing Test on a Containership. <https://maritime-executive.com/article/first-autonomous-navigation-and-berthing-test-on-a-containership#:~:text=A%20Japanese%20containership%20completed%20the,Foundation%20to%20develop%20autonomous%20shipping>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Thoresen, Carl A. 2018. *Port Designer's Handbook*. Ice Publishing, Londres.
- Trelleborg (site Web). Automated Mooring Systems. <https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products-solutions-and-services/marine/docking-and-mooring/automated-mooring-systems>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. 1995. Rapport d'enquête maritime SM9501, *Étude de sécurité portant sur les rapports de travail entre les capitaines et officiers de quart, et les pilotes de navire*. <https://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/marine/etudes-studies/sm9501/sm9501.html>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. 2022. Événements de transport maritime en 2022. <https://www.tsb.gc.ca/fra/stats/marine/2022/ssm-ssmo-2022.html>. Consulté le 11 janvier 2024.
- UK Admiralty (site Web). Admiralty Maritime Data Solutions. <https://www.admiralty.co.uk>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Université de Southampton, Lloyds Register et Qinetiq. 2017. *Global Marine Technology Trends 2030: Autonomous Systems*. <https://www.southampton.ac.uk/smmi/news/2017/09/12-gmtt2030-autonomous-systems.page>. Consulté le 12 janvier 2024.
- Utmel Electronic (site Web). Millimeter Wave Radar: Advantages, Types, and Applications. <https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/millimeter-wave-radar-advantages-types-and-applications>. Consulté le 11 janvier 2024.
- Administration portuaire Vancouver-Fraser. Programme de gestion active des navires. <https://www.portvancouver.com/fr/marine-operations-2/programme-de-gestion-active-de-la-circulation-des-navires/>. Consulté le 10 janvier 2024.



Administration portuaire Vancouver-Fraser. Programme ECHO : Amélioration de l'observation et de l'habitat des cétacés. <https://www.portvancouver.com/fr/la-protection-de-lenvironnement-au-port-de-vancouver/la-sante-des-ecosystemes-sur-notre-territoire/echo-program/>. Consulté le 10 janvier 2024.

Wavefront Systems (site Web). Vigilant Forward Looking Sonar (FLS) for Crewed Surface. <https://www.wavefront.systems/vigilant-crewed-surface/>. Consulté le 11 janvier 2024.

Wollebaek, Anette Bonnevie. 2014. Envisioning seafaring in 2025. <https://phys.org/news/2014-03-envisioning-seafaring.html>. Consulté le 12 janvier 2024.

Yukinori, Hashino. 2022. Japanese Consortium Ticks Off Autonomous Shipping Milestone. <https://www.nippon.com/en/japan-topics/g02047/#:~:text=A%20recent%20autonomous%20test%20voyage,the%20commercialization%20of%20the%20technology>, consulté le 11 janvier 2024.

Zitterbart, Dan, *et al.* 2023. Mémoire au Comité consultatif maritime canadien : [traduction] « D'un océan à l'autre : Augmenter la capacité de détection des baleines dans l'Atlantique canadien... » (en anglais) (communication privée de Clear Seas). (Rapport final de 2023 <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1207369.pdf>, consulté le 11 janvier 2024.