

Les qualifications d'un opérateur de navire autonome

Loeiz LEPECQ

Mémoire présenté pour l'obtention
du titre de
Master en Sciences Nautiques
à la Hogere Zeevaartschool

Promoteur: Christophe SENSEN

Année académique 2024-2025

Avant-propos :

Ce mémoire constitue la pièce finale pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences Nautiques à la Haute École de navigation d'Anvers.

Le mémoire « Les qualifications d'un opérateur de navire autonome » vous est présenté en accord avec les connaissances accumulées lors de mon curriculum, autour d'interviews de professionnels et de professeurs spécialisés en la matière des navires autonomes, d'enquête auprès élèves du département pont de l'AMA et de cours reçus lors du programme 'Erasmus plus' organisé avec l'université de Zadar, Croatie, l'université polytechnique de Barcelone, Espagne et l'université USN, Norvège, et soutenu par l'Europe.

Ce mémoire dévoile le rôle d'un opérateur et sa formation nécessaire à travers les enjeux futurs de la marine marchande car l'émergence des technologies est rapide et le monde des navires autonomes devient de plus en plus présent. Il parle de la relation entre un opérateur de navire et les systèmes d'automatisation.

Merci à mon promoteur et mon cher professeur Christophe Sensen pour m'avoir proposé ce sujet de mémoire. Je souhaite remercier Philippe De Varenne, Loïc Gin et Christophe Kleinmann pour leur temps accordé afin de réaliser ces interviews.

Merci à l'AMA d'avoir participé et organisé ce programme erasmus plus, ainsi que tout les professeurs y ayant prit part et partagé leur savoir, Cristina Campos Toresano, Klaas De Hert, Dirk Van Rooy, Marin Maricic, Commandant Saroukanoff, Geerts Potters et Marko Valčić.

Je remercie ma mère, cette aventurière inarrêtable qui m'inspire depuis des années et avec qui je partage de nombreuses conversations intéressantes, tout particulièrement pour sa force d'âme et sa volonté de partage et d'échange d'idée qui favorise la créativité au quotidien. Je remercie Jesus Castano Alvarez pour m'avoir soutenue au long de ce processus. Je souhaite également exprimer ma gratitude à ma mère pour sa relecture et pour son audace qui m'inspire, à Amal Marogy et Michel Esparza pour leurs conseils méthodologiques, à Marianne Schnackers pour m'avoir glissé à l'oreille le nom de 'Seafar', à Alex Christie Rousseau pour ces sources pertinentes et ces conseils de rédaction d'introduction, à Gabrielle Chabert pour sa relecture, à mon oncle, mes grands-parents et à mon père pour m'avoir partagé sa passion de la mer.

Résumé :

Les rapides progrès technologiques nous mènent vers une autonomie et une automatisation des navires grandissante et vers de nouveaux métiers.

L'opérateur de MASS est responsable de la bonne navigation d'un navire à distance, depuis la terre ou depuis un autre navire. D'abord, ce sujet informe le lecteur sur le rôle d'un opérateur et détail les instruments avec lequel il travaille au quotidien ainsi que les limites techniques et administratives actuelles de son métier. Puis, l'analyse des tâches quotidiennes et des challenges de son environnement de travail nous mènent aux compétences et connaissances, qualifications requises pour effectuer ce métier afin d'y développer les bonnes formations.

Abstract :

Rapid technological advances are leading us toward the advancement of greater ship autonomy and automation, and toward new professions.

The MASS operator is responsible for the proper navigation of a ship remotely, whether from land or from another vessel. First, this article informs the reader about the role of an operator and details the instruments they work with daily, as well as the current technical and administrative limitations of their profession. Then, an analysis of the daily tasks and challenges of their work environment leads us to the skills, knowledge, and qualifications required to practice this profession, enabling us to develop appropriate training.

TABLES DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS :	I
RÉSUMÉ :	I
ABSTRACT :	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS	IV
INTRODUCTION	1
1 LE RÔLE DE L'OPÉRATEUR	3
1.1 Description du métier de l'opérateur	6
1.1.1 Les niveaux d'autonomies et l'opérateur	7
1.1.2 L'enveloppe opérationnelle	9
1.1.3 Les fonctions de l'opérateur lors de la navigation	10
1.1.4 Connaissance situationnelle	13
1.2 Les instruments de l'opérateur	15
1.2.1 Les instruments à bord	15
1.2.2 Les instruments à terre	16
1.2.3 Les différents acteurs	17
1.2.4 Les risques de dysfonctions et solutions back-up	18
1.3 Le cadre réglementaire	19
1.3.1 Convention des Nations Unies sur le droit de la mer	20
1.3.2 L'Organisation Maritime Internationale	21
1.3.2.a SOLAS	22
1.3.2.b Codes ISM et ISPS	22
1.3.2.c RIPAM	23
1.3.2.d STCW	24
1.3.3 Les normes privées du transport maritime	26
1.3.4 Le cadre assurantiel	26
1.3.5 Concept d'opération (ConOps)	27

2 LES CHALLENGES DE L'OPÉRATION DES MASS	30
2.1. Organisation des Remote Operation Centers (ROC)	33
2.2 Les spécialités de la navigation des MASS	36
2.2.1 Dynamic Positioning Operator	36
2.2.2 Un spécialiste du RIPAM	37
2.3 Automatisation et IA	37
2.4 Les challenges de la relations homme – machine.	39
2.4.1 La nécessité du jumeau numérique	39
2.4.2 Human-in-the-loop and human-out-of-the-loop	40
2.4.3 La communication	43
3 SUGGESTIONS DE FORMATION	45
3.1 Enjeux du recrutement et profils recherchés	45
3.2 Formation des opérateurs fluviaux	46
3.2.1 Etude de cas de chez Seafar	46
3.2.2 Formation des conducteurs fluviaux actuels	48
3.2.3 Formation passerelle de la marine marchande au fluvial	49
3.3 Developper les soft skills et la communication des étudiants et opérateurs	51
3.4 Les formations existantes	52
3.4.1 Antwerp Maritime Academy	52
3.4.2 Université de Zadar	64
3.4.3 Novia in Finland	65
3.4.4 Seabot	66
CONCLUSION	68
BIBLIOGRAPHIE	71

Liste des figures

Figure 1 : Figure 1 : Organisation du SCC chez Seafar

Figure 2 : L'opérateur à son poste de travail

Figure 3 : Découpage des tâches d'opérations

Figure 4 : La taxonomie psychomotrice, schéma adapté

Figure 5 : Processus de formation d'opérateur

Figure 6 : Organigramme des départements de l'école supérieur de navigation d'Anvers

Figure 7 : Photos du simulateur de l'école norvégienne, campus Vesthold

Liste des tableaux

Tableau 1 : Interventions de l'opérateur en fonction des modes opératoires

Tableau 2 : Niveaux d'autonomie, schéma adapté

Tableau 3 : Les tâches de l'opérateur suivant les niveaux d'autonomie

Tableau 4 : Schéma d'Endsley adapté

Tableau 5 : Avantages et inconvénients de la formation par suivi oculaire

Liste des abréviations

AIS : *Automatic Identification System*

AMA : Antwerp Maritime Academy

CMOROC : *Competences for MASS Operators in Remote Operations Centers*

DA : Degré d'autonomisation

EMSA : *European Maritime Safety Agency*

EVP : Equivalent vingt pied

IA : Intelligence artificielle

ISPS : *International code for Ships and of Port facilities Security*

LiDAR : Light Detection and Ranging

MASS : *Maritime Autonomous Surface Ship*

NSE : Navire sans équipage

RIPAM : Réglementation International de la Prévention des Abordages en Mer (COLREG en anglais)

ROC : Remote Operation Center

SCC : Shore control center

STCW : *Standard Training, Competencies and Watchkeeping for seafarers* : Formation standard, compétences et veille pour les gens de mer

USV : *Unmanned Surface Vessel* : Navire de surface sans équipage

Introduction

A la suite de la rédaction de RSE qui identifiait les potentiels problematiques sur les MASS, l'IMO finalise les premières recommandations qui seront le contenu du MASS Code. Dans un deuxième temps, ce dernier sera testé pour être validé et normalisé à l'échelle internationale. L'objectif premier du MASS Code est de suppléer d'autres documents comme le code STCW, SOLAS, les codes ISPS et ISM, MARPOL, le RIPAM...etc dans l'attente des modifications de ces derniers. Ce code est destiné à être holistique, orienté vers des objectifs et concret au niveau fonctionnel, sans mentionner les marques de technologies particulières. Cette rédaction est essentielle pour définir des termes majeurs, tel que le MASS lui-même.

Il sera bien plus complexe de programmer une IA pour piloter un navire qu'une IA pour conduire une voiture puisque dans le ce second cas, les règles de la route sont bien précise et définient alors que le RIPAM est remplie de terme assez vague faisant référence au bon sens marin et à l'expérience du marin, cela laisse trop de place à beaucoup d'interprétation. Comme nous pouvons le voir dans le travail de Pierre Duhot, ce sont spécifiquement les règles 2 et 5 qui posent le plus de problèmes. La règle 2 implique la responsabilité des deux navires lors d'une collision et un pourcentage répartissant les responsabilités qui correspondra aux pourcentage de frais des assurances des lors d'un accidents entre 2 navires. De plus, des termes comme 'appréciation'

Des projets autonomes se développe tout de même grâce à des nouvelles règles nationales ou des sociétés de classification comme DNV qui établissent et appliquent les normes et standards techniques afin de garantir la bon exploitation du navire.

Redefinissions quelques termes techniques centraux clairement avant de commencer l'investigation pour éviter les confusions.

- Automatisation : Lorsque des actions anciennement réalisées par un humain sont exécutée par une unité de contrôle.
- Autonomie : Le navire peut opérer indépendamment de l'homme.

- Automatique : une chose qui sous certaines conditions peut fonctionner sans intervention humaine.
- Autonome : Le navire ou quelques unes des ces fonctions sont conçues pour être contrôlée par l'automatisation, sans assistance humaine.

L'une des préoccupations principales liés aux développements des MASS est la question des certifications afin d'attester que le bon déroulement des opérations et les compétences des professionnels. Ainsi l'EMSA a contracté DNV GL pour créer un outil d'évaluation basé sur les risques (RBAT) et un logiciel pour MASS facilitant le travail des administrations des États membres de l'UE dans l'analyse et l'approbation des conceptions préliminaires de MASS.

Peut-être est-il nécessaire de rappeler que le développement de navire autonome s'accorde si et seulement si il contribue à l'accomplissement des objectifs fixé par l'OMI

1 Le rôle de l'opérateur

Le rôle de l'opérateur est principalement déterminé par le degré d'autonomie du navire, selon les classifications établies par l'OMI ou Lloyd's Register.

Les quatre degrés d'autonomie de l'IMO peuvent être rappelés ici :

Degré 1 : Le navire dispose de processus automatisés et d'aide à la décision.

Degré 2 : Le navire est opéré depuis la terre pour la plus part des opérations mais quelques marins demeurent à bord comme filet de sécurité.

Degré 3 : Le navire est opéré à distance et sans membres d'équipages à bord.

Degré 4 : Le navire entièrement autonome est opéré indépendamment sans intervention humaine.

Cependant la grande diversité des projets autonomes ne permet pas toujours de classer facilement un navire dans une catégorie. Ainsi DNV, professionnel de la réglementation maritime, société de classification préfère parler de dimensions autonomes d'un navire selon :

- les fonctions autonomes du navire,
- la localisation,
- l'autonomie des systèmes,
- la responsabilité du navire.

Plus un système est autonome, moins l'intervention humaine est requise.

Afin de détailler et clarifier ce propos, DNV adopte 4 modes d'opérations qui contrairement à d'autres catégorisations un peu moins récentes qui ne définissent pas la localisation de l'opérateur, ce qui permet de se concentrer uniquement sur les tâches qu'il effectue :

- télé-opération

- le support de décision
- l'autonomie supervisé
- l'autonomie totale.

Téléopération	Support de décision	Autonomie supervisée	Autonomie totale
Le système de téléopérage procure la conscience de l'environnement du navire (ou voir la définition de situation awareness) et le contrôle à l'opérateur.	Le système de téléopérage fournit des conseils à l'opérateur.	Le système de commande à distance opère des fonctions et informe l'opérateur des actions planifiées.	Le système de télécommande automatique opère les fonctions du navire en autonomie totale.
L'opérateur opère entièrement.	L'opérateur décide d'accepter ou de faire autre chose que ce que lui suggère le système.	L'opérateur agit comme une assurance qualité et peut annuler les actions planifiées du système.	L'opérateur accède à une vue générale des actions planifiées par le système et peut intervenir lorsque cela est jugé nécessaire.
L'opérateur peut intervenir et gérer les situations anormales ou urgences dans tout les modes d'opération.			

Tableau 1 : Interventions de l'opérateur en fonction des modes opératoires

Source : Adapté de DNV power point webinar.

Dans ce tableau, la différence entre 'autonomie totale' et 'autonomie supervisée' réside dans l'existence de limitations du système ou non, qui requiert une présence humaine capable de prendre la main lorsque le système atteint ces limites ou lors d'une situation d'urgence. L'humain sert de système de secours dans le cas de l'autonomie supervisée. L'autonomie totale effectue toutes les opérations normales, l'humain est seulement présent/appelé en situation d'urgence.

Ainsi, nous remarquons que lorsque l'opérateur travaille avec un système de support à la décision ou dans un contexte à plus forte autonomie, plusieurs qualités sont essentielles. Il doit faire preuve d'un esprit critique. Il doit avoir une réelle capacité de proposition. Il doit également savoir résister à l'influence des suggestions automatiques. Ces qualités sont majeures. Elles déterminent sa capacité à être un bon opérateur.

Actuellement DNV développe le système de notation AROS qui permet d'évaluer les risques et d'assurer chaque projet d'innovation, même s'il ne rentre pas dans un des 4 niveaux standards IMO puisque cela n'est pas réaliste de par la diversité des projets, de fonctions certaines fonctions qui seront rendues autonomes ou pas, de la zone géographique d'opération.

Nous constatons que le rôle de l'opérateur est plus dépend des fonctions autonomes du MASS en question et de l'organisation de son ROC, ce qui nous amène à devoir détailler différents challenges suivant les situations afin de pouvoir reconnaître les besoins de formation. L'abréviation ROC est aujourd'hui couramment utilisé dans la recherche, parfois aussi appelé RCC pour *remote control center* ou SCC pour *shore control center* ces deux dernières seront probablement celles gardées au long terme puisque l'abréviation ROC est déjà utilisé dans le milieu maritime pour radio operation officer.

1.1 Description du métier de l'opérateur

L'opérateur, au sens littéraire du mot, est la personne qui contrôle le navire et veille à sa bonne navigation. En pratique, l'officier de quart est à bord et l'opérateur travaille à terre. Parfois, des membres d'équipages sont encore présents à bord.

Actuellement, le nombre de personnes ayant cette profession est minime. Seulement quelques démonstrations ont été réalisées, comme le VN Rebel par Seaowl en 2020.

Il est important de différencier les drones marins des navires autonomes. En France l'utilisation du terme 'drone marin' est devenue plus commune dû à l'introduction de la loi Leroy (*loi Leroy pour l'économie bleue*, 2016). Cette loi permet aux navires de moins de 24 mètres, considéré comme des navires accessoires d'un autre, d'être piloté à distance. Certaines industries comme celle de l'automobile visent à une totale autonomie de leurs véhicules, alors que l'industrie maritime s'attend à répartir les tâches entre humains et technologies. Dans une situation complexe, comme un risque de collision, il est impossible de prévoir comment va réagir un humain à la tête d'un autre navire, ce qui rend inacceptable la programmation de système sans une surveillance humaine derrière.

Ce mémoire traite l'opérateur en tant que personne humaine et professionnelle.

Le concept du NSE navire sans équipage est déterminé par 3 domaines :

- Les capteurs recevant des données sur l'environnement du navire
- Le système d'analyse de données permettant la navigation autonome. Il met en relation les données et calcule la trajectoire
- Le système de télé-opération permettant à l'opérateur de communiquer à distance avec le navire et de prendre le contrôle sur le navire si nécessaire.

La différence entre un navire téléopéré et un navire autonome ou partiellement autonome est plus subtile.

Exemple de navire téléopérés : le VN Rebel de Seaowl (« SeaOwl », 2020).

Exemple de navire autonome : le Yara Birkeland (*Yara International*, 2018), le premier navire entièrement électrique et autonome avec une capacité de 120 EVP dans les eaux européennes.

Ainsi, nous observons dans la première sous-partie suivante les subtilités qui déterminent le niveau d'autonomie d'un navire et les tâches de l'opérateur qui y sont reliées.

1.1.1 Les niveaux d'autonomies et l'opérateur

Le rôle de l'opérateur est totalement dépendant du niveau d'autonomie et d'automatisation du navire. L'automatisation se définit par un équipement qui, dans des conditions spécifiées, peut fonctionner sans intervention humaine (*Autonomy Artificial Intelligence and Robotics*, 2019).

On comprend le besoin de surveillance humaine en cas de situation complexe. À la différence, l'autonomie a besoin de l'automatisation. L'autonomie n'existe que lorsque le système opère sans l'aide d'assistance humaine comme le dit Jenay M. Beer (Beer, 2014). Ainsi le métier d'opérateur s'inscrit dans un cadre intimement lié à l'automatisation.

Les navires autonomes peuvent être distingués en deux grandes catégories : les navires opérés depuis le bord et ceux contrôlés depuis la terre. L'OMI classe les navires selon 4 degrés d'autonomie (OMI, 2020) :

1) Navire doté de processus et d'une aide à la décision automatisés :

Des navigateurs se trouvent à bord du navire d'où ils exploitent et commandent les systèmes et fonctions de bord. Certaines opérations peuvent être automatisées.

2) Navire commandé à distance avec du personnel embarqué :

Le navire est commandé et exploité à partir d'un autre endroit, mais des navigateurs sont à bord.

3) Navire commandé à distance sans personnel embarqué :

Le navire est commandé et exploité à partir d'un autre endroit. Il n'y a pas de navigateurs à bord.

4) Navire complètement autonome :

Le système d'exploitation du navire est en mesure de prendre des décisions et de les déterminer de lui-même.

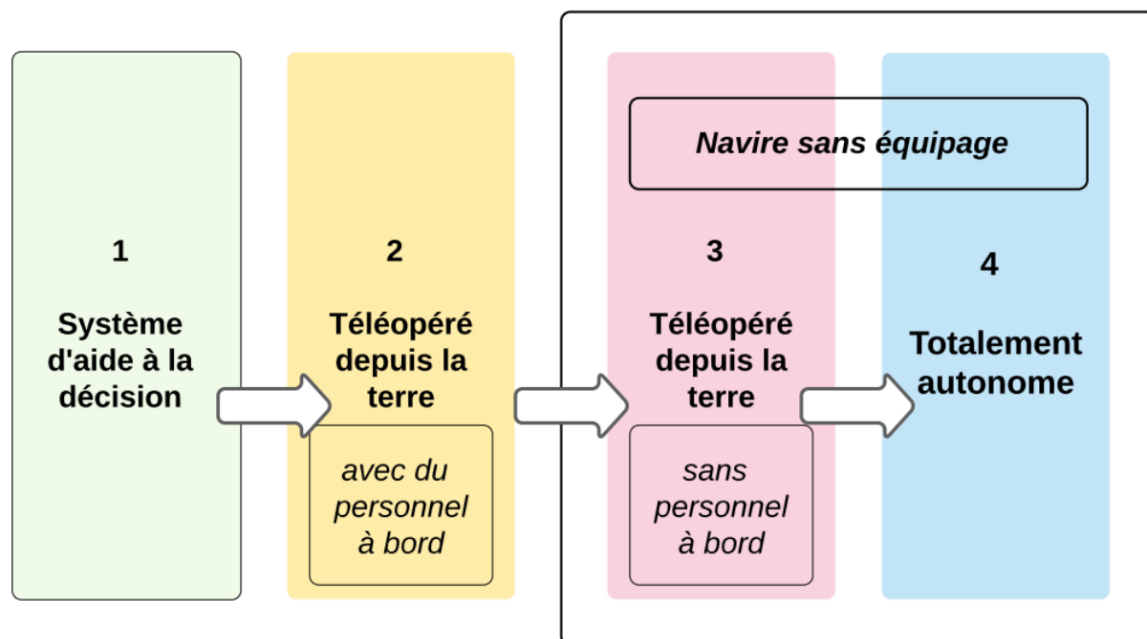


Tableau 2 : Niveaux d'autonomie, schéma adapté

Source : (Zhou, 2019)

Le niveau 1 défini par l'OMI est celui qui contient le moins d'automatisation et qui requiert le plus d'assistance humaine. A l'inverse, le niveau 4 est le plus agrémenté d'automatisation, il requiert très peu d'attention humaine. Le métier d'opérateur n'est donc pas le même suivant le degré d'automatisation du navire opéré. Il est admis selon l'article de Rødseth (Rodseth, 2021) que l'humain gardera toujours un œil sur les systèmes d'automatisations même si l'espace de temps entre les multiples vérifications humaines est très long car éthiquement et/ou philosophiquement, peu importe le degré d'autonomie, l'humain souhaite toujours garder le contrôle de ces navires. Cela implique la capacité de l'humain à reprendre le contrôle en cas d'urgence et également une surveillance régulière déterminée en fonction des besoins de l'automatisation et de l'éthique. Ainsi, même les navires les plus autonomes nécessiteront toujours le besoin de surveillance d'un opérateur.

Le MSC Comité de la sécurité maritime (OMI, 2020) précise qu'au cours d'un même voyage, un navire peut être catégorisé sous plusieurs degrés d'autonomie suivant les différentes étapes. Ainsi, n'importe quel navire répondant au degré 2, 3 ou 4, pendant un moment

donné de son voyage nécessitera l'assistance d'un opérateur. Ce mémoire étudiera les opérateurs des navires avec et sans membres d'équipages à bord.

Cependant, comme DNV (Kurtinaitis et al., 2025) le considère et l'exprime, il y a une telle diversité de projet de navire autonome qu'il est impossible de les inclure dans ces standards de niveaux d'autonomie. Ils préfèrent parler de dimensions ou de modes. Ils ségrègent en quatre aspects puisqu'un navire peut avoir une ou plusieurs fonctions autonomes, différents types de systèmes autonomes, multiples localisations et différents degrés ou forme d'implications humaines :

- fonctions du navire
- système autonome
- localisation
- implication humaine

Mise à part ces niveaux d'autonomie établies par l'OMI et le lancement de la rédaction du Code MASS, les entreprises qui design et opèrent des navires autonomes font face à un désert législatif qu'elles comblent par la rédaction d'un document appelé enveloppe opérationnelle.

1.1.2 L'enveloppe opérationnelle

L'enveloppe opérationnelle se définit par « les conditions spécifiques et le scénario sous lequel un système de navire autonome est conçu pour fonctionner » (Rødseth et al., 2021). Elle varie suivant le niveau d'autonomie du navire, c'est pourquoi il est nécessaire de la définir pour chaque NSE navire sans équipage ou pour des navires ayant un équipage inférieur au minimum requis usuel. C'est l'enveloppe opérationnelle qui définit si un navire est téléopéré (autrement appelé couramment en *remote control*) ou semi-autonome/autonome. Par ailleurs, l'enveloppe opérationnelle doit couvrir toutes les phases d'opérations d'un voyage entre un port A et un port B. L'article publié par Autoship (Wennergren & Nordahl, 2019) divise le processus de système du navire en opérations, fonctions, tâches et sous-tâches.

L'enveloppe opérationnelle définit le scénario opérationnel dont dépendent les fonctions de l'opérateur. Le scénario opérationnel englobe le scénario d'appairage et y détaille spécifiquement la manière de communication entre l'opérateur et le navire. Cependant ces scénarios doivent être approuvés au cas par cas pour chaque navire car il n'existe pas encore de réglementations standardisées.

Alors, l'enveloppe opérationnelle permet de répartir les responsabilités entre humain et automatisation, comme le propose la conclusion de l'article « Analysing supply chain phases for design of effective autonomous ship technology in new transport system solutions » (Rodseth et al., 2020).

Grâce à l'enveloppe opérationnelle l'opérateur peut donc aujourd'hui commencer à travailler.

1.1.3 Les fonctions de l'opérateur lors de la navigation

La question qui se pose est la suivante. Quelles sont les différences entre un officier de quart à bord et un opérateur à terre ?

Il en va du bon sens que l'opérateur à distance allié à l'automatisation doit obtenir le même résultat que lorsqu'un équipage est à bord. C'est-à-dire que la sécurité et la bonne navigation du navire doivent être garantis en toutes circonstances, comme standard minimum. Évidemment, puisque nous tendons toujours vers le progrès et l'amélioration, réduire le facteur humain et obtenir moins d'incidents est un vrai objectif.

Christophe Kleinmann est chef de projet chez Seafar, une entreprise qui effectue de la navigation téléopérée/autonome et qui vend du matériel afin que d'autres puissent le faire également (annexe 2). Il nous explique que Seafar a fait le choix de séparer le métier de l'officier de quart en deux rôles, avec premièrement celui de contrôleur de trafic '*traffic controller*', puis celui de l'opérateur. La configuration de l'officier seul à sa passerelle semble alors dénaturée et transformée. Grâce aux systèmes informatiques, l'automatisation fait une grande partie de la navigation en autonomie.

Le contrôleur de trafic peut surveiller une petite dizaine (au maximum selon leur logiciel) de navire en même temps et veiller à leur bonne navigation. Lorsque le contrôleur de trafic

remarque le besoin de reprise de contrôle d'un navire, il confie le navire à un opérateur disponible. Ainsi, l'opérateur prendra le contrôle d'un navire spécifique qui en a le besoin à l'instant t. Il prend le contrôle du navire et effectue les manœuvres et changements de route nécessaires.

Seafar a pris partit de placer ces deux professionnels dans la même pièce au sein de ce qu'on appelle un centre de contrôle ou plus communément un *SCC shore control center* comme illustré sur le schéma suivant.

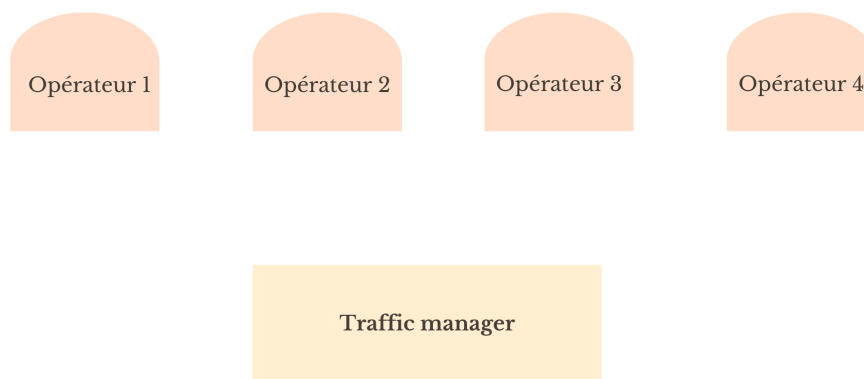


Figure 1 : Organisation du SCC chez Seafar

Source : propre travail

En s'inspirant de la méthode de l'article issue de la 39ème conférence internationale sur l'ingénierie océanique, offshore et arctique (Rodseth et al., 2020) et en s'inspirant des tâches de leur tableau 5, la liste des tâches qu'un opérateur doit réaliser pendant la navigation suivant le degré d'autonomie du navire et d'après les fonctionnements des entreprises actuelles est résumé dans le tableau suivant.

Dans le tableau à suivre, même si les navires deviennent de plus en plus autonomes, les tâches restent les mêmes, elles sont seulement exécutées par l'automatisation prenant le rôle de l'opérateur ou par l'opérateur lui-même. Les cases cochées correspondent aux tâches que l'opérateur doit encore réaliser aujourd'hui. Il est évident que ce tableau pourra évoluer dans le temps suivant les développements technologiques et les réglementations.

Etapas du voyage	Taches	Niveaux d'autonomie			
		1	2	3	4
Navigation	planification du voyage	✓	✓	✓	✓
	suivre une route	✓			
	connaissance situationnelle	✓	✓	✓	✓
	éviter des obstacles	✓	✓	✓	
	communiquer avec les autres	✓	✓	✓	✓
Passer une écluse	prévenir l'opérateur de l'écluse 30 min en avance	✓	✓	✓	✓
	prévenir à l'arrivée du navire	✓	✓	✓	✓
	vérifier si l'écluse est prête	✓	✓	✓	✓
	attendre	✓	✓	✓	✓
	le navire entre/sort dans l'écluse	✓	✓	✓	✓

Tableau 3 : Les tâches de l'opérateur suivant les niveaux d'autonomie

Source : propre travail

Lorsqu'un navire s'autonomise la liste des tâches de l'opérateur se réduit puisque l'automatisation du navire permet de suivre une route. L'évitement d'obstacle peut être systématisée, comme en témoigne M. De Varenne dans l'annexe 3 mais elle est encore quasiment toujours réalisée par une télé-opération à distance pour l'instant, comme chez Seafar (annexe 2). La planification de route ne peut être effectuée par l'automatisation et comme nous l'avons discuté avec M. De Varenne (annexe 3) puisque l'opérateur est l'expert et le responsable navigation, il reste chargé de dérouter un navire si un trop mauvais temps se prévoit sur son itinéraire.

La connaissance situationnelle autrement dit la perception de l'état du navire dans son environnement est en partie remplacée par le système autonome du navire. En revanche, peu importe le degré d'autonomie, un opérateur devra toujours garder une certaine connaissance situationnelle.

Ainsi, les tâches restantes à sa charge relèvent du domaine de la navigation pure :

- Planification ou modification de l'itinéraire
- Connaissance situationnelle
- Éviter des obstacles
- Communiquer avec les navires alentours

La connaissance situationnelle se traduisant à bord par : une veille visuelle et la prise de conscience de l'environnement du navire, est la tâche principale de l'opérateur avec la planification/modification d'itinéraire.

Les fonctions de l'opérateur lors de la navigation se résument à la planification et à la modification d'itinéraire ainsi qu'à la connaissance situationnelle, ce qui signifie effectuer la veille visuelle afin d'avoir conscience de l'environnement de navire et pouvoir prendre les bonnes décisions.

1.1.4 Connaissance situationnelle

La *Situational awareness* est un terme fréquemment utilisé dans la littérature scientifique sur les navires autonomes qui est traduit ici comme la prise de conscience et la perception de la situation, l'évaluation de la situation ou la connaissance situationnelle.

La venue des premiers tests des navires autonomes a fait surgir la crainte d'une diminution de la sécurité de la navigation et d'une moins bonne évaluation de la situation en temps réel. Il est clair et primordial que les navires autonomes doivent conserver le même niveau ou un niveau supérieur de sécurité que celui des navires traditionnels. C'est pourquoi, la capacité d'évaluation de la situation est la compétence première d'un opérateur car la moindre mauvaise interprétation a des conséquences sur les décisions qui sont prises.

L'article du TransNav (Zhou, 2019) propose un nouveau modèle quantitatif de l'évaluation de la situation des navires semi-autonomes.

Dans le tableau 3 ci-dessous, en jaune sont les tâches humaines, puis (Endsley, 1995) dissèque la connaissance situationnelle en trois niveaux distincts (rectangles blancs dans le jaune), du plus basique au plus élaboré. Ces trois niveaux renvoient à la capacité de l'opérateur de percevoir les éléments extérieurs, de les comprendre et d'anticiper leurs potentielles actions futures.

D'après ce schéma adapté ci-dessous, le rôle de l'opérateur se limite à la connaissance situationnelle (ou l'évaluation de la situation), pour mener au niveau 3 dont les niveaux 1 et 2 font parties intégrales afin d'aboutir à la prise de décision et à la performance des actions réalisés par anticipation de l'état futur du navire.

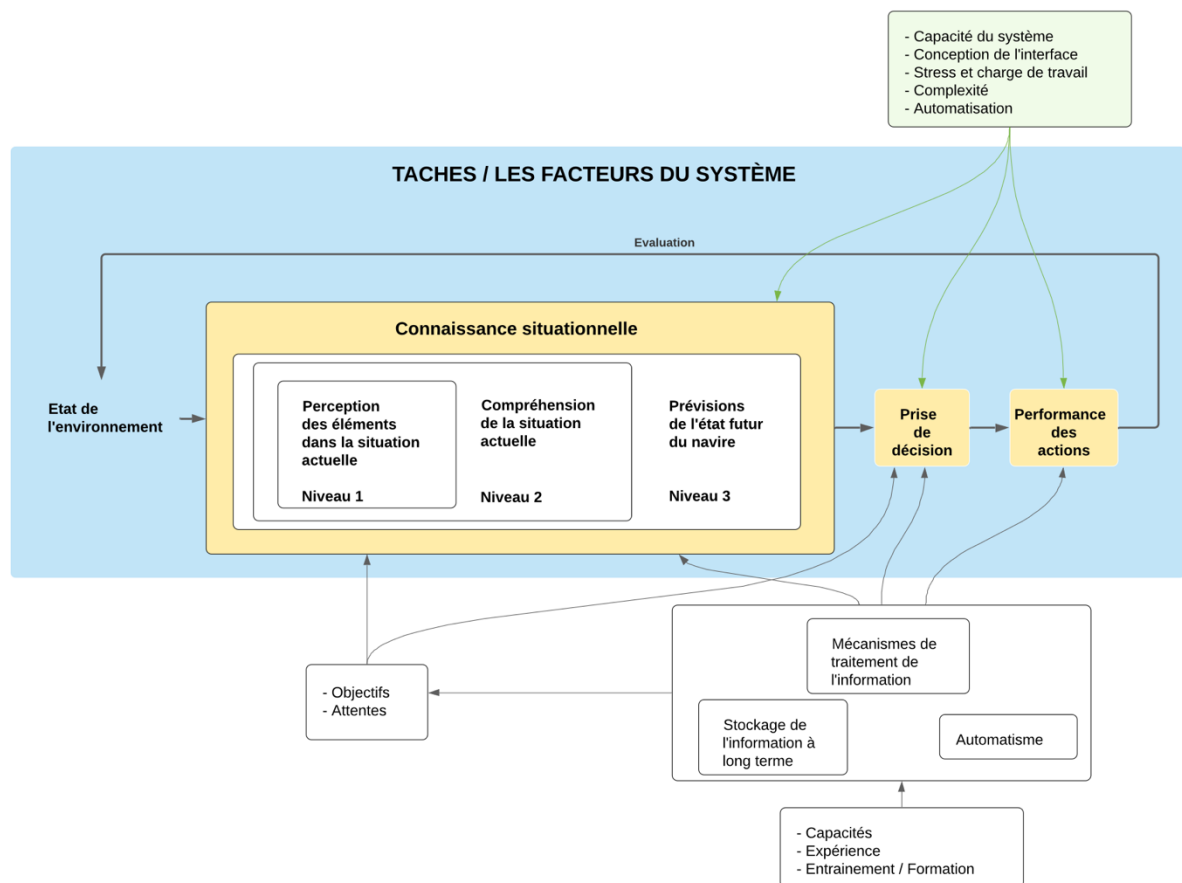


Tableau 4 : Schéma d'Endsley adapté

Source : (Endsley, 1995)

Ce schéma met la lumière sur l'importance d'une conception adaptée des systèmes pour optimiser la performance humaine dans des environnements dynamiques. Tout comme l'humain utilise outils et instruments, il utilise machines, IA, automatisation à ses besoins, ainsi ceux-ci doivent être adaptée à sa convenance, à ces facilités cognitives. Les informations doivent être regroupé et assemblé afin que l'homme l'utilise de manière intuitive et efficace.

Le schéma d'Endsley définit la connaissance situationnelle selon 3 niveaux : premièrement celui de la perception des éléments dans la situation actuelle, puis de la compréhension de la situation actuelle et enfin le niveau de la prévision/anticipation de la situation à venir.

Selon un entretien avec Loïc Gin, commandant du VN Rebel chez Seaowl (« SeaOwl », 2020), le contrôle du navire via caméras est une habitude à prendre pour l'opérateur.

L'impossibilité de ressentir les mouvements du navire peut changer la perception des éléments et donc changer la connaissance de la situation. Cela pourrait être retranscrit par une plateforme ou un siège mobile retransmettant les mouvements. Cependant, la question se pose de savoir si cela n'infligerait pas une déconcentration à l'opérateur.

1.2 Les instruments de l'opérateur

Afin d'assurer la sécurité de la navigation, l'officier de quart ou l'opérateur doit veiller à l'environnement du navire. Pour cela, il lui est nécessaire de bien maîtriser ces instruments. Cependant l'utilisation de ces instruments via la terre nécessite des adaptations. Un navire téléopéré disposera des mêmes instruments et de la même configuration qu'un navire autonome mise à part qu'il n'a pas d'intelligence artificielle puisque l'homme à terre garde un contrôle total et permanent.

Les informations récoltées sur le navire ou l'environnement du navire sont transmises à terre par satellite. De même, si l'opérateur souhaite communiquer par VHF avec les navires alentours, cela passe par satellite.

La suppression de la présence humaine à bord induit des changements de configuration des instruments.

1.2.1 Les instruments à bord

L'élément révolutionnaire transformant le métier de chef de quart en celui d'opérateur se situe à bord et se nomme unité centrale, aussi appelé intelligence artificielle. L'unité centrale permet le regroupement de toutes les informations récoltées par les différents capteurs afin de prendre des décisions par la suite.

Les capteurs extéroceptifs permettent de situer le navire dans son environnement extérieur. Les caméras donnent le moyen de remplacer la veille visuelle. Le chef de projet de chez Seafar nous dit (annexe 2), qu'une barge autonome est équipée d'environ 10 à 16 caméras. Les caméras les plus importantes sont celles avec une vue vers l'avant : une à la

proue du navire, une au-dessus de la passerelle permettant au contrôleur de trafic de rapidement constater une route de collision. Pour l'opérateur les caméras donnant une visibilité sur les côtés et sur l'arrière sont plus utiles aux manœuvres.

Les *lidars* détectant la présence de navire alentours habilite la barge à envoyer des warnings au contrôleur de trafic. Le Radar est aussi un élément primaire de la veille du contrôleur de trafic à distance. L'AIS est évidemment toujours présent.

Des détecteurs de fumées, des sprays ou autres systèmes incendies automatiques sont présent à bord mais ne requiert pas le contrôle de l'opérateur.

1.2.2 Les instruments à terre

A terre, les opérateurs travaillent via un portail web qui remplace le journal de bord, couramment appelé *logbook* électronique. Une fois sur le portail, toutes les informations concernant le trajet du navire sont enregistrées en temps réel. S'il le souhaite l'opérateur peut aussi ajouter manuellement des informations.

En dépit d'un environnement extérieur complètement différent, l'espace de travail de l'opérateur reste similaire à celui de l'officier de quart. Des écrans afin de percevoir les images radars ou les images des caméras sont face à l'opérateur. Il peut communiquer par la VHF aux autres navires via satellite. Face à lui, se trouve aussi les commandes de la barre et de la machine. Seuls la carte papier et le journal de bord papier ont disparus.



Figure 2 : L'opérateur à son poste de travail

Source : (Endsley, 1995)

1.2.3 Les différents acteurs

L'opérateur peut utiliser différents prestataires de service pour réaliser la planification du voyage. Par exemple l'entreprise Seafar, utilise le portail web VisuRIS (Rødseth et al., 2021) qui fournit des services pour optimiser le trafic des voies navigables flamandes ou encore Saildrone's Real-time mission portal évoqué en annexe 3 (Saildrone, 2025).

L'opérateur doit pouvoir avoir des communications avec un VTS vessel traffic service ou un MRCC.

Dans le futur, nous pouvons supposer que les aides à la navigation : bouées, phares, balises...etc., vouées à devenir connectées, surveillées à distance pourront échanger des informations directement avec les navires autonomes et leurs opérateurs (IALA, 2021).

1.2.4 Les risques de dysfonctions et solutions back-up

Le centre de contrôle terrestre, le SCC *shore control center* est uniquement relié au navire par satellite. Il est donc important que celui-ci soit redondant au niveau de l'alimentation et de la réception des informations.

Les risques de pannes à bord sont devancés par des doublures. C'est pourquoi les caméras ayant une vue vers l'avant ou l'unité centrale sont doublées.

Une question à laquelle nous pensons est celle du risque des cyber-attaques. L'utilisation d'un système fiable est primordiale afin d'anticiper une telle situation.

Une certaine latence est évidemment présente. Comme le dit Christophe Kleinmann, chez Seafar celle-ci ne dépasse jamais 0,3 seconde ce qui reste négligeable pour un navire naviguant à 8 nœuds. Les questions qui se posent sont : A partir de quelle vitesse, cette latence devient significative, et est-ce que celle-ci peut augmenter avec la météo ? En réponse à une latence significative, risquant de mettre en danger le navire, l'opérateur devra ralentir la vitesse du navire. Cependant d'après les essais de l'entreprise Sea Proven (annexe 3) la latence ne semble jamais être un réel problème si l'anticipation est bonne.

Des interférences sont-elles possibles ? D'après Monsieur Kleinmann (annexe 2), cette éventualité est quasi impossible, alors que Loïc Gin (annexe 1) évoque la possibilité qu'il y est des perturbations de la propagation du signal ce qui aurait pour conséquences d'augmenter la latence. Cela peut être anticiper avec les prévisions météorologiques ou adapté par des systèmes de multiplexage (annexe 3, p. 57) ou l'utilisation de constellation plus basse à l'avenir.

Cependant, de manière générale, ces systèmes récents et innovants fonctionnant bien à l'heure actuelle ne nous permettent pas d'avoir assez de recul sur toutes les situations possibles.

De part ces nouveaux instruments de travail, le métier de l'opérateur s'éloigne un peu de la navigation pour se rapprocher des instruments informatiques permettant la programmation et la télé-opération, comme le dit Monsieur de Varenne dans l'annexe 3.

1.3 Le cadre réglementaire

Le droit maritime renvoie à des normes nationales, régionales et internationales. Anaïs Chesneau (Chesneau, 2017) détaille le contenu des différentes conventions et explique ce qu'elles impliquent et sous entendent. Actuellement la navigation sans équipage est considérée comme illégale car un navire doit être doté d'un équipage suffisant et compétent. Cependant l'émergence des NSE force la modification du droit maritime afin de les réglementer sous un cadre légal clair. C'est pourquoi des entreprises comme Seafar ont recouru à des cadres législatifs exceptionnels et temporaire des gouvernements et affaires maritimes.

Le métier de l'ONSE opérateur de navire sans équipage étant entièrement dépendant des réglementations des NSE, cette partie se concentrera principalement sur le cadre réglementaire des NSE.

Les projets AAWA et MUNIN réalisant jusqu'ici leurs essais en eaux territoriales afin de bénéficier des autorisations, ont pour objectif de s'étendre à la navigation en eaux internationales.

Le cadre législatif actuel n'évoque pas les NSE. Un navire autonome n'est pas conventionné suivant le cadre de la réglementation classique maritime. Les essais nécessitent des demandes de dérogations exceptionnelles aux affaires maritimes.

1.3.1 Convention des Nations Unis sur le droit de la mer

La convention des Nations Unis sur le droit de la mer est une convention universelle ratifiée par 167 pays. Cette convention précise les droits et obligations de chaque état sur les navires d'après leur pavillon. Tout d'abord la convention n'exclut pas les NSE donc on considère que celle-ci peut s'appliquer à tous les NSE, peu importe le degré d'autonomie, opéré à distance ou totalement autonomes. Dans l'article 94, la convention renvoie aux normes internationales et poursuit en faisant référence à l'équipage du navire. Il est mentionné que tout état :

« Exerce sa juridiction conformément à son droit interne sur tout navire battant son pavillon ainsi que sur le capitaine, les officiers, et l'équipage pour les questions d'ordre administratif, technique et social concernant le navire. »

On se demande alors si l'exercice de la juridiction du pavillon sur l'équipage et le capitaine aura vocation à s'appliquer de la même manière sur l'opérateur.

A la suite de cette citation la présence d'un équipage minimum requis est évoquée. Il serait nécessaire que la communauté internationale s'entende à dire que les centres de contrôle à terre et les opérateurs du NSE constituent un équipage suffisant et que les capacités technologiques du NSE garantissent une meilleure compétence de l'équipage.

A l'heure actuelle, les essais se réalisent en eaux territoriales pour éviter la non-conformité des NSE avec les réglementations étrangères.

Cependant, en dehors des eaux territoriales, un navire n'est pas seulement soumis à l'autorité de son état pavillon. Ainsi, les autorités des états côtiers peuvent constituer une menace. Dans l'attente d'adaptations du droit maritime afin de prendre en compte les NSE, chaque état est libre d'établir ses propres réglementations. Face à ce potentiel danger, l'article 17 donne le droit aux NSE à un passage inoffensif, c'est-à-dire si le passage ne porte pas atteinte à la paix, aux bons ordres ou à la sécurité.

La convention des Nations Unis sur le droit de la mer ne constitue pas de véritable obstacle à l'exploitation de NSE mais les autorités nationales pourraient limiter leur passage en eaux territoriales.

Le statut juridique d'un opérateur à distance n'est pas déterminé. L'article 94 4. b) précise que

« Tout navire est confié à un capitaine et à des officiers possédant les qualifications voulues »

Or un officier chargé de la navigation à terre a toutes les « qualifications et compétences voulues » puisque dans le contexte des navires autonomes les qualifications des marins sont en évolution.

L'article 98. 1) sur l'obligation de porter assistance suppose à première vue un équipage à bord mais laisse la possibilité de l'interpréter « dans la mesure du possible ». Afin de définir clairement les responsabilités de l'opérateur, une actualisation de l'article serait nécessaire.

Toutefois, l'OMI étant plus précise pourra éventuellement constituer un obstacle au concept du NSE et donc au métier d'opérateur à distance.

1.3.2 L'Organisation Maritime Internationale

L'OMI est un organisme mondialement reconnu pour assurer l'uniformité des normes de sécurité, sûreté, performance environnementale du transport maritime international.

Actuellement, l'IMO n'est pas encore revenue sur la citation que l'on trouve dans le rapport de la 100ème réunion du MSC, en décembre 2018 : « Bien que les navires autonomes et commandés à distance soient actuellement mis à l'essai, les gens de mer restent pour l'instant indispensables pour assurer la sécurité de la navigation maritime. »

L'IMO s'est lancé dans la rédaction du MASS Code qui est en cours. Nous espérons en savoir plus à ce sujet, lors de leur prochaine réunion en été 2025.

1.3.2.a SOLAS

La Convention SOLAS en matière de sauvegarde de la vie humaine en mer est la plus importante.

Elle s'applique aux navires de plus de 500 tonneaux de jauge brute et voyageant à l'international. La résolution 14 du chapitre V de cette convention constitue la principale barrière car elle requiert qu'un navire dispose d'un équipage minimum. Sur le court terme un équipage réduit peut répondre à ce cadre mais sur le long terme ce cadre légal est un obstacle au développement des NSE. Déterminer si le personnel à terre peut être suffisamment qualifié en prenant en considération l'équipement technique et le degré d'automatisation, comme spécifié dans les annexes 2 1.1.3 et 1.1.4 de la résolution A.890(2), devient primordial. Une modification de ces règles inadéquates pour le développement des NSE est faisable puisque l'OMI a déjà modifié la convention SOLAS en réaction aux exigences de sécurité pour les locaux de machineries sans pilote.

1.3.2.b Codes ISM et ISPS

Le Code ISM *International Safety Management* est créé par l'OMI pour répondre au besoin de sécuriser l'exploitation du navire et prévenir les pollutions et est finalement développé pour prévenir des incidents causés par des facteurs humains. Il semble que le code ISM soit le parfait endroit pour détailler et réglementer le métier d'opérateur de navire. De plus, ce code a un large spectre d'application puisqu'il est intégré à la convention SOLAS, chapitre IX, et s'applique à tous les navires de plus de 500 tonneaux. Les nombreux états partisans peuvent aussi contrôler l'application du Code à bord lors d'escale dans leur port même si l'État du pavillon ne participe pas à la convention.

Ce Code impose aux compagnies de mettre en place un système de gestion de la sécurité mais ne précise pas les moyens pour atteindre l'objectif. Les normes actuelles du code ISM sont en bonnes adéquations avec les navires autonomes et le métier d'ONSE puisqu'ils partagent la vocation de minimiser l'erreur humaine.

Le code ISPS (*International code for Ships and of Port facilities Security*) qui comprend une première partie sur les obligations et une seconde partie sur les recommandations, nécessiterait une adaptation à l'avenir.

Afin d'être conforme à ces deux codes, les organisations réalisent régulièrement des audits afin de vérifier officiellement la légitimité des connaissances des officiers et de l'état de leur équipement de travail. On peut donc s'attendre à quelque chose de similaire pour la régulation du métier d'opérateur dans le futur.

Cependant comme discuté avec le Commandant Saroukanoff, l'évolution des critères d'inspections sont fondamentales pour faire évoluer le secteur maritime convenablement avec sa technologie et les bonnes pratiques associées.

1.3.2.c RIPAM

Le RIPAM règlement international pour prévenir les abordages en mer, pouvant être comparé au code de la route de la navigation, liste des règles de conduite afin d'éviter les collisions et de garantir la sécurité en mer.

Le RIPAM s'applique à :

« tous les navires en haute mer et dans toutes les eaux attenantes accessibles aux navires de mer. »

Et la règle 1.1.3 a) n'exclue pas les NSE puisqu'elle définit un navire comme :

« tout engin ou tout appareil de quelque nature que ce soit, y compris les engins sans tirant d'eau, les navions et les hydravions, utilisé ou susceptible d'être utilisé comme moyen de transport sur l'eau »

La règle 2 requiert un jugement humain pour faire face à des situations à risques inattendues qui pourrait nécessiter de s'écarter du règlement. Pour un navire contrôlé à distance, l'opération du navire par l'ONSE est un jugement humain tout aussi efficace grâce aux caméras, lidars, microphones, radars donnant une vision complète de la position du

navire et de son environnement. Cependant, un navire autonome naviguant avec des systèmes préprogrammés ne répond pas à l'exigence d'un jugement humain.

La règle 5 impose une veille visuelle et auditive faisant référence à une intervention humaine.

Cela peut être réalisé par l'ONSE via les caméras et capteurs. Similairement à la règle 2, le jugement humain d'un navire opéré à distance peut être réalisé par un ONSE mais pour les navires autonomes, d'un point de vue objectif, la mise en relation des données récoltées serait plus efficace qu'une perception humaine mais d'un point de vue formel, cela ne correspond pas à la règle.

La règle 6 du RIPAM impose à tout navire de maintenir en permanence une vitesse de sécurité.

Cela implique que l'ONSE ou que le navire autonome ralentisse encore en cas de latence afin que l'opérateur ait le temps de réagir en cas de problème et que la navigation reste sécurisée.

Des ajustements du RIPAM seront nécessaires, ainsi Pierre Duhot nous propose des adaptations et modifications du RIPAM (Duhot, 2021).

1.3.2.d STCW

La résolution 1/14 de la convention STCW 2010 impose un équipage compétent et suffisant, et demande qu'il y ait « à chaque instant une communication orale effective » à bord du navire. Un État peut déclarer inapte à la navigation un navire qui ne répondrait pas à ces dispositions. Ici, il est clairement impossible pour un NSE d'entrer dans ce cadre juridique tant que personne ne se situe à bord.

L'IMO et l'Union Européenne ont publié des lignes directrices pour les essais des MASS *Maritime Autonomous Surface Ship*. De même que Bureau Veritas (*Guidelines for Autonomous Shipping*, 2019) précise qu'un des documents qui doit être soumis est le document des limites opérationnelles aussi appelé *operational limitations document*. Ce

document détail les paramètres auxquelles l'équipage ou l'opérateur doit se référer pour surveiller ou commander le navire.

Les limites opérationnelles sont rédigées sous la responsabilité du concepteur, du chantier naval, du fabricant et du propriétaire. Le document doit contenir des descriptions de toutes les fonctions et de leur degré d'automatisation. Un document sur l'automatisation des systèmes doit aussi être soumis pour clarifier les spécifications de toutes les fonctions et la division des rôles et responsabilités entre l'équipage, l'automatisation et le centre de contrôle.

Finalement toutes les lignes directrices publiées par ces différentes organisations ont en commun la même conclusion : la documentation qui constitue la base de l'homologation/approbation doit inclure les descriptions du concept du système MASS, des opérations prévues et de l'environnement dans lequel cela va se dérouler. Actuellement les réglementations pour l'approbation des navires autonomes donnent des arguments concernant directement l'enveloppe opérationnelle : Dans un premier temps, l'enveloppe opérationnelle doit servir de format standard répartissant les fonctions et responsabilités des divers scénarios opérationnels pour lesquels le système est fait. Dans un deuxième temps, l'enveloppe opérationnelle peut être un moyen de réguler l'opération d'un navire sans le limiter à une zone géographique.

Cependant, l'écriture du cadre réglementaire des MASS par l'OMI a été retardé à cause de la pandémie Covid-19 comme prononcé dans la conférence du 5 mai (Maritime Safety Committee, 2021). Les membres se concentraient sur l'identification des différents éléments à discuter. Ce n'est pas encore l'étape des recommandations. Aujourd'hui la rédaction d'un premier brouillon du MASS code est en cours (Draft MASS Code, 2025).

A défaut d'être inclus dans le droit international ou national les ONSE font naviguer les NSE sous les normes privées du transport maritime.

Il est clair que des certificats spéciaux pour les opérateurs sont attendus afin de bien transitionner.

1.3.3 Les normes privées du transport maritime

Dans le cours de Cristina Toresano Campos, donné lors du cours Erasmus + sur les fondamentaux des MASS, nous observons que certains pays ont déjà commencé à adopté des réglementations nationales, des zones de tests spécifiquement définies et délimitées, comme la Norvège avec presque toute sa côte autorisée aux navires autonomes. Également le Japon, la Chine, la Belgique. Les USA se concentrent sur les navires autonomes militaires.

Le domaine public international ne régit pas encore la navigabilité d'un NSE, cependant d'autres conventions peuvent s'appliquer aux armateurs maritimes pour protéger les intérêts commerciaux. La Convention de Bruxelles du 25 août 1924 est un gage de sécurité pour la navigation et les intérêts économiques des parties. Elle justifie la navigabilité du navire selon 3 conditions : la structure physique du navire, la conformité du navire et de sa marchandise et que l'équipage soit suffisant et compétent. De même que pour les conventions publiques si l'on prétend que le personnel à terre constitue un équipage suffisant et compétent, alors le transporteur d'un navire sans équipage engage sa responsabilité. Comme le dit Anaïs Chesneau, du point de vue du transporteur, il est donc essentiel que le NSE soit considéré comme suffisamment armé et équipé, mais les transporteurs sont libres de déterminer leurs obligations d'affrètements.

Les chartes parties 'charter party' sont des contrats entre le propriétaire et l'affrètement afin de mettre à disposition le navire pour un temps donné ou pour un voyage. Il existe des modèles de chartes parties avec des clauses rappelant que le transporteur doit fournir un équipage suffisant et compétent mais ces documents restent soumis à la liberté contractuelle.

1.3.4 Le cadre assurantiel

L'introduction d'un cadre assurantiel nécessite l'identification préalable des risques posés par les navires innovateurs afin d'adapter les polices d'assurances. Rolls Royce affirme que

les navires autonomes sont aussi fiables que les navires traditionnels malgré à l'inconnu que l'innovation signifie. Une préparation et de nombreux tests sur simulateurs sont essentielles avant de mettre tout cela en application. Cependant, la connaissance des risques des NSE se fait progressivement aussi. MUNIN prévoit que l'élimination du facteur fatigue réduise le risque d'accident par 10. Seulement cette neutralisation de l'erreur humaine est modérée puisqu'une intervention humaine est toujours nécessaire. L'erreur humaine se déplace à terre.

Les risques de navigation traditionnel peuvent être sécurisé par l'automatisation ce n'est pas le cas pour le risque de cyber piratage. Une cyber-attaque pourrait résulter au vol de données confidentielles ou au détournement d'un navire. Les pertes financières pourraient être importante et/ou la propagation d'une mauvaise image de la compagnie en résulterait.

En réponse à ces risques nouveaux les assureurs décrètent qu'il est trop tôt pour examiner les facteurs d'assurances d'un NSE. De plus, le droit maritime actuel considérant qu'un NSE ne répond pas aux exigences de navigabilités, un navire sans équipage ne peut être assuré. Généralement, les assurances exclut le risque de cyber-attaque ce qui ne serait donc pas adapté à une navigation automatisée. L'absence d'équipage engendre l'innavigabilité des NSE par la convention de Bruxelles de 1924. Les sociétés de classifications constatant l'innavigabilité d'un navire ne peuvent délivrer les certificats de conformités aux normes et exigences du droit international. Sans certificats, les assureurs refusent d'assurer le navire. L'exclusion du risque de cyber-attaque ne peut pas signifier la couverture du navire, le facteur humain est réduit mais celui de la cyber-attaque multiplié.

1.3.5 Concept d'opération (ConOps)

A la suite aux nombreuses lacunes du droit maritime discutées précédemment, le document de concept d'opération est actuellement essentiel à l'exploitation d'un navire autonome ou semi-autonome. Dans le cas contraire un navire ne peut être approuvé. Implicitement, il délimite aussi le métier d'opérateur. Pour l'instant, les entreprises rédigent leur ConOps en prose, de manière simple et avec une structure flexible, ce qui peut laisser place à des lacunes ou des mauvaises interprétations. C'est pourquoi des

entreprises comme AUTOSHIP se concentrent sur la réalisation d'une organisation structurelle pour la rédaction des ConOps (Wennergberg, 2020) afin que ceux-ci s'approchent un peu plus d'un modèle standard. Car le navire et son système d'opération doivent être approuvés ensemble puisqu'ils sont liés par ce lien étroit qu'est la stratégie de contrôle/commande et de surveillance. Le régime d'approbation reste au cas par cas et il est difficile de relocaliser un navire autonome dans une zone non-approuvée.

Ainsi il est seulement possible de généraliser le processus d'approbation/homologation de certaines parties d'un navire autonome.

Ce document donne les réponses aux questions concernant la sécurité et le management entre opérateur et automatisation.

Pour résumer, nous pouvons dire que le rôle de l'opérateur à distance est similaire au rôle de l'officier de quart à bord sur de nombreux points.

Cependant nous distinguons le rôle de l'opérateur par le degré d'autonomie du navire. Lors de la navigation, l'opérateur effectue majoritairement la veille, l'évitement d'obstacle ou la re planification d'itinéraire. Certaines entreprises choisissent de répartir ces tâches en deux métiers différents par soucis d'efficacité. La connaissance situationnelle est la fonction première de l'opérateur, il l'acquiert à travers de nouveaux outils de travail que sont les capteurs extéroceptifs et l'intelligence artificielle.

La différence majeure avec le rôle de l'officier de pont réside dans le fait que l'opérateur travaille via satellite et à distance ce qui peut impliquer une gestion de la latence mais surtout une anticipation de la météo. L'opérateur devient un peu moins un navigateur et un peu plus un planificateur et surveillant d'itinéraire. De plus, la complète dépendance de l'opérateur aux systèmes de liaisons et d'automatisation lui impose d'acquérir de nouvelles connaissances.

La non-conformité des NSE dans le droit maritime laisse place à une grande liberté des normes privées des entreprises, ainsi les limites du métier d'opérateur sont définies par le document de concept d'opération encore rédigé au cas par cas, aujourd'hui.

Dans la prolongation de ce sujet, on pourrait alors se demander quelles sont les connaissances et l'expérience nécessaire pour devenir un bon opérateur de navire autonome.

2 Les challenges de l'opération des MASS

Dans le cadre de ce mémoire, dont l'objectif principal est d'identifier les compétences requises de l'opérateur, il apparaît indispensable, en amont, d'analyser les défis, risques et contraintes inhérents à cette fonction. En effet, la détermination des compétences pertinentes ne peut être dissociée des situations concrètes auxquelles l'opérateur est confronté. Ce chapitre s'inscrit ainsi dans une démarche déductive : à partir de l'identification des principaux challenges du métier, il s'agira de dégager les compétences nécessaires pour y faire face, lorsque celles-ci peuvent être clairement établies.

Il est clair que les compétences de l'opérateur peuvent varier en fonction du degré d'autonomie de navire, de la zone dans laquelle se trouve la navire (zone avec des ice-bergs serait une zone risqué avec des pics de stress plus élevé qu'au milieu de l'océan.) La question du nombre de navire qu'il peut prendre sous sa responsabilité en même temps se pose également.

Pour cette partie, un entretien réalisé auprès de l'entreprise Seafar nous donne une première vue générale des challenges de l'opération des MASS. Grace à cet échange nous pouvons constater ce qui se fait réellement à l'heure actuelle. Cet entretien a été mené le 13 mai 2025 avec Eliott Charpy, collaborateur de l'entreprise belge Seafar. Eliott Charpy est diplômé de l'École Supérieure de Navigation d'Anvers, où il a suivi une formation en marine marchande. Il travaille chez Seafar depuis plus de deux ans, où il a progressivement pris des responsabilités liées à la supervision du trafic fluviale autonome, à la maintenance de ce dernier, au développement des centres de contrôle à distance et à la formation des opérateurs. Seafar est spécialisée dans le contrôle à distance de navires opérant principalement sur les voies navigables intérieures. À la date de l'entretien, l'entreprise gère 24 navires en exploitation quotidienne, une dizaine en cours d'installation, et une dizaine de projets à venir. L'activité maritime (short sea) reste marginale et en phase de test, confrontée à de nombreux freins techniques et réglementaires.

Pour rester dans le domaine de la marine marchande, le document sur l'identification des compétences des opérateurs de MASS en centres d'opérations à distance publié par l'EMSA *European Maritime Safety Agency* nous intéresse grandement (EMSA, 2023). Actuellement,

les opérateurs MASS sont des capitaines expérimentés. Ils peuvent opérer depuis la terre ou depuis un autre navire. L'objectif ici est de se concentrer sur les opérateurs de navires de plus grande taille, issus de la marine marchande. Les navires qui ne sont pas considérés comme drone font plus de 24 mètres de longueur suivant la loi française mais cette longueur varie suivant les législations des différents pays. Cependant, le métier d'opérateur se rapproche de celui d'opérateur de USV, qui sont une catégorie de navire autonome plus développée à l'heure actuelle. On pourrait aussi s'y intéresser.

La formation académique pour ce métier n'existe pas encore vraiment. Nous recherchons donc les compétences nécessaires pour opérer efficacement un navire avec différentes fonctions autonomes. Bien que ce métier présente de nombreuses similitudes avec celui d'officier de quart ou de capitaine, il présente également des différences : l'environnement global a changé et la technologie effectue une partie des tâches de l'officier. Une analyse qui se veut pour offrir la meilleure formation. Des propositions de postes d'opérateur existent cependant peu nombreux sont les personnes expérimentées souhaitant tenir cette position et les générations plus âgées ne sont pas les plus à l'aise avec la technologie. L'objectif est de nous préparer au changement de demain.

Selon le document CMOROC (acronyme pour « Identification des compétences des opérateurs MASS dans les centres d'opérations distants »), publié en décembre 2023 et mis à jour en 2024 (EMSA, 2023), les 5 tâches clés de l'opérateur sont :

- 1) Surveiller les données des capteurs
- 2) Surveiller l'automatisation
- 3) Ajuster les paramètres d'automatisation
- 4) Prendre le contrôle
- 5) Communiquer

Avant d'en arriver à ces 5 tâches principales, ils ont analysé toutes les tâches de bord requises. Ces tâches concernent un opérateur ou un officier de quart sur trois navires différents. L'objectif était d'avoir une vue d'ensemble applicable à un grand nombre de navires. Les navires étudiés étaient : un ferry MASS, un transporteur MASS et un vraquier MASS. A la suite d'ateliers, ils ont déduit les tâches automatisables et celles qui resteraient à la charge de l'opérateur depuis la carte générique suivante (EMSA, 2023).

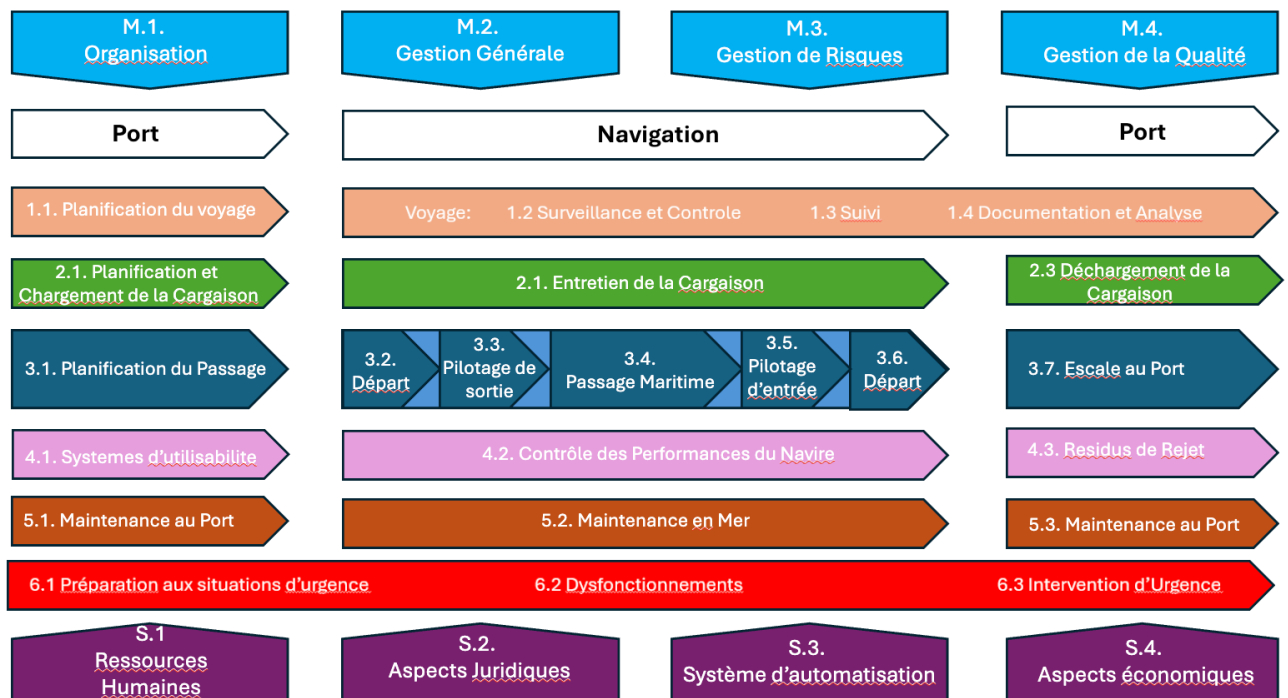


Figure 3 : Découpage des tâches d'opérations

Source : Schéma adapté (EMSA, 2023)

Ces cinq compétences indispensables seront reprises et compléter dans les quatres sous parties distinguées qui répondent aux défis auxquels l'opérateur fera face.

2.1. Organisation des Remote Operation Centers (ROC)

Dans le rapport de l'EMSA, les deux premières tâches de l'opérateur qui sont de surveiller les données des capteurs et de surveiller l'automatisation implique le facteur humain. Evidemment, il est souhaité que le facteur humain soit réduit au minimum pour une sécurité et une efficacité optimale. Pour cela, l'organisation du ROC et l'ergonomie de l'environnement de l'opérateur doivent être aussi optimale.

Surveiller les données des capteurs signifie savoir repérer et interpréter les données des capteurs de MASS. Pour cela, l'opérateur a besoin de connaissance technique et d'une expérience pour savoir estimer la fiabilité des capteurs. La cohérence et l'exactitude des données pourrait être traitées auparavant par le système et ainsi évité une surcharge d'information pour l'opérateur et donc une éventuelle surcharge cognitive. De cette façon, les interfaces de l'opérateur doivent être le plus intuitives possibles. La disposition de l'affichage et présentation des informations doivent être claire, simple et évidente pour n'importe quel opérateur. La compétence de l'opérateur repose sur sa faculté à intégrer les interdépendances informationnelles. Cette capacité permet une détection précoce des défaillances. Elle garantit également une interprétation fiable des situations critiques (EMSA, 2023).

L'ergonomie des stations et du ROC est également prise en compte pour répondre aux cinq tâches repérées par l'EMSA. Les nouveaux centres sont conçus pour permettre un ajustement de la position de travail (assis ou debout), avec des écrans mobiles pour s'ajuster à la hauteur de tête de l'opérateur et une attention est portée sur la luminosité des écrans et de la pièce. Ces choix visent à limiter la fatigue et améliorer la concentration de l'humain, cependant cela à un coût économique.

L'organisation du SCC reste un challenge primordial puisqu'elle détient une grande influence sur la sécurité de la navigation des navires surveillés et opérés, ainsi que sur le coût d'opération des navires.

Comme nous l'avons évoqué avec Monsieur Charpy, le ratio du nombre d'opérateur en fonction du nombre de *traffic manager* est déterminant dans le choix d'organisation du

SCC puisque le but de l'autonomie est de réduire le nombre de personnes utile à la navigation. Il est donc nécessaire d'avoir suffisamment d'opérateur en opération pour atteindre la bonne rentabilité d'avoir un *traffic manager*.

Étude de cas de la navigation en eaux intérieures

Traffic controller ou shift supervisor ?

Le SCC s'organise d'une manière proche d'une tour de contrôle aérien avec des opérateurs et un superviseur de l'équipe, appelé *traffic controller* chez Seafar aujourd'hui, mais qui sera peut-être appelé *shift supervisor* demain. Seafar souhaite renforcer ses effectifs et structurer davantage son organisation. Un nouveau rôle est en cours de définition : le *shift supervisor*. Cette personne devra être polyvalente, à la fois technicienne, formatrice, et gestionnaire. Elle sera responsable de plusieurs opérateurs, interviendra en soutien lors de situations délicates, et participera à l'accompagnement des profils juniors.

Ce rôle nécessite une bonne connaissance des systèmes, une capacité à détecter et résoudre rapidement les problèmes, mais aussi une maîtrise de la communication humaine et une lecture fine des situations maritimes. Le shift supervisor sera aussi le lien entre les opérateurs, l'ingénierie technique, et la direction opérationnelle.

D'après Eliott Charpy (annexe 3), le *traffic controller* d'aujourd'hui ou le *shift supervisor* de demain doivent être des personnes extrêmement polyvalentes. Chez Seafar, les compétences identifiées sont les suivantes :

- Humaine, softskills : savoir coacher un opérateur débutant et rattraper une mauvaise manœuvre en dernière minute d'une manière diplomate et pédagogique
- D'opérateur expérimenté : capable de manœuvrer un navire en écluse, de récupérer un
- Gestion de maintenance : organiser la maintenance des différents navires
- Polyvalent : avoir travaillé dans la station auparavant, pour bien la connaître son organisation ainsi que ces problèmes classiques et récurrents

- Aisance/curiosité avec la technologie : savoir gérer des problèmes liés à la technologie afin de ne pas déranger un ingénieur en automatisation pour quelque chose de simple.

Le *traffic controller* d'aujourd'hui à Seafar, pratiquer et décrit par Eliott, semble demander d'être capable de switcher son attention rapidement : entre un poste où il rédige des courriels à la station de contrôle où il doit répondre à une alarme de l'automatisation et de l'autonomie. Cependant, Eliott à rarement plus que 2 opérateurs sous sa supervision, ce qui justifie le temps qu'il a pour faire autre chose à côté. Cela ne serait plus le cas s'il avait un nombre plus élevé d'opération dans son équipe.

Seafar encourage aujourd'hui les armateurs à développer leur propre centre de contrôle à distance, leur permettant de superviser leurs navires depuis la terre grâce à des capitaines expérimentés déportés à terre. L'entreprise propose alors son expertise pour l'installation des équipements techniques, leur maintenance, et bientôt, la formation des opérateurs. Cet élan fait réponse au manque de personnel évoqué avec Monsieur Roland lors de l'entretien du 15 mai 2025, qui remarque une diminution de l'attrait pour la profession de navigation fluviale et un manque de 20 000 personnes estimé pour 2030 (annexe 9).

En parallèle, Seafar continue de gérer son propre ROC, où elle emploie actuellement une équipe de 6 opérateurs, ainsi que l'installation et la maintenance de SCC pour des particuliers.

2.2 Les spécialités de la navigation des MASS

L'opérateur de MASS doit être capable de prendre le contrôle en manuel dans certains cas. Prendre le contrôle implique de parfois le prendre dans des situations d'urgences, ainsi les procédures de passations *hand-over/take-over* doivent être clairement définies et bien implémentées dans le système. Le défi de l'opérateur ici est clairement la rapidité avec laquelle l'opérateur doit s'adapter à une situation imprévue. Il doit rentrer dans la boucle rapidement comme nous le détaillerons dans la suite (EMSA, 2023).

Les navires autonomes construits ou conçus aujourd'hui sont tous équipés d'un système de positionnement dynamique. Le système DP permet au navire de pouvoir se mettre en position stationnaire si un incident se produit. Cela garantit la sécurité du navire et celle de son environnement. Dans notre échange avec Yves Van Seters en annexe 10, le responsable des aspects technologiques à Antwerp Maritime Academy, nous discutons le fait qu'un opérateur de navire autonome doit nécessairement avoir la même formation de base qu'un officier de marine marchande actuel, cumulée à de l'expérience en mer. À cela, il est également intéressant d'ajouter des connaissances supplémentaires spécifiques aux MASS, comme le dynamique positioning, une étude plus avancée ou plus pratique du RIPAM et les systèmes techniques spécifiques au MASS.

2.2.1 Dynamic Positioning Operator

Comme les élèves ont pu le constater lors de leur visite du navire MV Teresa de Asko et lors de la discussion avec son commandant le navire était équipé d'un système de positionnement dynamique le commandant a mis en valeur l'importance de savoir utiliser ce navire dans ce système de positionnement dynamique un Manuel et pas seulement en automatique pour que chaque officier soit capable d'assurer la bonne navigation en cas de problème de fonctionnement de cette fonction. Cependant nous constatons que nombreux sont les officiers diplômés et qui opèrent aujourd'hui des navires armés de ce système sans avoir des compétences pour utiliser ce système en mode manuel.

2.2.2 Un spécialiste du RIPAM

Aspect que l'on retrouve dans les formations de chez Seabot (SeaBot Maritime, 2025), chez Seafar dans le module sur les règles de navigations (annexe 3) et aussi avec Christian Hovden lors des conférences sur les fondamentaux des MASS en norvège. Egalement Pierre Duhot détaille les changements nécessaires et importants du RIPAM à effectuer. (Duhot, 2021) Puisque le COLREGs a été écrit il y a de longues années et l'avancer ultra rapide des technologies depuis ces dernières années n'a jamais été prise en compte, ce qui en fait un document dépassé et obsolète.

L'opérateur prend la place du responsable de la bonne navigation du navire et de ses responsabilités. Ainsi, les allées que rajoute le développement des navires autonomes parmi les navires conventionnels nécessite une connaissance et un savoir pratiquer le RIPAM impeccable.

2.3 Automatisation et IA

Puisque l'automatisation est le socle de l'autonomie, son importance et sa maîtrise sont cruciales. L'opérateur devra être un spécialiste dans ce domaine ou déléguer cette tâche à un officier qu'il l'est. Il est clair que l'opérateur devra en avoir de bonnes notions dans le but de comprendre une situation inédite d'urgence.

Surveiller l'automatisation

Pour surveiller l'automatisation, l'opérateur doit connaître précisément les objectifs de l'automatisation. Il doit également être capable de comprendre et d'évaluer les actions de manière abstraite. Grâce à ce savoir il peut surveiller l'automatisation et vérifier que les objectifs sont atteints ou intervenir si nécessaire. Pour cela, l'opérateur doit posséder une bonne *situational awareness* ce qui signifie qu'il comprend l'état actuel de l'automatisation

afin d'anticiper des changements ou futurs problèmes. En addition à sa capacité d'analyser la situation, il doit savoir prendre des décisions précises et rapidement. Pour répondre à ce challenge, qui est de combler le facteur humain, une nouvelle fois, la conception et la présentation de l'interface doit être optimale pour l'utilisateur. La surveillance de l'automatisation implique aussi le concept de *explainable AI* qui est la capacité qu'une IA a à pouvoir fournir de manière transparent son processus de décision. Ainsi, l'opérateur peut comprendre pourquoi l'IA donne cette sortie. Egalement, si l'opérateur travail avec une *explainable AI*, il connaîtra mieux les limitations de l'IA et pourra donc mieux les combler et former une équipe plus efficace avec le système (EMSA, 2023).

Ajuster l'automatisation

Dans le cas d'influences extérieures qui demanderaient à l'opérateur de changer de destination par exemple, il doit être capable de changer les paramètres de l'automatisation. En plus d'une bonne *situational awareness*, l'opérateur doit agir de la bonne façon sur les paramètres et évaluer l'impact de ces actions. Ainsi l'opérateur doit comprendre les influences mutuelles des différents paramètres et les conséquents du changement d'un ou plusieurs paramètres. Pour former à cette compétence, l'utilisation de simulateur et de *digital twin* serait un vrai atout pour les centres d'opérations à distance (EMSA, 2023).

Les questions éthiques et les risques liés à l'utilisation de l'IA dans notre société, révèle un vrai besoin d'expliquer aux utilisateurs comment ces outils fonctionnent. Les écoles et universités d'éduquer les élèves à l'outil et de vérifier leur bonne utilisation. De même, qu'un besoin de réglementation de l'utilisation dans certains milieux ou pour certaines applications pour prévenir des utilisations inappropriées, dysfonctionnements... Sur ce point, nous pouvons faire référence à une première ébauche de Julien Gosseume, docteur en intelligence artificielle qui a donné une conférence sur l'usage éthique de l'IA, en annexe 12. Un propos qui rappelle combien pour bien utiliser un outil il faut bien le connaître et que pour bien connaître son outil il faut l'utiliser régulièrement.

2.4 Les challenges de la relations homme – machine.

L'interaction appelé Homme – machine ou homme – automatisation est essentielle pour analyser et anticiper les facteurs humains et challenges des systems automatisés, notamment la perception de la situation, autrement appelé en anglais 'situational awareness'.

Le design et l'ergonomie de son matériel ainsi que son environnement :

- bureau debout ou assis, suivant les heures de la journée, l'opérateur peut choisir
- avoir l'opportunité et la place de marcher un peu dans la salle
- écrans à hauteur de visage
- chercher des études l'attention... est-ce qu'on devrait faire une pause toutes les 30 minutes ? toutes les heures ?
- la possibilité de boire de l'eau : la bonne hydratation a une direct influence sur les capacités mentales : trouver un article à citer !

2.4.1 La nécessité du jumeau numérique

Le jumeau digital ou plus couramment appelé 'digital twin' est basiquement la représentation digital, le modèle virtuel du navire. Le navire et tout ces détails et spécificité sont accessible via une version numérique. Ainsi l'accès à l'entièreté des informations s'ouvrent à des personnes qui ne peuvent se trouver à bord du navire. Un accès que serait intuitif ? qui favoriserait la réparation, la visualisation du navire à distance afin de d'identifier un problème et de planifier sa réparation.

L'origine du jumeau digital provient du besoin de représenter physiquement proche de nous quelque chose qui se tient en réalité à une distance très éloignée. Par exemple, une base de la NASA va recréer physiquement une autre fusée afin de savoir résoudre efficacement un problème qui surviendrait lorsque la fusée est dans l'espace. Un autre exemple utilisé depuis des siècles est celui de la création de maquette de guerre pour évaluer et tester les stratégies à l'avance et pour visualiser la réalité du terrain depuis un autre endroit.

Le jumeau numérique puise son intérêt dans son potentiel à résoudre des problèmes tel que :

- design more dynamically
- retrofit
- maintain the ship
- simulate the ship
- recyclage de navire en fin de vie : comment réutiliser le plus de composants du navire pour autre chose ou pour construire d'autre navire au lieu de l'envoyer au scrap.

Sa réalisation s'appuie sur les données fiables des capteurs lors de la navigation. Le jumeau numérique se différencie du modèle numérique par le fait qu'il existe un flux automatique des données depuis l'objet physique vers l'objet numérique et aussi à l'inverse. Un digital twin reflète donc la réalité actuelle d'une situation physique puisqu'il est mis à jour constamment et réunit toutes les données du navire sur une seule plateforme.

2.4.2 Human-in-the-loop and human-out-of-the-loop

(Porathe, 2022) Attention overload. La supervision passive.

Donc c'est plus difficile de reprendre la situation (si l'officier de bord était en train de dormir par exemple) ou d'identifier réellement le cœur du problème (lorsque de nombreuses alarmes surviennent en même temps et l'officier n'a pas eu de vrai hand-over). Sauf si l'officier ou l'opérateur a atteint le niveau de seconde nature pour naviguer le navire. Développer ici aussi pourquoi l'opérateur a aussi besoin de ce niveau. Parce que dans la discussion avec Elliott, l'option d'un shift supervisor est évoquée. Et ce shift supervisor serait le chef des opérateurs. Donc ok, c'est logique qu'il est besoin d'une meilleure formation et qu'il soit plus fort. Maintenant l'opérateur de base est-ce que c'est important pour lui (in and out of the loop?) Si il n'y a pas de capitaine à bord, et c'est l'opérateur qui est le capitaine capable de override le navire en

Le problème d'une autonomie grandissante des navires marchands est qu'il implique une passivité de navigant ou une

Il est donc important que ce temps pour l'homme libéré par l'IA soit mis à contribution de la formation de cet humain afin qu'il soit plus compétent qu'il ne l'était sans l'IA.

Dans le cas de la prochaine étape vers l'autonomie des navires, c'est à dire où un officier de pont et un officier machine sont encore présent à bord en temps que vigil et back-up. Dans le cas où une des personnes à bord suite à un problème devrait override l'opérateur à terre pour quelques instants, il prendrait donc la responsabilité immédiatement du navire, et donc deviendrait capitaine ? pour cette durée. Cette position impliquerait le fait que l'officier prendrait le quart sans avoir nécessairement de hand-over de l'opérateur, ou un hand-over plus court puisqu'il y a danger plus ou moins immédiat. Cela implique des connaissances du navire approfondies, des compétences de navigation ou d'ingénierie beaucoup plus poussée que celles qu'un officier reçoit actuellement après 3 ou 4 années d'école. Cet officier de quart de MASS doit avoir de grandes performances sur son navire et son matériel. Il effectue des gestes qui sont pour lui devenus une seconde nature ainsi évoqué avec Elliott Charpy dans l'entretien en Annexe 3. Pour arriver à cette seconde nature, l'opérateur a dû suivre un processus d'apprentissage proche de celui décrit par Dave repris dans le schéma suivant.

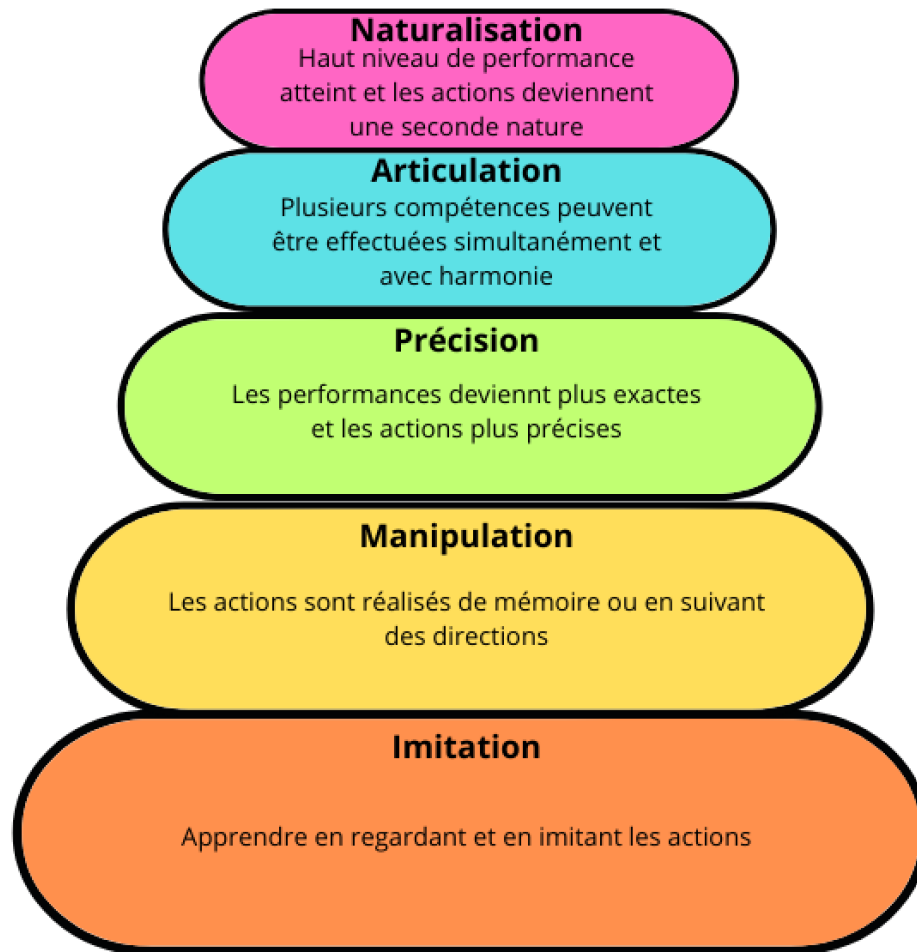


Figure 4 : La taxonomie psychomotrice, schéma adapté

Source : (Dave & Armstrong, 1970)

Le Le début de l'apprentissage commence par l'imitation ou la répétition d'actions, dans un deuxieme niveau d'apprentissage est lorsque la personne réalise des actions de mémoire ou en suivant une direction. Le troisième niveau d'apprentissage est celui de la précision, puique avec la pratique les actions plus précises et les performances deviennent plus exactes. Ensuite, viens le niveau de l'articulation où plusieurs compétences peuvent être effectuées en même temps et de manière harmonieuse. Finalement, l'ultime niveau qui sera nécessaire d'être atteint pour être opérateur de navire est celui de la naturalisation. Les actions deviennent une seconde nature et les performances sont optimales.

2.4.3 La communication

L'opérateur, tout comme l'officier de quart, doit communiquer avec chaque interlocuteur relié à l'état présent de sa mission. Nous pouvons citer par exemple, les gardes côtes, le VTS, le port... Le point de vigilance est donc sur la mauvaise communication et les quiproquo. L'opérateur doit s'assurer qu'il n'y est pas de soucis technique, que les instructions sont claires et précises. A l'heure actuellement, la communication mène souvent à des confusions et parfois à des accidents. Afin de relever ce défi l'entraînement et la formation de l'opérateur à des standards de communication surement plus rigoureux que les standards actuels sera nécessaire. Il est difficile de prédire d'avantage puisque nous nous attendons à de nouveaux concepts de communication qui intègre bien l'humain et la machine (EMSA, 2023).

La communication à distance avec l'équipage à bord est complexe. Il faut faire passer des messages clairs, parfois critiques, tout en maintenant une relation de confiance. Seafar (Annexe 3) cherche encore à structurer ce volet de la formation pour répondre au besoin de l'opérateur de faire équipe, de faire unité avec le navire et son équipage malgré la distance géographique. Ici, nous faisons face au challenge de faire confiance à une personne qui n'est pas présente physiquement sur les lieux, que l'on ne connaît pas ou très peu. Nous verrons dans la prochaine partie des méthodes éducatifs qui pourraient être utilisées.

Il est essentielle qu'une communication suffisante soit possible entre un MASS et un navire conventionnel même si dans de nombreux cas elle n'est pas préconisée et d'ailleurs fut la source d'accident.

Faire une critique de CUI article, et donner mon avis. Car aujourd'hui déjà les navires sont surveiller et reguler par des VTS centers notamment. Les Nous communiquons déjà nos informations de départ, arrivées et parfois bien plus grâce à des rapports obligatoires demandés par ces centres avant le départ du navire et pendant sa traversé.

Le challenges de ne plus avoir de personnels à bord

Des problematiques telles que : “Existerait-il des situations qui exigerait une présence humaine à bord, en cas de sinistre ? Un navire autonome ne devrait-il pas être capable d’éteindre un feu à bord sans le retour d’humains ? Être capable de secourir une personne en danger dans l’eau ? “ renforce l’importance de la bonne communication.

Pour résumer ces 5 compétences de principales de l’EMSA, l’opérateur doit être capable d’évaluer l’état des fonctions autonomes du navire et connaître les limites de leur fonctionnement. Cela signifie qu’il doit connaître suffisamment l’automatisation et l’IA, être à l’aise avec ces interfaces et être un spécialiste des systèmes de MASS tel que le système DP ou les redondances d’instruments.

L’entretien du 13 mai avec Monsieur Charpy en annexe 3, met en évidence que la difficulté de recruter et de former des opérateurs pour la navigation autonome sur les voies navigables intérieures constitue un défi central. Les besoins sont spécifiques, les profils rares, et les formations encore en cours de structuration. Il serait pertinent de réfléchir à la création de passerelles entre la formation d’officier de la marine marchande et les métiers fluviaux. De telles initiatives permettraient à des professionnels intéressés par cette transition de se reconvertir plus facilement vers les fonctions d’opérateur ou de superviseur dans un ROC.

3 Suggestions de formation

La question des certifications des compétences professionnels des opérateurs nous amène à celle des formations appropriées. Aujourd'hui aucune écoles ou université ne fournissent actuellement un programme adapté à la navigation des navires autonomes de surfaces puisqu'ils sont toujours en développement. Les programmes sont encore en cours de développement tout comme l'IA et l'association de l'IA au monde maritime l'est également. Une question importante est de se demander s'il est plus judicieux d'augmenter la formation des ingénieurs dans les domaines de l'IA ou s'il est préférable d'augmenter les compétences de l'IA.

L'étude de l'entreprise Seafar révèle leur besoin d'opérateur et leur difficulté à trouver des opérateurs compétents, ainsi qu'à former des gens qui ne sont pas encore compétente.

3.1 Enjeux du recrutement et profils recherchés

Trouver des opérateurs compétents constitue un véritable défi. Christian Hovden ancien chef mécanicien et aujourd'hui engagé dans le business de formation des opérateurs de MASS, exprime dans sa conférence qu'en début de session seulement la moitié des gens était intéressé de peut-être devenir opérateur et qu'après la session seulement 2 voulait bien le faire.

Seafar privilégie les capitaines fluviaux expérimentés, capables de manœuvrer des navires complexes avec précision. Cependant, les officiers de la marine marchande n'ont pas accès à ces postes fluviaux, puisque leur formation est perçue comme trop axée sur la sécurité, le management et pas assez développée sur les compétences pratique de manœuvre de navire en écluse avec des configurations de propulsion complexifiant la manœuvre. De plus, le milieu de la marine marchande et le milieu de la navigation fluviale sont très différents par des législations différentes, des mentalités différentes, un environnement différent, des bateaux différents, une organisation différente.

À ce jour, la formation dispensée n'est pas encore certifiée, mais Seafar envisage des partenariats académiques pour valider et donner plus de valeur à ses modules à moyen terme.

3.2 Formation des opérateurs fluviaux

3.2.1 Etude de cas de chez Seafar

Jusqu'ici pour devenir opérateur chez Seafar, il faut être un commandant fluvial expérimenté et avoir envie d'exercer ce métier depuis un station à terre dans un bâtiment, derrière des écrans. Lors de l'entretien d'embauche, le potentiel futur opérateur est directement mise en situation sur une station de contrôle. Si le potentiel opérateur est plus attiré et curieux que terrifié de la station d'opération alors il a de grandes chances d'être embauché. Pourtant Seafar peine à trouver de nouveaux opérateurs et prépare donc une formation un peu plus pédagogique.

La formation des opérateurs constitue un pilier de plus en plus fondamental pour l'activité de Seafar puisqu'ils sont confrontés à la grande difficulté de trouver des opérateurs compétents. Leur formation se compose de deux grands modules : un module pratique, et un module théorique, chacun étant subdivisé en sous-parties.

Formation pratique

Les opérateurs débutants commencent par plusieurs heures sur leur simulateur conçu par VSTEP. Ce simulateur est intégré à la station comme s'il s'agissait d'un véritable navire. Ainsi, une des stations de contrôle devient un simulateur. Il y a très peu de différences entre opérer un navire sur le simulateur et l'opération d'un vrai navire à distance. Le simulateur vise à se familiariser avec les interfaces logicielles, les caméras et l'organisation de la station. Ensuite, les opérateurs réalisent un shift supervisé par un opérateur expérimenté avec un navire réel, suivi d'un shift d'évaluation autonome toujours sous l'observation d'un opérateur expérimenté. Ainsi de suite, l'enchaînement d'un shift

supervisé et d'un shift évalué se répète pour chaque type de navire puisque les navires sont très différents des uns des autres dans le fluvial. Ils ont des tailles différentes, des configurations de propulsion différentes, des azimuts ou pas... Le simulateur est beaucoup utilisé pour maîtriser les différents types de propulsion. Dans le futur, il aimerait avoir un simulateur pour chaque navire et dans différents ports, dans des endroits avec beaucoup de circulation et des endroits plus calmes.

Formation théorique

Le premier module explique la théorie du métier d'opérateur chez Seafar avec leurs softwares, afin de familiariser l'opérateur sur l'aspect technologique. Des thèmes comme le système général, le système à bord, les raisons d'utilisations d'antennes 4G et la redondance sont évoqués. Également, le fonctionnement et la manière de s'enregistrer sur le journal de bord électronique sont expliqués. Un chapitre sur l'amarrage et un chapitre sur la législation sont aussi présents. L'aspect légal détail les endroits où l'opérateur a le droit de naviguer le navire, la manière de naviguer et les rapports qui doivent être fait aux autorités.

Le deuxième module développe les procédures propres à leur entreprise, et aux zones dans lesquelles ils naviguent. Les procédures suivantes sont détaillées :

- Hand-over
- PLC
- AMP
- Urgence
- Watch keeping

Un troisième module est consacré à l'utilisation de la station de contrôle. Premièrement, les choses à faire et à ne pas faire y sont détaillés. Puis, une partie pour comprendre prendre le contrôle à distance d'un navire. On trouve aussi un manuel sur l'utilisation du T-gain et un autre sur la station.

Un module sur la communication sera développé prochainement, afin de répondre aux problématiques que la distance entre l'opération dans la station et les marins à bord peut engendrer. Par exemple, comment ne pas paraître trop directif pour l'opérateur qui donne des ordres à la radio au personnel de bord.

Un module aussi sur '*operational training*' ?

La formation se présente pour l'instant sous forme de vidéos de démonstration, de documents explicatifs et de présentations destinées à créer les réflexes d'opérateur de la navigation autonome fluvial pour devenir un opérateur qui garantit la sécurité du navire.

3.2.2 Formation des conducteurs fluviaux actuels

Puisque pour être opérateur de navire fluviaux autonome il faut être capitaine de navire fluvial, nous nous demandons quels sont les possibles processus de formation. A la suite de l'entretien avec Roland Pascal professeur de l'école de batellerie de Huy en Belgique, les étapes de formation deviennent plus claires (Annexe 9). Premièrement, le terme capitaine ou commandant n'est pas utilisé dans ce milieu, officiellement le plus haut grade sur un navire fluvial est appelé conducteur. Ainsi, deux filières sont possibles pour accéder à cette carrière. Il y a la formation scolaire, dans laquelle les élèves peuvent rentrer à partir de 16 ans et la filière libre qui peut être intégrée à n'importe quel âge et sans aucun prérequis. Dans le schéma suivant, le processus de formation en filière libre y est expliqué clairement. Tout d'abord, le schéma se lit de bas en haut. Au total, la hiérarchie comprend 6 grades différents. Le premier, haut de pont peut s'intégrer à la suite d'une courte formation de 5 jours qui permet de sensibiliser à la sécurité et d'obtenir le livret de service. Le livret s'obtient à la suite d'une participation de 80% du temps à cette formation. Ce livret de service servira à comptabiliser les jours de navigation du professionnel et donc ces compétences.

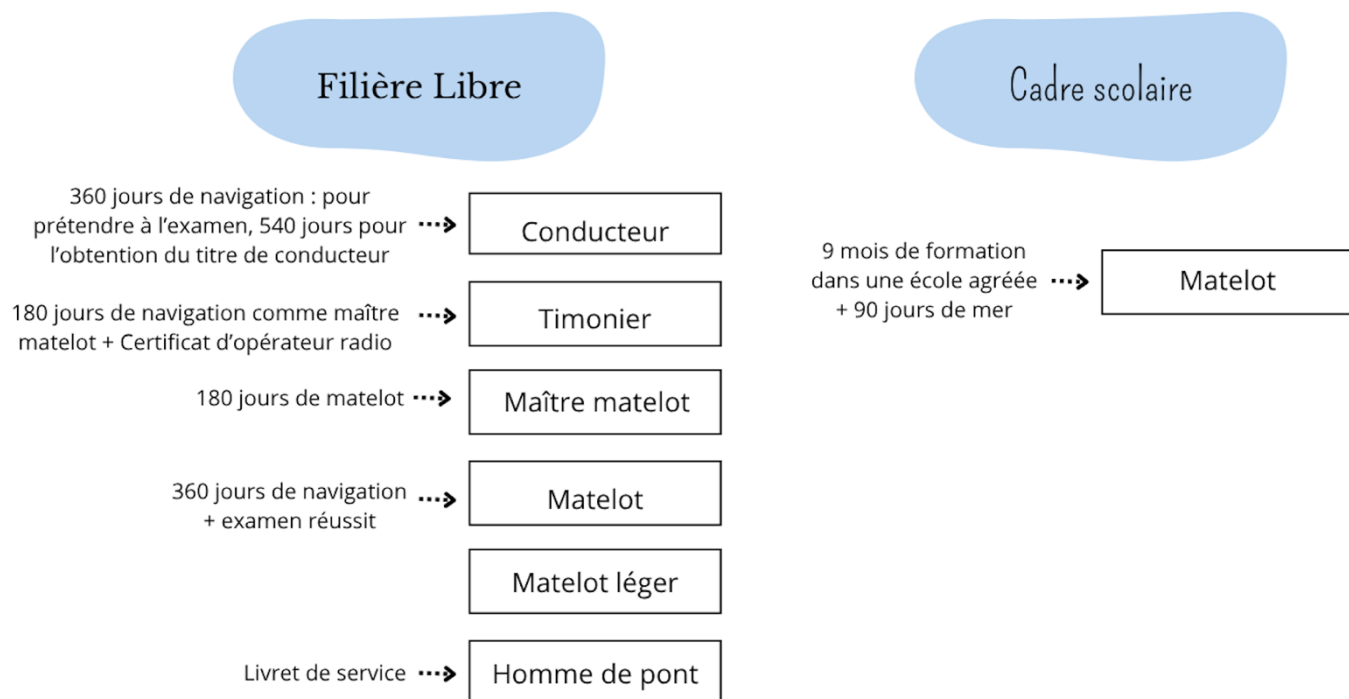


Figure 5 : Processus de formation d’opérateur

Source : Propre travail, résumé de l’annexe 9

3.2.3 Formation passerelle de la marine marchande au fluvial

A la suite de l’entretien avec Monsieur Roland professeur de l’école de batellerie de Huy en Belgique, une passerelle d’un milieu à l’autre semble peu probable. Cependant, certaines entreprises comme Viking Cruises en ont le besoin et lance alors leur propre cursus de transition (Viking Cruises, 2023). Il crée le programme ‘Recertification de l’océan à la mer’. La durée totale du programme est de 12-18 mois. Ce programme forme spécifiquement à devenir officier de navigation sur le Rhin, le Danube ou en France. Comme discuté avec Pascal Roland (voir annexe 9), certaines zones géographiques exigent des compétences supplémentaires.

La formation (Viking Cruises, 2023) se concentre sur :

- les connaissances théoriques pour obtenir le license de conducteur fluvial,
- l'apprentissage des tronçons du Rhin et la préparation des tronçons d'examen Amsterdam-Cologne,
- l'opération et les manoeuvres des navires de croisières Viking lors des formations à bord et en simulateur
- et la navigation pendant 7 à 9 mois.

Le programme (Viking Cruises, 2023) respecte les législations de la navigation intérieure européenne.

Pour participer au programme, il faut néanmoins :

- 500 jours de navigation à bord d'un navire de marine marchande,
- Avoir de l'expérience en manoeuvre (navire de croisière, yacht, ferry, dragueur, navire offshore, dragueur, high-speed craft...)
- Avoir de l'expérience comme officier de navigation
- Parler anglais
- Parler allemand et/ou français
- Être éligible à un travail en Europe

A l'heure actuelle le cursus marine marchande et le cursus fluvial sont deux milieux bien séparés pourtant ils comportent ils semblent comporter certaines similitudes. Nous pouvons nous demander, justement, si dans un futur plus lointain, plus ces deux milieux s'automatisent et s'autonomisent, plus les compétences de leurs opérateurs se rapprochent.

3.3 Developper les soft skills et la communication des étudiants et opérateurs

Les soft skills font référence aux compétences douces ou interpersonnel comme capacité d'adaptation la flexibilité l'intelligence émotionnelle, la créativité, la curiosité ou encore l'écoute ou le management. On peut se demander pourquoi ces compétences de communication, de travail d'équipe sont nécessaire pour les opérateurs de MASS. Pourtant, plus en environnement se digitalise plus ces compétences sociales deviennent importantes (Gholam Reza Emad et al., 2022). Puisqu'un environnement à forte présence technologique laisse peu de trace écrite au nouvel apprenant qu'il pourra relire plus tard, alors dans un souci d'efficacité il doit converser plus avec ces collègues et ces derniers doivent aussi être pro-actif dans cet échange.

Lors de l'erasmus + en Norvège, les étudiants ont eu la chance de pratiqué leur soft skills pendant une activité de groupe organisée en fin de semaine. Cette activité appelée individual Group plénum, située en annexe 4, a pour objectif de réaliser un brainstorming individuel associé à un brainstorming de petits groupes en un temps assez court. Cet exercice rappelle une technique de travail d'Elon Musk expliqué dans l'un des podcasts de la chaîne Underscore_ sur les avancées récentes de la robotique, où une équipe de se voit imposé le challenge de faire fonctionner un robot sur un délais de temps court et cela a donné lieu à de nouvelles prouesses robotiques (Micode, 2025). Ces deux techniques ont en commun des paramètres tels qu'une pression qui est ici le temps et l'association d'idées de différentes personnes, par des discussions sur une problématique précise. Lors du Individual-Group-Plenum les élèves avaient trois minutes pour réfléchir seuls à une même question, Avec comme support des post-it et un crayon pour noter des mots-clés de leurs idées et guider leurs idées lors de la phase de présentation suivante. Normalement le pont le temps consacré à cette première phase et de cinq minutes cependant dû au grand nombre d'élèves, nous sommes contents de trois minutes. La phase suivante consiste en une présentation très courte, une ou deux minutes, d'une personne qui explique ces notes Suivi d'un dialogue de groupe qui organise compare catégorise ou classifie les réponses possibles. Cet exercice fut particulièrement efficace et approprié puisqu'un milieu riche en technologie demande des interactions humaines accrues, de bonnes qualités et efficace. Les groupes de travail étaient mixtes c'est-à-dire qu'ils étaient composés d'au moins une

personne de chaque université différente, ce qui complexifiait la tâche et rendait l'entraînement aux soft skills plus prospère pour les étudiants. De même que la diversité culturelle Correspond parfaitement au milieu maritime et technologique, puisqu'ils sont très souvent des portées internationales.

3.4 Les formations existantes

3.4.1 Antwerp Maritime Academy

Antwerp Maritime academy est une école qui forme des officiers de marine marchande. Cependant une chose que beaucoup d'élèves ne savent pas, est que c'est aussi un centre de recherche et un centre de formation professionnels et de conseils.

Il y a quelques années, l'initiative MCA lab à été lancée (MCA Facilities, 2024). MCA est un espace de *coworking* ouvert à tous mais qui à été créer spécifiquement dans le but de réunir et de développer plus de lien entre les personnes du milieu maritime et en particulier pour faciliter les innovations maritimes. Cependant, ce projet n'est plus d'actualité. Le milieu maritime est un milieu très conservatif qui ne souhaite pas être un pionnier de l'évolution. Chaque échange d'informations entre professionnels du secteur implique trop souvent de signé une close de confidentialité. Ainsi, grâce à la discussion avec monsieur Geerts en Annexe 7, nous savons que les trois personnes impliqués dans la création de ce projet Monsieur Deepak et Yves Van Seters qui ne travaillent aujourd'hui plus pour le projet. Yves Van Seters travaille aujourd'hui à l'AMA comme *valorisation manager*, responsable des développement technologiques. De cette manière, Antwerp Maritime Academy est le premier et seul centre de l'innovation maritime en Belgique.

L'avis des étudiants de sciences nautiques

Dans l'étude a été réalisé entre le 30 avril et le 17 mai 2025, sur une population de dix-neufs élèves du département sciences nautiques qui ont souhaités répondre au questionnaire. Pratiquement la même quantité d'élève pour chaque niveau d'avancées

d'études, à répondu. Il est difficile de tirer des conclusions précises, cependant nous pouvons écouter la direction que prennent les réponses.

47 % des élèves ont déjà entendu entre une et trois fois parler de navire autonome dans leur cursus à l'école. 21% n'en ont jamais entendu parler dans leur cursus à l'école. 32% en ont entendu parler quatre fois ou plus dans leur cursus à l'école.

Les projets de navire autonome suivant ont été cités lors de la question ouverte demandant aux élèves s'ils pouvaient donner un ou plusieurs noms de projet de navire autonome :

- Mayflower
- Aegis
- River drone
- Yara birkeland

A la question "que pensez-vous des navires autonomes en général ?" les répondants pouvaient choisir deux réponses et avaient le choix entre les qualificatifs suivants : attractif, intéressant, pas intéressé, 'neutre - j'attends de voir', cela va tuer notre profession ou effrayant. Onze personnes pensent que c'est intéressant. L'adjectif 'intéressant' récolte 11 votes. Le critère 'neutre, j'attends de voir' reçoit 10 votes. La phrase 'cela va tuer notre profession' ramasse 9 votes. L'adjectif 'effrayant' recueille 5 votes. Seulement 2 votes sont attribués au critère 'attrayant' et 1 vote pour le descriptif 'pas intéressé'.

84% des élèves voudraient en savoir plus sur le sujet des navires autonomes.

58% des étudiants souhaiteraient que ces informations soient incluses dans leur cours actuels, 26% le préfèrent sous formes de cours optionnel et 16% le souhaitent sous forme de conférence.

58% ou onze personnes sur dix-neufs ne savent pas ce qu'est le rôle de l'opérateur de navire autonome.

Sept étudiants sur dix-neufs ou 37 % d'entre eux pensent qu'un officier de quart peut devenir un opérateur de navire autonome sans formation supplémentaire à la formation qu'il bénéficie aujourd'hui.

Sur le sujet des objectifs du développement durable de l'IMO, sept personnes sur dix-neufs, donc 37 % ne pensent pas que les navires autonomes pourraient contribuer à l'un de ces buts.

A la question, "connaissiez-vous les différents degrés d'autonomie selon l'IMO d'un navire et les différences entre chacun d'eux ?" 74% ont répondu est non.

32% six personnes sur dix-neufs ne connaissent pas la différence entre le concept d'un navire téléopéré et le concept d'un navire autonome.

À propos de la question ouverte et non obligatoire sur ce qui signifie Human-machine interface pour l'élève, seulement treize ont répondu, mais certain en donnant leur opinion ou leur émotion sur le sujet. Un seul étudiant a affirmé ne pas vraiment savoir à quoi cela correspond dans ce contexte, ce qui correspond à 8%.

Les réponses à la question sur le temps et la manière d'utiliser l'IA pour leur étude, huit élèves ont simplement expliquer l'utilisation qu'il en faisait et certain ont juste donné la durée d'utilisation. À propos de l'utilisation qu'ils en font, six sur quatorze, c'est à dire 43 % ne l'utilisent pas pour leur études ; 3 sur quatorze ou 21 %, l'utilisent pour de la syntaxe (ce qui inclut des réponses concernant une utilisation pour leur mémoire, pour de la construction de phrase ou pour raccourcir un texte pour une présentation) ; un sur quatorze ou 7 % spécifie l'utiliser pour l'électronique ; également un sur quatorze l'utilise pour les mathématiques. Les précisions sur la durée de leur utilisation révèlent que cinq étudiants sur onze, soit 45 % l'utilisent moins de 30 minutes, quatre sur onze, soit 36 % l'utilisent entre trente minute et deux heures, deux sur onze, soit 18 % l'utilisent entre trois et cinq heures.

A l'interrogation formulée en anglais dans le questionnaire, "Considerez-vous que votre école et vos professeurs vous rendent suffisamment conscient des limitations de l'IA et vous apprennent comment l'utiliser d'une bonne manière?", aucun des étudiants n'est satisfait, 36% juge cela acceptable, 42% pensent que cela pourrait être améliorer et 26% sont insatisfaits.

Sur le thème des nouveaux cours qui seraient important pour leur futur carrière, les apprenants ont évalués dix matières en lien avec les nouvelles technologies entre 5 qualificatifs : nécessaire, important, utile, intéressant ou inutile. La cybersécurité et la e-

navigation sont les deux matières phares, jugées le plus nécessaire. S'en suivent les cours sur les navires autonomes, l'amarrage et les manoeuvres automatiques et la capacité de challenger n'importe quelle situation télécommandée. Les cours sur les *data sciences* et *IT management* sont évalués comme les plus inutiles. Un cours sur *internet of the things* est noté majoritairement intéressant. Avec du recul, il est judicieux de se demander si les étudiants sont en capacités de pouvoir bien estimé cela, peut-être que les marins expérimentés, des professeurs ou des professionnels de l'industrie auraient un point de vue plus pertinent. A cela s'ajoute le fait que leur connaissance de la définition de chaque cours proposé n'a pas été testé.

L'interrogation portant sur le premier grand challenge auquel l'opérateur de navire autonome sera confronté si l'IA prenait les décisions sur l'évitement de collision, les réponses les plus pertinentes suivantes ont été récoltées (la question était formulée d'une manière un peu longue et peut-être pas assez claire) :

- Évaluer si la décision de l'IA est la bonne
- Rester alerte puisque la surveillance est ennuyante
- Etre certain que les senseurs (le radar) resprésentent correctement la situation
- Vérifier la nouvelle route proposé par l'IA et comparé avec ce qu'il aurait fait
- La communication et prendre en compte les décisions étranges de certain humain
- Reprendre le controle en cas d'urgence

A la question sur combien les élèves estiment que quatre-vingt pourcents de leur classe comprend suffisamment bien les capacités, les risques et les limitations de l'IA , soixante-huit pourcents des participants à l'enquête (ce qui correspond à treize personnes sur dix-neufs) pensent que non.

Il semble que les élèves aimeraient acquérir plus de connaissances sur les senseurs, en général. A cette question, il pouvait donner un chiffre indicateur entre moins cent et plus cent, zéro étant le neutre, afin de décrire si l'école leur donnait assez de connaissance. Le score moyen obtenu est de moins soixante-neuf.

Un premier cours sur les MASS à Antwerp Maritime Academy

En 2025, quatre universités de marine marchande tel que l'école supérieure de navigation d'Anvers, l'université polytechnique de Catalogne, l'université du Sud-est de Norvège et l'université de Zadar se sont associées et ont créé un programme intensif pour des élèves intéressés aux principes fondamentaux sur l'autonomie maritime et ces principes et concepts technologiques. Ce cours était optionnel et sur sélection puisque le nombre de place était limité à un total de vingt élèves.

Un questionnaire de satisfaction sur ce programme intensif a été réalisé. Seulement onze étudiants sur les dix-neuf présents (mon propre cas est exclu puisqu'il est particulier et qu'il influence déjà le questionnaire lors de sa création) jusqu'à la fin du programme ont répondu au questionnaire, cependant celui-ci comprenait aussi des questions ouvertes afin d'ouvrir les perspectives d'amélioration de ce cours exceptionnel. La population de cette étude représente six étudiants en sciences nautiques cinq étudiants en mécanique navale et deux étudiants en architecture navale.

Si une critique devait être faite sur la mobilité en Norvège, afin de contribuer à l'amélioration de ce cours, « accentuer la mixité entre les nationalités pour créer plus d'échanges » serait optimale est puisque c'est un commentaire ayant été formulé de manière informelle par plusieurs élèves durant le séjour. Cela pourrait être intensifié par une arrivée commune au même moment et un temps d'accueil afin de se rencontrer un peu et briser la glace dès le début. Les élèves ont apprécié particulièrement les visites et les conférences.

Les cours en ligne ont globalement été appréciés même s'il a été noté qu'ils pourraient être amélioré par des activités interactives, plus d'interactions entre élèves et/ou plus de travail en groupe (Annexe 5).

En conclusion de cette première édition d'Erasmus +, l'identification de l'intérêt premier des étudiants peut être identifié comme majoritairement centrée sur les MASS digitalisation et les motivations secondaires sur la culture norvégiennes, l'apprentissage de méthodes de travail en équipe, découvrir une nouvelle culture et une manière de penser ainsi que les connaissances en robotique (Annexe 5). Les thèmes qui ont suscité le plus d'apprentissage chez les étudiants sont le thème des MASS, les méthodes pour travailler

en groupe et les connaissances en robotique. A la fin de ce cursus, seulement un élève ne souhaite pas avoir un travail en lien avec les MASS un jour. Six élèves sur onze souhaiteraient être opérateurs de MASS et deux ne le voudraient pas.

Les notions de cybersécurité minimum standard pour l'officier de quart.

Les notions de sûreté sont pratiquées au sein des milieux professionnels maritimes car elles sont transmises par les compagnies qui semblent être plus consciente de l'enjeu. Pourtant, les risques cybersécurité sont grands et de plus en plus nombreux comme l'atteste Marin Marcic, professeur à Antwerp Maritime Academy. Il est certain qu'en terme de développement de l'autonomie des opérations maritime, ce qui englobe les MASS, ce thème de la cybersécurité ne peut pas être négligé. Lors du programme Erasmus + les étudiants ont eu la chance de pouvoir visiter le navire MV Teresa en Norvège. Un navire qui appartient à Asko et est opéré par Massterly. Le commandant a raconté un épisode où tout les navires de la région avaient été coupé de leur connection GPS et que le capitaine avait repris les commandes en manuel.

Dans le master en ingénierie sur l'autonomie des opérations maritime de l'Université de Novia (Novia University of applied sciences, 2025) évoqué dans la suite de ce mémoire, leur cours sur la cybersécurité vise à ce que l'étudiant :

- intègre la gestion des risques et la sécurité de l'information
- intègre les menaces de cybersécurité actuelles et la connectivité du transport maritime et des navires autonomes
- soit capable d'atténuer les risques lié à la sécurité de l'information et à la cybersécurité
- comprend les possibilités et les limites de la connectivité pour les navires autonomes

Des thèmes qui sont évoqués également dans le cours Marin Marcic lors du module cybersécurité du programme Erasmus + sur les fondamentaux des MASS. Des bonnes pratiques d'officiers de quart de navire conventionnels sont cités :

- Ne jamais connecté son téléphone ou n'importe quel autre objet personnel au matériel du bord
- Bien contrôlé l'identité des nouveau arrivant à bord
- Softskills technique ou mot de passe pour ne pas laisser entrer un individu que nous ne connaissons pas, en même temps que nous lorsque nous ouvrons avec notre badge. Il est communément admi qu'il est malpoli de redemander l'identité ou de ne pas laisser entrer la personne. Cela pourrait être éviter en prenant l'habitude de ralentir le rythme avant d'arriver à la porte et d'observer avant d'y être qui pourrait être contourner par une salutation, une banalité et une phrase fortement influente, qui sonnerait comme une recommandation presque, par exemple : "je suis certain que vous avez aussi envie de passer votre badge", "N'appréciez-vous pas votre joli badge corporate ?", ou simplement honnêtement avec gentillesse et bonne humeur "Ah! Qui êtes vous ? Je ne vous ai jamais rencontré ? pourriez-vous passer votre badge ? (et le remercier chaleureusement) ". Cependant, c'est une chose de savoir et s'en est une autre de le mettre en pratique. Cette connaissance pourrait être renforcé par le lancement de l'habitude, ce qui se ferait sous la forme d'un petit atelier de mise en scène pratique de 15 à 30 minutes suivant le nombre de personne du groupe.
- Bien agir/réagir en cas de cyber-attaque, prévenir son supérieur et la personne désigné de la compagnie. A développer peut-être plus chez des personnes de 40 ans et plus, car moins à l'aise avec la technologie, probablement un plus grand nombre n'aurait pas pour réflexe de prévenir quelqu'un d'autre par peur d'être accusé ou d'être responsable.
- Être capable d'installer une white-station

Ces connaissances et bonnes pratiques peuvent être répété lors d'exercices cybersécurité régulés à bord. Cependant, elles pourraient aussi déjà faire partie du master pour les officiers qui souhaitent obtenir le brevet de second capitaine et commandant, puisque la cybersécurité est aujourd'hui une réelle faille de système maritime et donc une véritable opportunité pour des pirates informatiques.

Comment l'AMA devrait adapté son cursus adapté au développement des nouvelles technologies ?

**Comment l'AMA adapte son cursus au développement des nouvelles technologies ?
Etape passerelle vers le développement des MASS.**

On observe déjà plusieurs initiatives et projets dans ce sens depuis quelques années. Par exemple, Kathy Speelman et Marieke Uten participent au projet TEAMS et multiplient les travaux de groupes pour les élèves lors de leur cours en classe (TEAMS, 2023). Ce projet à pour but de développer les compétences entrepreneurial et la pensée conceptuelle des étudiants. Ces deux compétences se retrouvent parfaitement dans l'exercice 'individual group plenum' expliqué précédemment. Il favorise également l'apprentissage d'un attitude flexible nécessaire dans le monde rapidement changeant de l'industrie maritime. Face à de nouveaux problèmes plus complexes, la capacité de savoir faire des alliances humaines à bien été identifié comme primordiale. La réalisation et l'utilisation de ce casebook semble pertinent. (Speelman et al., 2023)

C'est une technique aussi utilisé par des écoles de jeux vidéos ou comme par exemple l'école d'informatique 42 (Rianfloo, 2024). L'école 42 est une école pour apprendre à coder. Elle fonctionne sur un concept un peu différent. Il n'y a pas de professeur et pas de cours magistraux. Il n'est pas question de prendre des notes devant un tableau ou d'écrire des programmes sur une feuille de papier. La méthode se concentre sur les projets et les travaux de groupe ce qui ne laisse pas le choix aux élèves que de créer de plus fort liens entre eux pour apprendre. L'école prend racine dans la valeur de l'ouverture réelle aux autres et à l'excellence. Elle a été créé en 2013 et est aujourd'hui reconnu dans le monde entier. Cette pédagogie rend les élèves acteurs de leur cursus et leur permet de se rapprocher d'avantage du monde professionnel et facilite leur insertion par la suite.

L'AMA inclut elle aussi des cours de data analysis dans la troisième année de la filière des officiers mécaniciens (Antwerp Maritime Academy, 2024), ce qui ouvre éventuellement une première porte vers ces connaissances en automatisation approfondies aussi pour l'officier pont.

Entraînement par suivi oculaire

Autrement appelé *eye-tracking training* (source), cette technique permet un meilleur suivi de l'attention et de l'apprentissage d'un élève sur simulateur. Lorsque l'étudiant vit une exercice sur simulateur, le professeur visualise en temps réel la position exacte de l'endroit où l'élève pose son regard. Ainsi, pendant la session le professeur peut lui faire des commentaires ou attendre la fin du session afin de lui donner tout le feed-back. Cette méthode pourrait aussi être utilisée comme simulateur d'évaluation.

Les avantages et inconvénients de la formation par suivi oculaire sont détaillé dans le tableau suivant.

Avantages	Inconvénients
- Grande qualité de formation - L'opérateur sait organiser son attention lors de situation d'urgence - L'étudiant peut apprendre plus vite car le feedback du professeur est plus détaillé et de meilleur qualité - L'opérateur est été entrainer à plusieurs situation d'urgence auquel il ne s'attendait pas et à été forcé d'improviser	- Ça prend plus de temps, car il faut un professeur par élève pour suivre son regard. - Ça coute plus cher puisque ça prend plus de temps

Tableau 5 : Avantage et inconvénient de la formation par suivi oculaire

Source : Propre travail

Des cours un peu plus approfondies sur l'IA ? Ou attendre que l'IA devienne plus performante pour mieux servir l'opérateur/l'officier ? Et que devrait contenir ce cours ?

Certaines écoles d'ingénieurs comme l'école des mines à Nantes commencent à proposer des cours en lien avec l'intelligence artificielle.

L'IMT Atlantique en France, haute école d'ingénieur reconnue présente maintenant une vingtaine de cours en lien direct avec le sujet de l'intelligence artificielle. Les thèmes approfondis sont '*Mathematical and Computational Engineering*' et '*data sciences*'.

Egalement, un cours passerelle nommé 'introduction à l'intelligence artificielle' permet aux étudiants découvrant la matière de s'instruire et de rejoindre les cours approfondis par la suite.

Il est certain que l'AMA ne va pas se mettre à proposer une formation purement technologique cependant peut-être pourrait-elle s'inspirer des cours de bases, ou des cours passerelles de ces cursus spécialisés, comme à l'école de Nantes.

Sous quelle forme proposer ces cours ?

Le bachelor de sciences nautiques est déjà très dense pour un bachelor comme l'atteste Geerts Potters. Il stipule dans l'annexe 7, que la possibilité de création de différents masters a été évoquée à l'AMA, pour que chaque élève puisse choisir réellement une spécialité qui lui corresponde. Cependant, l'atmosphère et les mentalités conservatrices du milieu maritime conservent de certains cours moins utiles aux métiers de navigant ou d'opérateur, qui continuent d'exister puisqu'ils répondent à certaines législations qui donnent lieu à des inspections à bord dont l'officier doit être capable de répondre, évoqué avec monsieur Saroukanoff lors d'une conversation en annexe 6.

Est-ce qu'une adaptation générale de la formation bachelor et master serait plus logique ? Il semble que l'AMA perde des élèves ces dernières années. Identifier la cause de cela semble difficile.

D'autres écoles qui proposent des formations en ligne et moins coûteuses ? Comme le suggère Monsieur Potter les formations en lignes n'encouragent pas vraiment les élèves à terminer leur cursus, ni à le terminer rapidement. De plus, comme l'article (Gholam Reza Emad et al., 2022) et sa partie sur le concept de *Quasi-community* le montre, plus un environnement devient technologique, plus les relations humaines deviennent importantes et celles-ci ne s'apprennent pas derrière un écran mais bien en les pratiquant avec d'autres personnes lors d'interactions quotidiennes afin qu'elle deviennent une seconde nature.

L'AMA seul et unique lieu de recherche, formation et d'innovation

A la suite de ma conversation avec le commandant Saroukanoff, une nouvelle fois, l'atmosphère conservatif général du milieu maritime et sa lenteur à évoluer révèle une certaine impossibilité d'adaptation à l'ère actuelle ou chaque nouvelle ère/à son temps. Cependant, cette lenteur d'adaptation permet aussi d'avoir plus de réflexion et de recule sur les choses avant d'intégrer de nouvelles lois.

L'AMA est aujourd'hui le seul et unique lieu de recherche et d'innovation en Belgique qui regroupe les professionnels, pourtant de point de vue des étudiants de cette institution, ce département semble caché puisque de nombreux étudiants n'ont pas la connaissance de son existence. Voudrions-nous et de quelle manière pourrions-nous ouvrir cette porte pour les étudiants ? Cela ne serait pas simplement une porte sur la recherche qui s'ouvrirait mais procurerait aussi et surtout des conversations, des échanges d'idées, ouvrirait la curiosité des étudiants sur la recherche et les innovations du milieu dans lequel ils souhaitent faire carrière.

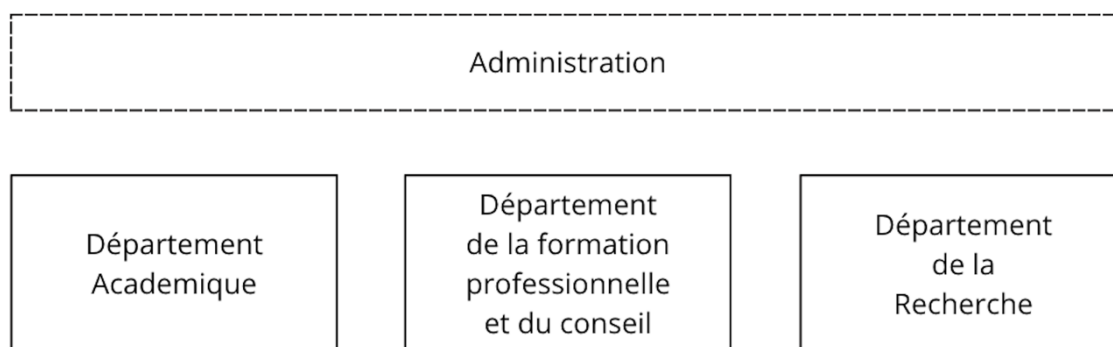


Figure 6 : Organigramme des départements de l'école supérieure de navigation d'Anvers

Source : Propre travail

Ce schéma a été réalisé à la suite de la discussion avec Geert Potters que l'on trouve en Annexe 7. Il explique clairement et simplement les différents départements de l'école. Il pourrait être distribué éventuellement aux élèves sur la plateforme Blackboard ou affiché dans l'école dans le but de contribuer à la bonne information et bonne éducation des étudiants qui semblent bien souvent ne pas avoir connaissance de l'existence du département de la recherche ou de la formation professionnelle. Cela favoriserait l'ouverture d'esprit des élèves sur les possibilités d'éducatons que l'école offre. Cela aiderait à promouvoir également l'image de l'école et sa communication interne. Les noms des professeurs responsables de chaque département et les multiples projets de recherche pourraient également y être mentionnés.

La réalisation du cours Erasmus + sur les MASS est à mes yeux une réussite qui répond à des besoins actuels de l'industrie, de la recherche et de formation.

La création d'un centre de cybersécurité maritime ?

Une autre idée de l'AMA serait d'éventuellement créer un centre de cybersécurité maritime avec l'école de Flandres de l'Ouest. Un troisième partenaire serait l'armée belge. Ce projet serait financé majoritairement par l'Europe. C'est un projet qui répond bien au manque à la demande de formation en cybersécurité du milieu maritime. Cependant, c'est un projet qui reste à créer et développer.

3.4.2 Université de Zadar

L'université de Zadar en Croatie propose actuellement déjà un cours sur les navires marchands autonomes de surface qui équivaut à 5 ECTS (Gholam Reza Emad et al., 2022). Ce cours est électif et n'appartient donc pas au tronc commun. Les méthodes pédagogiques utilisées sont des séminaires et ateliers, des évaluations individuels et des conférences. Les objectifs d'apprentissages principaux sont d'être capable :

- D'appliquer ces connaissances du monde maritime
- De discuter de manière critique les mécanismes sous-jacents au numérique, les transformations industrielles et les changements technologiques ainsi que leurs implications pour le développement de la société
- De présenter des résultats et une conclusion de manière argumentée et basée sur une recherche
- De communiquer efficacement dans un contexte interdisciplinaire

A ces quatre compétences s'ajoutent des connaissances supplémentaires liées aux navires autonomes, comme savoir décrire et comparer des projets sans équipages, discuter les pré-requis pour développer un navire autonome auprès des administrations, discuter les possibilités et limitations navires autonomes, évaluer les attentes des organisations extérieures (les opérateurs, les ports...), discuter les aspects : légal, sûreté, éducatif et éthique.

Le contenu du cours comprend :

- une introduction à ce que sont les MASS,
- les perspectives historiques (tout comme nous l'avons reçu en Norvège),
- le développement actuel des technologies avancées du secteur maritime,
- les projets actuels en navigation sans équipages et navigation autonome,
- les perspectives et la légitimité des navires sans équipage humain à bord,
- l'autonomie, l'automatisation et le raisonnement des machines,
- l'aspect de conception et d'ingénierie des navires autonomes
- centre de contrôle à distance pour les MASS,
- guidage, navigation et contrôle des navires,
- systèmes de communications,
- sécurité de la navigation
- formation et compétence des opérateurs de navire autonome
- réglementation

3.4.3 Novia in Finland

L'Université de Novia en Finlande offre un Master en ingénierie sur les opérations maritimes autonomes.

Ce cours est étalé sur deux années et peut-être suivi entièrement en ligne et depuis n'importe où afin que les étudiants puissent le cumuler avec un travail à terre ou en mer, cible la digitalisation des opérations maritimes et correspond à 60 crédits (Novia University of applied sciences, 2025). Ce programme se concentre sur la digitalisation des opérations maritimes. L'objectif est d'être à la pointe des technologies en matière d'autonomie des opérations maritimes.

Les sujets suivants sont traités dans ce cursus et comptent pour 5 crédits chacun :

- Étudier dans ce programme de master et introduction à la recherche et aux méthodes de recherches
- L'automatisation des navires autonomes

- Intelligence artificielle, l'apprentissage des machines, l'interaction Homme-Machine
- Télé-opérations
- Cybersécurité et connectivité
- Navigation autonome et conformation au Code MASS (partie nouvelle en 2025, puisque le Code MASS sera finalement proposé en 2025.)

Un mémoire équivalent à 30 crédits également un thème important du programme. Le mémoire est généralement réalisé sous la forme d'un projet lié à la vie professionnelle. Ce curriculum prend en considération les objectifs de développement durable des nations unies, particulièrement les suivants :

- eaux propre et assainissement,
- énergie propre et d'un coût abordable,
- industrie, innovation et infrastructure
- mesure relative à la lutte contre le changement climatique
- vie aquatique

Pour pouvoir prétendre au Master, il est nécessaire d'avoir travaillé 24 mois dans un domaine connexe après son bachelor (*Master of Engineering, Autonomous Maritime Operations*, 2025).

3.4.4 Seabot

L'entreprise SeaBot Maritime basé à Southampton propose une formation en trois modules afin de devenir opérateurs de MASS mais plus particulièrement de USV, c'est à dire spécialisé en navire sans équipage (SeaBot Maritime, 2025). Un premier module est consacré aux bases pour être opérateur de MASS à distance, puis un deuxième module sur les approfondissements des fonctions du téléopérateur et un dernier module sur le management des opérations et la gestion d'équipes.

Le premier module est séparé en deux unités. Une première unité théorique porte sur les aspects techniques, législatives et opérationnels des MASS. La seconde unité est pratique afin de commencer à réaliser des scénarios de contrôle de navire comme l'amarage. Les thèmes sur la cybersécurité, la *situational awareness*, les facteurs humains et l'application de RIPAM sont abordés dans le contexte d'opérations de USV. Ci-joint la liste des éléments inclus dans le cours :

- Conduite des opérations de MASS
- Introduction à la législation et l'industrie des MASS
- Les systèmes des MASS
- Le facteur humain
- Scénarios d'urgences
- Planification de mission de USV
- Navigation de USV
- Contrôle de l'USV (en local et hors du champ de vision)
- RIPAM
- Opérations de nuit

Pour rejoindre le cours, il faut détenir "les qualifications maritimes appropriées requise par l'administration ou l'autorité compétente". Par la suite, pour les modules supérieurs, il faudra compléter des évaluations avant la formation et remplir un carnet de formation et un journal d'opérateur de MASS.

Conclusion

Afin de garder ce sujet bien ancré dans le moment actuelle, nous nous sommes intéressé aux projets et formations d'aujourd'hui et avons apporter des comparaisons et opinions critiques afin de protéger la bonne formation des officiers actuels tout en respectant la diversité des possibilités de leur carrière, l'évolution rapide et envahissante de la technologie dans l'industrie et de la spécialité des MASS qui est une réalité plus lointaine du futur.

L'importance de veiller à une formation adapté et performante apporté aux élèves de l'AMA est cruciale pour l'avenir de notre école et pour la société d'aujourd'hui et de demain que nous créons ensemble. Nous avons remarqué que le juste équilibre entre conservatisme et changement/innovation est capital pour répondre à la diversité des profils des élèves et la diversité des carrières spécialisés qu'ils choisiront. Il est parfois difficile de faire des choix dans une société qui se démocratisme et se pluralise, cela se remarque aussi dans la diversité des projets de navires à voile opposé aux projets de navires autonomes ou téléopérés d'abord. Pourtant tous tendent vers des buts communs qui sont les objectifs de développements durables des nations unis et de l'IMO pour continuer à faire de cette planète un meilleur endroit pour vivre.

Si ce mémoire porte en bonne partie sur l'aspect législatif, c'est parce que celui est-ci est vrai cauchemard pour l'évolution des navires autonomes. Le cas d'évolution plus rapide de la Norvège est en grande partie du à la disponibilité des fonds mais aussi de part leur capacité à savoir réunir toutes les personnes impliqués dans les décisions ou l'évolution du projet autour de la même table et d'agir vers un but commun avec une clareté de la situation pour chaque personne. C'est aussi l'une des utilisations de leur plus grand simulateur composé d'un écran à 360° d'un diamètre de 7 mètre. Celui a permit de recevoir des dirigeants, personnes impliqués dans les lois ou autres décisions, afin de leur permettre une meilleure visualisation de ce qu'est un navire, des enjeux de notre milieu, des simulateurs... Pour illustrer cela, les photos prises en Norvège lors d'une visite de l'université Sud-est à Campus Vestfold présentent leur plus grand simulateur et l'explication du software architect sur comment et pourquoi cet endroit peut être très utile pour réunir les multiples protagonistes sur des sujets maritimes.

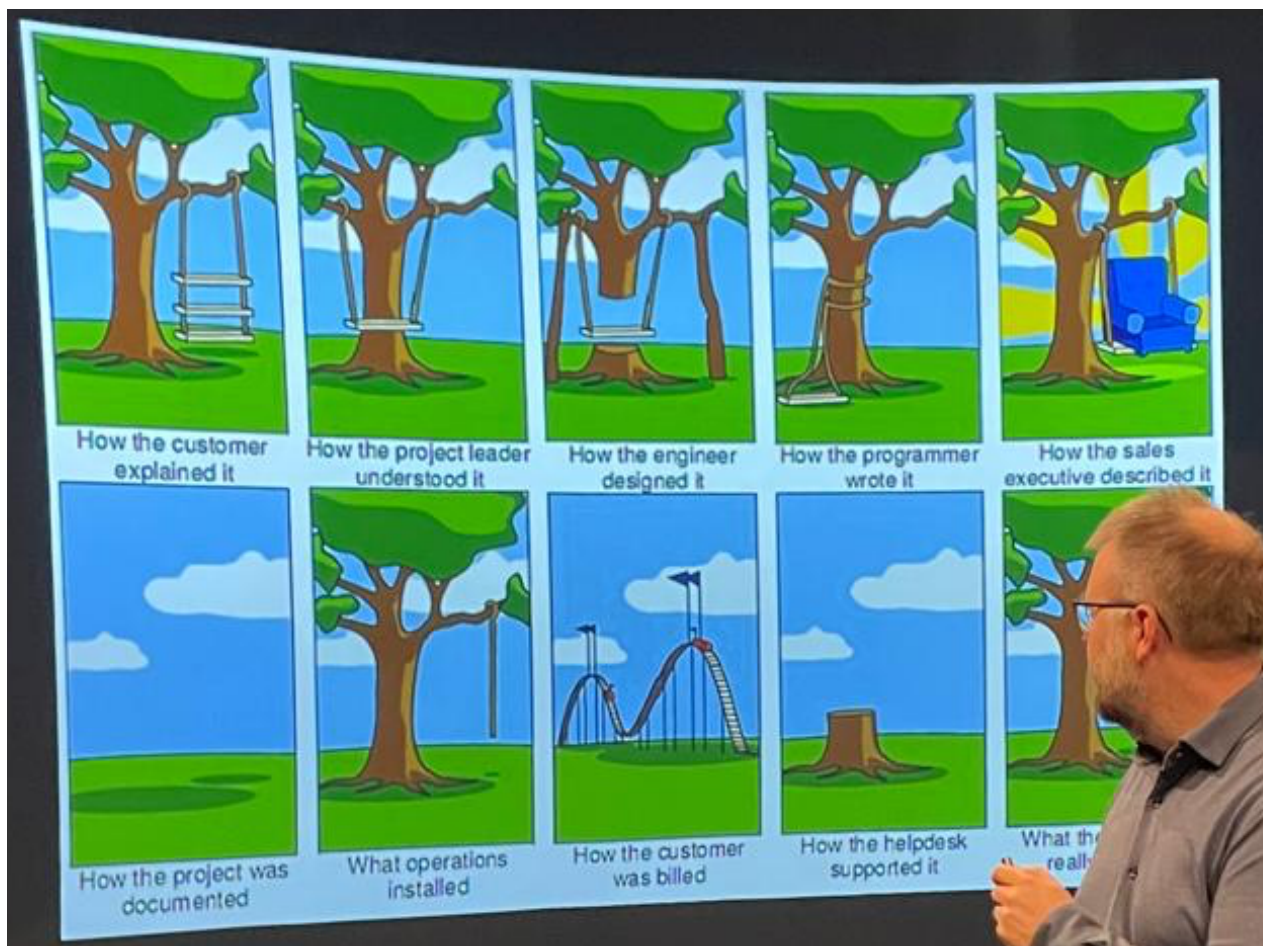


Figure 7 : Photos du simulateur de l'école norvégienne, campus Vesthold

Source : Propre travail

Bibliographie

- Antwerp Maritime Academy. (2024). *Guide de l'étudiant Bachelor académique en mécanique navale*.
- Autonomy artificial intelligence and robotics*. (2019, juillet). International committee of the Red Cross.
- Beer, J. M. (2014). *Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot interaction*.
- Chesneau, A. (2017). *Les « navires autonomes » enjeux et impacts d'une navigation sans équipages dans le monde maritime*.
- Dave, R. H., & Armstrong, R. (1970). *Psychomotor levels in Developing and Writing Behavioral Objectives* (Educational Innovators Press).
- Draft International Code of Safety for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS Code), MASS (2025).
- Duhot, P. (2021). *RIPAM pour navires autonomes, proposition d'adaptations et de modifications*. Hogere Zeevaartschool Antwerpen.
- EMSA. (2023). *Identification of Competences for MASS operators in Remote Operations in Centres*.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situational awareness in dynamic systems. *Human Factors*.
- Flanders Imagination works. (2021). *VisuRIS - Start*. <https://www.visuris.be/>
- Gholam Reza Emad, Saratkumar Narayanan, & Aditi Kataria. (2022). *On the Road to Autonomous Maritime Transport : A Conceptual Framework to Meet Training Needs for Future Ship Operations*. 60.
- Guidelines for Autonomous Shipping*. (2019, octobre). Bureau veritas. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv-rules>
- IALA (Réalisateur). (2021, janvier 15). *Webinar on AtoN Remote Monitoring* [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=1ngtWZyQWHA&t=2838s>

- Kurtinaitis, M., Lindanger, F., & Adams, S. (2025). *Discipline Leader – Digital Transformation / Life cycle Management*.
- Loi Leroy pour l'économie bleue*. (2016, juin 20). journal officiel de la république française.
- Maritime Safety Committee. (2021, mai 5). *Maritime Safety Committee (MSC), 103, 5-14 May 2021 (virtual session), opening remarks*.
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/SecretaryGeneral/Pages/MSC-103.aspx>
- Master of Engineering, Autonomous Maritime Operations*. (2025). Novia.Fi.
<https://www.novia.fi/en/study/study/technology-and-seafaring/master-of-engineering-autonomous-maritime-operations/>
- MCA Facilities. (2024). *MCA / Coworking space & Meeting rooms Antwerp*. MCA.
<https://mca.be/labs>
- Micode. (s. d.). *L'IA va révolutionner la robotique en 2025—S5E10* [Podcast]. Consulté 22 mai 2025, à l'adresse <https://open.spotify.com/episode/67prgUWrr6AdadBdsYecdV>
- Novia University of applied sciences. (2025). *Autonomous Maritime Operations (AMO), 2025 / Study Guide, Novia AMK*. <https://studieguide.novia.fi/13625/en/13618/111662/1059>
- OMI. (2020). *L'Organisation maritime internationale s'attaque à la question des navires autonomes*. <https://imo.org/fr/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx>
- Porathe, T. (2022). *Remote monitoring of Autonomous Ships : Quickly Getting Into the Loop Display*.
- Rianfloo. (2024). *42 / Apprendre à coder. Casser les codes. Formation gratuite*. 42. <https://42.fr/>
- Rødseth, O. J. (2021). *Towards approval of autonomous ship*.
- Rødseth, Ø. J., Lien Wennersberg, L. A., & Nordahl, H. (2021). Towards approval of autonomous ship systems by their operational envelope. *Journal of Marine Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s00773-021-00815-z>

Rodseth, O. J., Nordahl, H., Wenersberg, L. A., Bolbot, V., & Theotokatos, G. (2020, juillet).

Analysing supply chain phases for design of effective autonomous ship technology in new transport system solutions.

Saildrone. (2025). *Data Products – Saildrone*. <https://www.saildrone.com/technology/data>

SeaBot Maritime. (2025). *MASS Certified Professional training scheme*. SeaBotMaritime.

<https://www.seabotmaritime.com/training-courses/mcp-overview>

Seafar. (2020). *Seafar*. Seafar. <https://seafar.eu/>

SeaOwl : Un navire télé-opéré par satellite pour les opérations subsea en Afrique. (2020, septembre 7). *Seaowl Group*. <https://seaowlgroup.com/seaowl-un-navire-tele-opere-par-satellite-pour-les-operations-subsea-en-afrique/>

Speelman, K., Uten, M., Manning, D., Opstal, A., & Weeke, A. (2023). *Real-life casebook*. TEAMS.

TEAMS. (2023). About the project. *TEAMS | STC Group*. <https://www.project-teams.eu/about-the-project/>

University of Zadar. (2024). *Syllabus of maritime autonomous surface ships' course*.

Viking Cruises. (2023). *RIVER - Recertification Program Ocean to River—Nautic—2nd Officer in Training in River (Europe) | Nautical at Viking Cruises*. Viking Cruises.

<https://www.vikingcareers.com/eu/en/job/7368/RIVER-Recertification-Program-Ocean-to-River-Nautic-2nd-Officer-in-Training>

Wenersberg, L. A. (2020). A framework for description of autonomous ship systems and operations. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.

Wenersberg, L. A., & Nordahl, H. (2019, juin 1). *Supply chain mapping and identification of interactions*. Autoship.

Yara. (2025). *Yara Birkeland | The first zero emission, autonomous ship | Yara International*. Yara None. <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/>

Zhou, X. Y. (2019, mars). *Quantitative processing of situation awareness for autonomous ships navigation*.

