



# GUIDE DE L'AIMS

## G1058 UTILISATION DE LA SIMULATION COMME OUTIL DE CONCEPTION DES VOIES NAVIGABLES ET DE PLANIFICATION DES AIDES A LA NAVIGATION MARITIMES (AtoN)

**Edition 3.0**

June 2022

**urn:mrn:iala:pub:g1058:ed3.0**



# HISTORIQUE DU DOCUMENT

---

Les révisions apportées à ce document doivent être consignées dans le tableau avant toute publication d'un document révisé.

Date	Détails	Approbation
Décembre 2007	Première parution	Conseil 42
Juin 2011	Édition 2.0 Document complet. Contribution, commentaires et propositions des Pays-Bas pour les modifications et ajouts au document. Commentaires du Comité EEP. De même, révision périodique.	Conseil 51
Juin 2022	Édition 3.0 Document complet. Révision périodique et mise à jour de l'ensemble du document. Contenu générique du G1097 inclus en annexe.	Conseil 75

AVERTISSEMENT : Ce document est une traduction de l'original anglais et a donc valeur d'information seulement. En cas de divergence entre les deux versions, l'original anglais prévaut. L'AIMS n'assume aucune responsabilité pour les erreurs, omissions ou ambiguïtés dans la traduction. Toute personne, ou entité, qui s'appuie sur le contenu de cette traduction le fait à ses propres risques. L'AIMS ne peut être tenue pour responsable de tout problème lié à l'exactitude, la fiabilité ou la tenue à jour des informations traduites.

Ce guide a été traduit au sein du IALA French Support Group (IFSG) avec le soutien de la France

# SOMMAIRE

---

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2. CHAMP D'APPLICATION.....</b>	<b>4</b>
<b>3. BESOINS DES UTILISATEURS .....</b>	<b>4</b>
3.1. Détermination de la portée de la simulation.....	5
<b>4. PLANIFICATION DE LA SIMULATION .....</b>	<b>5</b>
4.1. Le rôle des participants .....	6
<b>5. FONCTIONNALITÉS DU LOGICIEL DE SIMULATION .....</b>	<b>6</b>
<b>6. LES OUTILS DE SIMULATION, LEUR USAGE ET LEURS LIMITES .....</b>	<b>7</b>
<b>7. EXIGENCES EN MATIÈRE D'ANALYSE, DE RAPPORTS ET DE DOCUMENTATION.....</b>	<b>8</b>
<b>8. CONSIDÉRATIONS D'EXACTITUDE ET DE RÉALISME .....</b>	<b>9</b>
<b>9. DEFINITIONS .....</b>	<b>10</b>

## Illustrations

<i>Figure 1</i>	<i>Composantes pouvant être incluses dans les simulations accélérées (Hollnagel, 1998).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2</i>	<i>Une illustration de simulation accélérée.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3</i>	<i>Exemple d'un casque RV.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 4</i>	<i>Vue extérieure du système multi-écrans et du boîtier de commande externe.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 5</i>	<i>Simulateur de tâche partielle.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 6</i>	<i>Cabine du remorqueur.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 7</i>	<i>Simulateur unique de mission complète.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 8</i>	<i>Système de simulation de mission complète avec plusieurs simulateurs couplés.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 9</i>	<i>Modélisation et présentation des AtoN.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10</i>	<i>Déformation et mélange de deux images de canal visuel pour les rendre correctes à l'écran de projection.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11</i>	<i>Correction Bezel pour les murs d'images.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 12</i>	<i>Configurations d'écran .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 13</i>	<i>Diagramme expliquant l'amplitude angulaire .....</i>	<i>27</i>

## 1. INTRODUCTION

---

« La simulation est le processus de conception d'un modèle de système réel et de réalisation d'expériences avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système ou d'évaluer diverses stratégies (dans les limites imposées par un critère ou un ensemble de critères) pour le fonctionnement du système. » (R.E. Shannon, 1975)

Les outils de simulation sont capables de fournir des résultats réalistes et précis en tant qu'intrants pour l'étude et l'évaluation de la conception des chenaux et des ports. Le but de la simulation pour la conception, la planification et l'évaluation des AtoN est de déterminer et d'atténuer les risques (quantitativement) pour le navigateur qui croise dans une voie navigable, un chenal ou une zone portuaire en particulier. Il comprend également l'évaluation (qualitativement) de l'aménagement du chenal, du positionnement et des spécifications techniques des AtoN et des aspects de manœuvre.

La simulation offre une méthode relativement peu coûteuse pour permettre de s'assurer que la solution AtoN fournie réponde aux besoins des usagers de manière efficace et efficiente.

En fournissant un outil de simulation à l'utilisateur, on peut améliorer globalement la sécurité et l'efficacité de l'exploitation en aidant à faire la démonstration du fonctionnement de la voie navigable, de la conception du chenal et des AtoN connexes, avant de faire réellement pratiquer la navigation dans la zone. Par conséquent, le simulateur peut être utilisé pour effectuer une évaluation générale de la mesure d'atténuation la plus appropriée qui puisse être requise dans une voie navigable en particulier.

Les simulations peuvent fournir un haut niveau de réalisme tant que le but de la simulation s'accompagne de la précision des modèles. Par conséquent, l'utilisateur final devrait examiner attentivement la précision des modèles des navires, des environnements et des aides à la navigation maritimes connexes, ainsi que la planification et la configuration appropriées de scénarios simulés.

La consultation des usagers devrait faire partie intégrante de tous les processus de planification et de simulation d'AtoN. Des outils de simulation précis peuvent améliorer l'utilité des retours obtenus auprès des utilisateurs.

## 2. CHAMP D'APPLICATION

---

Le présent guide porte sur :

- l'éventail des exigences des utilisateurs qui doivent être prises en compte pour assurer l'exactitude et la pertinence de la conception de la simulation ;
- certains des outils de simulation disponibles et les circonstances dans lesquelles ils peuvent être utilisés à bon escient ;
- l'analyse, le rapport et la documentation des résultats.

Il est à noter que les exigences de formation débordent du cadre du présent guide.

## 3. BESOINS DES UTILISATEURS

---

Le principal utilisateur de la simulation dans le contexte du présent guide est l'autorité responsable des aides à la navigation et des voies navigables. Les autres usagers qui devraient être consultés peuvent comprendre les :

- Navigateurs
- Autorités maritimes
- Fournisseurs de services AtoN

- Administrations portuaires
- Organisations de pilotes
- Instituts et universités maritimes
- Autres intervenants du secteur maritime

Les utilisateurs de systèmes de simulation sont encouragés à comprendre dans quelle mesure un système de simulation fournit la qualité et la fidélité requises pour répondre aux objectifs des études et investigations par simulation. Un guide sur les caractéristiques techniques et la technologie utilisée figure à l'annexe B.

Il pourrait être nécessaire d'utiliser des outils comme des méthodes et des outils de simulation, pour compléter les présents modèles d'évaluation des risques de l'AISM, qualitatifs (par exemple PAWSA, SIRA) comme quantitatifs (par exemple IWRAP).

Dans ce contexte, le but de la simulation dans la planification des AtoN et la conception des voies navigables est de tester, de démontrer et de documenter divers scénarios pour le déploiement de diverses conceptions d'AtoN et de voies navigables dans différentes conditions afin d'identifier la sécurité et l'efficacité opérationnelles optimales.

Les autorités en charge des AtoN et des voies navigables devraient pouvoir identifier les opportunités en utilisant la simulation en termes de réalisme par rapport aux coûts. Divers systèmes et concepts de simulation sont actuellement utilisés dans le monde entier, et leur utilisation et leurs limites sont décrites en détail à l'annexe A.

L'exigence de base de l'utilisateur d'un système de simulation est d'avoir un programme de simulation à plusieurs niveaux, qui fournit un moyen rentable et efficace d'évaluer, de repositionner et de concevoir des voies navigables, des chenaux et des AtoN associées.

### 3.1. CADRAGE DE L'ÉTUDE DE SIMULATION

Avant le début de la simulation, il peut être nécessaire que les autorités responsables des aides à la navigation et des voies navigables, les fournisseurs de services et/ou d'autres organisations entreprennent une analyse initiale intégrant l'étape 1 du processus d'évaluation des risques (voir G1018). Cette analyse pourrait fournir les données d'entrée et les paramètres essentiels pour la simulation et est donc essentielle pour en assurer des résultats précis. La portée minimale suggérée de cette phase d'analyse initiale comprendrait :

- l'identification des objectifs du projet de balisage ;
- déterminer les limites géographiques, les résultats d'une visite sur place, les contraintes de temps et les contraintes de financement générales, le cas échéant ;
- confirmer les exigences opérationnelles, notamment les types de navires, les routes, la densité du trafic, les conditions météorologiques, l'interaction avec les autres navires, la visibilité minimale requise ;
- définir le cadre des options possibles de marquage des chenaux (par exemple marquages de limites, marquages de danger, alignements, types d'AtoN).

## 4. PLANIFICATION DE LA SIMULATION

La liste ci-dessous énumère un certain nombre de questions qui devraient être soigneusement prises en compte lors de la planification d'une étude de simulation :

- Buts et objectifs spécifiques de la simulation en ce qui concerne les aides à la navigation (implantation, positions, type, caractéristiques, nombre, etc.)

- Détermination de l'aménagement actuel et futur du chenal/voie navigable/zone portuaire à étudier. Si la phase de chantier influe sur la sécurité ou l'efficacité d'un chenal, cette phase peut également nécessiter une évaluation par simulation.
- Les conditions environnementales à évaluer (par exemple vent, courant, marée, vagues, houle, bathymétrie, effets de berge, effets du vent, visibilité et opérations de jour et de nuit (y compris l'arrière-plan lumineux) ;
- Tenir compte du type d'utilisateurs, des navires et du trafic
- Tenir compte du niveau qualitatif des données, qui doit correspondre aux objectifs de l'évaluation des risques ;
- Les situations d'urgence à prendre en compte dans les simulations ;
- Déterminer l'équipement du simulateur à utiliser.
- Déterminer la participation des intervenants pendant les simulations.
- Déterminer si l'étude doit inclure des recommandations pour la formation des pilotes, des remorqueurs et des capitaines de navire.
- Déterminer les modèles de navire(s) et/ou de remorqueurs à utiliser pour la simulation.

De nombreux autres facteurs peuvent également influencer sur l'étude, notamment :

- Toute exemption de pilotage dans la zone ;
- Toute mesure de gestion du trafic maritime en place ;
- La nécessité d'évaluer des systèmes spécifiques d'aide à la décision, tels que les unités portatives d'assistance aux pilotes (Portable Pilot Unit, PPU).

#### 4.1. LE RÔLE DES PARTICIPANTS

Les autorités responsables des aides à la navigation maritimes et des voies navigables devraient faire participer les pilotes et les navigateurs locaux à l'ensemble du positionnement des aides à la navigation maritimes dans le processus d'étude des voies navigables et des ports, y compris la planification du programme des simulations, leurs scénarios et la production de conclusions et de recommandations, pour assurer l'adhésion ou l'acceptation. De cette manière, les opinions subjectives et individuelles sur les marges d'exploitation peuvent être évitées et un climat de travail avec confiance mutuelle peut être créé.

Si un fournisseur de services de simulation est impliqué, il est important que ces fournisseurs soient capables de gérer les études de simulation. Le fournisseur de simulation devrait être en mesure de trouver des marins et des ingénieurs expérimentés. Leur contribution devrait être fondée sur l'expérience professionnelle tout en maintenant la neutralité du fournisseur de simulation. En résumé, le fournisseur de simulation devrait être en mesure de procurer l'opinion impartiale d'un expert tiers sur le sujet.

## 5. FONCTIONNALITÉS DU LOGICIEL DE SIMULATION

Lors de l'évaluation des systèmes de simulation, les autorités responsables des aides à la navigation maritimes et des voies navigables devraient tenir compte de la liste de fonctionnalités suivante :

- permettre à l'utilisateur de comprendre la situation spatiale avant de mettre en oeuvre toute modification des caractéristiques physiques des AtoN ou de la conception du chenal ;
- permettre l'analyse coûts-bénéfices de différents types d'AtoN, y compris les caractéristiques de couleur et de feu ;

- les données sources de la plus haute qualité provenant des relevés, du terrain et des informations portuaires ;
- permettre une évaluation de la perceptibilité et de la pollution lumineuse à la fourniture des AtoN ;
- permettre l'évaluation de l'image radar ;
- évaluation de différents types d'AtoN, y compris les feux, les marques de jour, les bouées, les balises, les racons, les AIS et les VTS ;
- permettre l'évaluation des caractéristiques de manœuvre des différents navires ;
- l'évaluation de la vitesse du navire, particulièrement en ce qui concerne les engins à grande vitesse, en tenant compte des caractéristiques requises des feux et des racons ;
- la nuit, le jour et différentes simulations de visibilité ;
- utilisation de différents outils de simulation, de l'étude basique à la simulation de mission complète ;
- nécessité de simuler les conditions météo-océanographiques ;
- évaluation de la visibilité horizontale et verticale des navires et des AtoN ;
- capacité de superposer des historiques de données sur le trafic, y compris les données AIS et radar ;
- lien avec les ENC et parfois avec les RNC ;
- permettre la participation de différents intervenants, des pilotes aux équipes de passerelle ;
- permettre des simulations multi-navires et montrer l'effet de l'interaction du trafic avec tous les types de navires concernés ;
- permettre la simulation du comportement de manœuvre des remorqueurs et des conditions opérationnelles liées au contrôle des remorqueurs et à l'espace de manœuvre requis ;
- permettre l'évaluation de l'exactitude et de la performance de différents systèmes de positionnement (par exemple, DGNSS).

## 6. LES OUTILS DE SIMULATION, LEUR USAGE ET LEURS LIMITES

---

Un certain nombre d'outils de simulation différents sont disponibles pour les études de conception et ont des capacités, des fonctionnalités et des applications différentes. Les outils de simulation suivants seront décrits :

- Simulation rapide
- Simulation "bureau"
- Simulation de tâche partielle
- Simulation de mission complète

Il est important de souligner qu'il s'agit normalement du même logiciel de simulation, des modèles mathématiques de navires, des bases de données géographiques, y compris AtoN, et de l'outil de relecture qui sont utilisés pour la simulation, y compris pour les systèmes de bureau, de tâche partielle et de mission complète.

La plus grande précision des modèles mathématiques de navires peut être obtenue si les modèles sont basés sur des essais en bassin, des essais en soufflerie et peaufinés avec des données d'essai ou d'autres données à grande échelle. Cependant, il est également possible de produire des modèles basés sur des dessins et des modèles précédemment produits de type similaire de navires. Les modèles peuvent faire l'objet d'une validation finale par des navigateurs expérimentés qui connaissent bien le type et la taille des navires.

La base de données géographique décrit la zone où les simulations ont lieu. La fidélité de la représentation dépend des données de terrain disponibles, qui peuvent influencer les éléments hydrodynamiques et la scène visuelle.

Les conditions environnementales (par exemple, vagues, courant et vent) dépendent des conditions locales. Selon la complexité des conditions environnementales locales, des outils de modélisation hydrodynamique distincts peuvent être nécessaires pour générer des données sur les conditions environnementales comme données d'entrée pour les simulations.

La transition entre les simulateurs de bureau, de tâche partielle et de mission complète est facile et implique essentiellement l'ajout d'un champ de vision élargi et l'intégration d'instruments de bord réels, de communication et d'équipement de manœuvre.

Une description détaillée des méthodes de simulation énumérées ci-dessus est présentée à l'annexe A.

## 7. EXIGENCES EN MATIÈRE D'ANALYSE, DE RAPPORTS ET DE DOCUMENTATION

---

Comme les marges étudiées sont souvent très étroites, il est nécessaire que les fournisseurs de simulation soient en mesure de livrer une analyse approfondie des simulations afin de donner des conclusions et recommandations appropriées.

Le rapport devrait tenir compte des éléments suivants :

- But de la simulation ou de l'étude ;
- Méthodologie de simulation/étude ;
- Description de l'embarcation concernée ;
- Description de la modélisation de l'embarcation ;
- Description de la voie navigable et/ou de la zone portuaire, par exemple :
  - les conditions environnementales ;
  - les aides à la navigation ;
  - les parties compliquées de la zone évaluée.
- Description de la modélisation des conditions environnementales, des conditions météorologiques, des conditions de mer et de glace, y compris les informations sur la profondeur ;
- Description du paramétrage du simulateur ;
- Description des analyses effectuées (les enregistrements des simulations réalisées devraient être disponibles) ;
- Observations et considérations relatives aux manœuvres ;
- Résultats et analyse approfondie des résultats ;
- Conclusions plus recommandations et restrictions applicables concernant, par exemple :
  - Taille du navire ;
  - Effets de tangage, de roulis, de lacet et de soulèvement sur le navire et les AtoN ;
  - Vitesse (en ce qui concerne l'effet de squat) ;
  - Limites environnementales pour le vent, le courant, les vagues et la marée, le cas échéant ;
  - Visibilité ;
  - Effets de berge et interactions ;
  - Considérations relatives à la lumière du jour et à l'obscurité ;
  - Positionnement et fonctionnement des aides à la navigation ;

- Largeur et profondeur de la voie navigable.
- Description et évaluation des scénarios d'urgence.

Le rapport devrait en outre inclure ce qui suit, le cas échéant :

- Conclusions et recommandations pour l'assistance des remorqueurs, par exemple :
  - Description du modèle de simulation ;
  - Type de remorqueur (propulsion azimuthale arrière, propulsion Voith Schneider, etc.) ;
  - Recommandations de configuration et stratégies de manœuvre ;
  - Considérations relatives à la puissance de traction et, le cas échéant, au treuil.
- Autres recommandations applicables, notamment :
  - Système portatif d'assistance au pilotage ;
  - Formation des pilotes/capitaines de remorqueurs ;
  - Passages.
- Comparaison avec les recommandations du PIANC, le cas échéant

Le rapport devrait, comme mentionné ci-dessus, inclure des conclusions et des recommandations sur le projet de dispositif AtoN pour la zone étudiée, ainsi que son efficacité en coordination avec les règles et procédures de navigation, l'envergure et les niveaux de service, y compris l'installation éventuelle de certaines AtoN dont l'utilisation pourrait être consacrée spécifiquement à tel navire ou telle manœuvre.

Les commentaires, les conclusions et les recommandations des pilotes ou des commandants de bord locaux ayant participé devraient être consignés.

Les données devraient de préférence être proposées dans un format numérique pouvant être réutilisé dans le cadre d'un post-traitement.

## 8. CONSIDÉRATIONS D'EXACTITUDE ET DE RÉALISME

Une étude sur simulateur vise à établir un niveau acceptable combinant les considérations de sécurité et d'efficacité. Des exigences spécifiques, par exemple en matière de clair sous quille, d'utilisation des AtoN et de dragage de zones spécifiques, affectent à la fois la sécurité et l'efficacité. Il faut être en mesure de fournir une base pour les décisions qui correspondent à ces exigences. C'est l'argument fondamental pour avoir des exigences élevées de précision et de réalisme ainsi que de transparence dans les processus et pour les modèles utilisés pour la simulation.

Les données d'entrée doivent correspondre aux niveaux actuels de précision dans l'environnement local considéré.

Les éléments importants qui comptent parmi ceux dont il faut tenir compte pour s'assurer de l'exactitude et du réalisme sont les :

- Données hydrographiques ;
- Données cartographiques ;
- Proportions des navires et relations avec d'autres embarcations et avec la topographie ;
- Systèmes de navigation et de positionnement ;
- Variables maritimes et météorologiques (données météo-océanographiques) ;
- Représentation du paysage et des AtoN, de jour comme de nuit.



Il est clair que de nombreuses variables peuvent être utilisées pour produire un scénario simulé avec précision pour l'essai et la démonstration pour le(s) utilisateur(s). Pour atteindre un niveau acceptable de réalisme, il est essentiel que les données utilisées soient aussi précises que possible. Par exemple, le gabarit du navire par rapport à la hauteur d'eau disponible doit refléter les paramètres réels.

En général, il est important que les données issues des levés, de la CAO (conception assistée par ordinateur – CAD) ainsi que les données météo-océanographiques (vent, courant, marée, vagues, houle, glace) puissent être intégrées directement aux bases de données géographiques pour des raisons d'exactitude et d'intégrité.

## 9. DÉFINITIONS

---

Les définitions des termes et acronymes utilisés dans le présent guide peuvent être retrouvées dans le Dictionnaire international des aides à la navigation maritimes (IALA Dictionary).

## ANNEXE A OUTILS DE SIMULATION

### A.1. SIMULATION EN MODE ACCÉLÉRÉ

La simulation en accéléré peut être utilisée lors de la planification initiale du positionnement général des aides à la navigation dans les voies navigables et dans l'approche et l'accès aux ports, en particulier lors de l'évaluation de plusieurs propositions de conceptions et de plans.

Contrairement aux outils de simulation décrits ci-dessous, cet outil est un outil bidimensionnel fonctionnant avec un facteur d'accélération et n'a pas d'intervenant dans la boucle. Les paramètres d'entrée comprennent un ou plusieurs navires de conception spécifique, des données détaillées sur la bathymétrie, les dimensions et les restrictions proposées pour les voies navigables et les données météo-océanographiques. Les modèles de navires utilisés sont généralement entièrement modélisés (6 niveaux possibles), ce qui fournit un comportement réaliste des navires utilisés. Des modèles moins performants peuvent être utilisés, mais il faut veiller à ce que ces modèles correspondent aux objectifs et au but de l'évaluation des risques.

L'outil peut être utilisé pour une évaluation initiale des dimensions et de la conception d'une voie navigable donnée lorsqu'une ou plusieurs options possibles sont proposées.

L'outil est également utile pour sélectionner des scénarios adéquats pour une étude par simulateur de mission complète. L'outil peut fournir des indications sur la faisabilité physique d'un scénario, c'est-à-dire s'il est possible de diriger le navire en suivant une route voulue dans les limites physiques et environnementales.

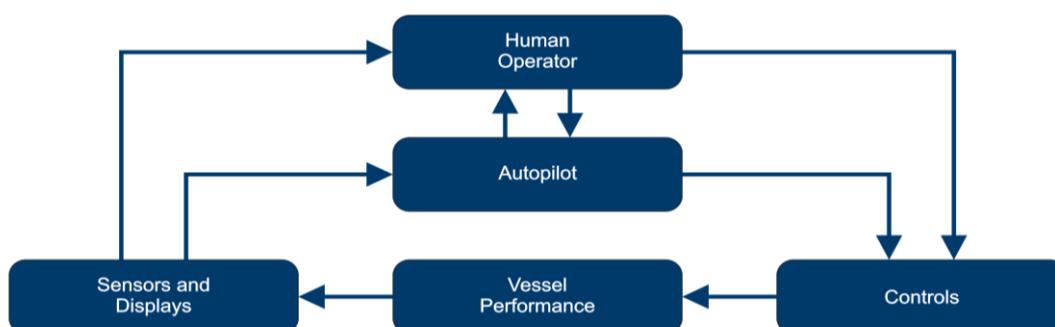


Figure 1 Composantes pouvant être incluses dans les simulations accélérées (Hollnagel, 1998)

L'outil peut être mis en pratique de façon déterministe quand le timonier est remplacé par un pilote automatique de pointe qui réagit avec une réponse calculée aux écarts de route. Comme ce pilote automatique est alimenté à partir d'une parfaite connaissance de l'état du navire et des influences environnementales, il n'est pas certain qu'un opérateur humain puisse produire les mêmes résultats. Une recherche subséquente en temps réel sur simulateur avec interaction humaine répond à cette exigence.

Une autre façon de mettre l'outil en pratique est la manière probabiliste. Dans cette configuration, la compétence incertaine du timonier et les variations de son comportement sont représentées par des fonctions stochastiques parfois appelées navigateur virtuel. Par conséquent, le navigateur virtuel représente le comportement de différents capitaines dans leurs manœuvres. En répétant la simulation de nombreuses fois avec de nouvelles variations stochastiques (un procédé appelé Monte Carlo), on obtient un certain nombre de traces différentes formant une épure de giration, qui peut être analysée statistiquement. La largeur de l'épure dépend considérablement du choix des paramètres stochastiques.

Le système peut fournir des distances par rapport aux AtoN, aux limites de la voie navigable et aux valeurs de clair sous quille.

Le système ne tient pas compte de l'existence d'autres trafics.



Cette illustration montre le résultat d'une simulation accélérée où un navire de croisière a entrepris plusieurs passages à partir d'un port. Une trace réelle est affichée au-dessus de la zone balayée pour toutes les simulations.

Surtout après le virage, le navire présente un grand angle de dérive et il faut prendre soin de stabiliser le navire sur sa route.

Figure 2 Une illustration de simulation accélérée

### A.1.1. AVANTAGES

- Peut évaluer la problématique dans le cadre d'une première étude de faisabilité quantitative ;
- Peut évaluer efficacement plusieurs scénarios ;
- L'outil est facilement accessible à une personne ou peut être utilisé en consultation avec les organisations qui disposent des installations appropriées ;
- Le système assure une répartition probable des routes dans un délai relativement court ;
- Permet aux utilisateurs de simuler la conception sans avoir besoin de se rendre sur place ;
- Permet des changements progressifs dans les scénarios en fonction des retours ;
- Faciliter l'analyse coûts-bénéfices (étape 4 du processus de gestion des risques).

### A.1.2. INCONVÉNIENTS

- Le temps nécessaire pour la réalisation d'une série de simulations dépend de la capacité de l'ordinateur, car le système tentera de traiter les simulations le plus rapidement possible ;
- La route à suivre pour le navire doit être spécifiée comme une entrée dans le modèle ;
- La préparation et la configuration de nombreux scénarios peuvent prendre du temps ;
- Ne permet pas de changements dynamiques pendant la simulation ;
- Ne fournit pas de plateforme pour évaluer le facteur humain ;
- Aucun navigateur humain dans la boucle de contrôle. Les pilotes automatiques ne reproduisent pas le comportement humain et les modèles informatiques du comportement humain peuvent avoir des limites ;
- Il faut faire preuve de prudence à l'égard des hypothèses introduites dans les modèles de pilote automatique avancé ou de navigateur virtuel en demandant la documentation du pilote automatique ou du navigateur virtuel sous-jacents.

## A.2. SIMULATION DE BUREAU



Figure 3 Exemple d'un casque RV

La simulation de bureau peut être utilisée pour les études initiales de faisabilité au début de la phase de conception, pour évaluer l'efficacité de la conception des aides à la navigation et toute proposition de mise en place de nouvelle AtoN dans les voies navigables ou les approches portuaires.

La simulation peut être exécutée sur un PC unique où l'utilisateur interagit avec des modèles de navires et de zones à l'aide d'une souris ou d'un boîtier de commande externe comme en figure 4 ci-dessus.

Le fonctionnement de ce système doit être à même de donner à l'utilisateur une expérience réaliste, répondant aux objectifs d'une tâche particulière. Par exemple, il suffirait d'utiliser les remorqueurs vectoriels comme un outil pour les études initiales des propositions de conception préliminaire. Comme les simulations impliquent normalement une seule personne, la communication avec les autres navires, les services portuaires et VTS n'est pas simulée. D'autres trafics peuvent être intégrés dans la simulation, mais ils suivront simplement des routes préprogrammées.

La figure 3 montre un exemple d'utilisation de la réalité virtuelle (RV). L'écran de la RV offre un champ de vision de 360 degrés.

La partie inférieure de la figure 3 montre un système d'affichage avec deux écrans supplémentaires afin que l'opérateur puisse avoir, en permanence, la vue extérieure, l'affichage de la manoeuvre, la carte électronique et l'image radar.

La figure 4 est un exemple où le navire est contrôlé au moyen d'un boîtier de commande simple.

Le système de simulation de bureau est rarement utilisé en mode bidimensionnel seul, sans utilisation de la visualisation tridimensionnelle.

### A.2.1. AVANTAGES

- Opportunité d'obtenir l'interactivité à moindre coût
- Facilité de simuler différents scénarios
- Le système peut être transportable, ce qui permet aux utilisateurs de participer plus facilement au processus de simulation
- Relativement peu coûteux et peu de temps pour établir les simulations comparativement à d'autres outils



Figure 4 Vue extérieure du système multi-écrans et du boîtier de commande externe

- Peut être utilisé comme outil de visualisation pour les non-marins.

### A.2.2. INCONVÉNIENTS

- Le niveau de réalisme est réduit par rapport à la mission complète et au simulateur de tâches partielles et, par conséquent, ce système est problématique pour les pilotes et les navigateurs puisqu'il leur manque les repères essentiels dont ils disposent normalement (par exemple, champ de vision complet et détection des vibrations et des sons) ;
- L'interface homme-machine très dégradée limite la recherche et le traitement de l'information et affecte le temps de réponse. C'est particulièrement le cas si une souris est utilisée pour contrôler le navire ;
- Manque de réalisme pour procurer au navigateur un ressenti approprié en termes de facteurs humains ;
- Il est difficile pour les navigateurs, par exemple, d'évaluer les distances, la vitesse et la dérive par rapport à une situation réelle ;
- Il faut faire très attention à la taille de la représentation visuelle affichée sur un petit nombre d'écrans, ce qui peut donner une vision trop simpliste pour la prise de décision ;
- Les inconvénients mentionnés ci-dessus sont encore plus importants lorsque le système est utilisé en mode 2D (vue à vol d'oiseau) au lieu du mode visuel 3D avec vue de l'extérieur « par la fenêtre ».

### A.3. SIMULATION DE TÂCHE PARTIELLE



Figure 5 Simulateur de tâche partielle



Figure 6 Cabine du remorqueur

Une simulation partielle peut être utilisée pour évaluer l'efficacité de la combinaison des aides à la navigation, de la conception des chenaux et des procédures, en vue de navires spécifiques ou de manœuvres spécifiques caractérisant les types de navires actuels ou futurs, naviguant dans une voie navigable spécifique.

Par rapport à la simulation de bureau, les simulations de tâches partielles ont un niveau de fidélité plus élevé dans certaines tâches et opérations pour lesquelles le simulateur est conçu et peuvent être considérées comme un outil intermédiaire entre les simulations de bureau et les simulations de mission complète. Un simulateur de tâches partielles (figure 5) est caractérisé par un système visuel tridimensionnel étendu projetant des images sur un ou plusieurs écrans.

De plus, le modèle de la zone simulée pourrait être plus détaillé avec la mise en œuvre de données météo-océanographiques plus précises. Instruments, manettes et fonctionnalités opérationnelles depuis les types génériques simples jusqu'à des applications plus spécifiques, par exemple :

- Navires dotés de systèmes spéciaux de propulsion (par exemple, propulsion par Pod) ;

- Navires dotés d'instruments spéciaux ;
- Systèmes de positionnement dynamique ;
- utilisation de divers types de remorqueurs et de concepts de remorquage (figure 6) :
  - La conception fondamentale des voies navigables peut être vérifiée en simulant l'utilisation des remorqueurs à différents niveaux de réalisme ;
  - Les remorqueurs vectoriels ou l'utilisation de simulateurs de remorqueurs réels conjointement avec le simulateur du navire principal peuvent être envisagés, en insistant sur le fait que le niveau de réalisme augmente considérablement avec les différents types possibles ;
  - Lorsqu'on utilise les remorqueurs entièrement modélisés, il est possible d'évaluer les facteurs humains, comme les difficultés de communication et de manœuvre.

Souvent, un instructeur ou un opérateur participe aux simulations pour aider à contrôler les scénarios. Les modifications des paramètres du modèle tels que les positions et les caractéristiques des AtoN peuvent être changées d'une simulation à la suivante.

### **A.3.1. AVANTAGES**

---

- Occupe moins d'espace et est plus économique qu'un simulateur de mission complète ;
- Peut être relié à d'autres simulateurs pour une expérience plus interactive ;
- Plus réaliste avec de meilleures caractéristiques et de meilleures commandes par rapport au bureau ;
- Réalisme suffisant pour assurer la compréhension de l'utilisateur et, par conséquent, un meilleur retour de la part de l'utilisateur ;
- Coût inférieur à la simulation de mission complète et délai d'établissement plus court ;
- Niveau de fidélité supérieur par rapport à la simulation de bureau ;
- Les navigateurs sont inclus dans le processus de simulation, ce qui permet d'exécuter le passage ou l'opération de manière réaliste ;
- Peut être transporté (par exemple, dans un conteneur standard ou des caisses de fret aérien).

### **A.3.2. INCONVÉNIENTS**

---

- L'implication des participants peut être inférieure à celle de la simulation de mission complète ;
- Le niveau d'entrée disponible est moins élevé, de sorte que le retour des utilisateurs peut être moins complet que dans le cas d'une simulation de mission complète ;
- Coûts d'installation et d'entretien élevés par rapport à la simulation de bureau ;
- Il peut encore y avoir des indices manquants en raison d'instruments rudimentaires (instrumentation légère) ou d'un champ de vision limité qui rendent le système de simulateur inadéquat pour valider la conception finale ou la position des AtoN dans un projet de voie navigable.

D'une façon générale, il est important, pour une validation finale, que le réalisme des scénarios simulés soit suffisamment élevé pour que les marins puissent manoeuvrer le navire dans le simulateur comme en conditions réelles. Ceci est généralement obtenu avec un simulateur de mission complète.

## A.4. SIMULATEUR DE MISSION COMPLÈTE



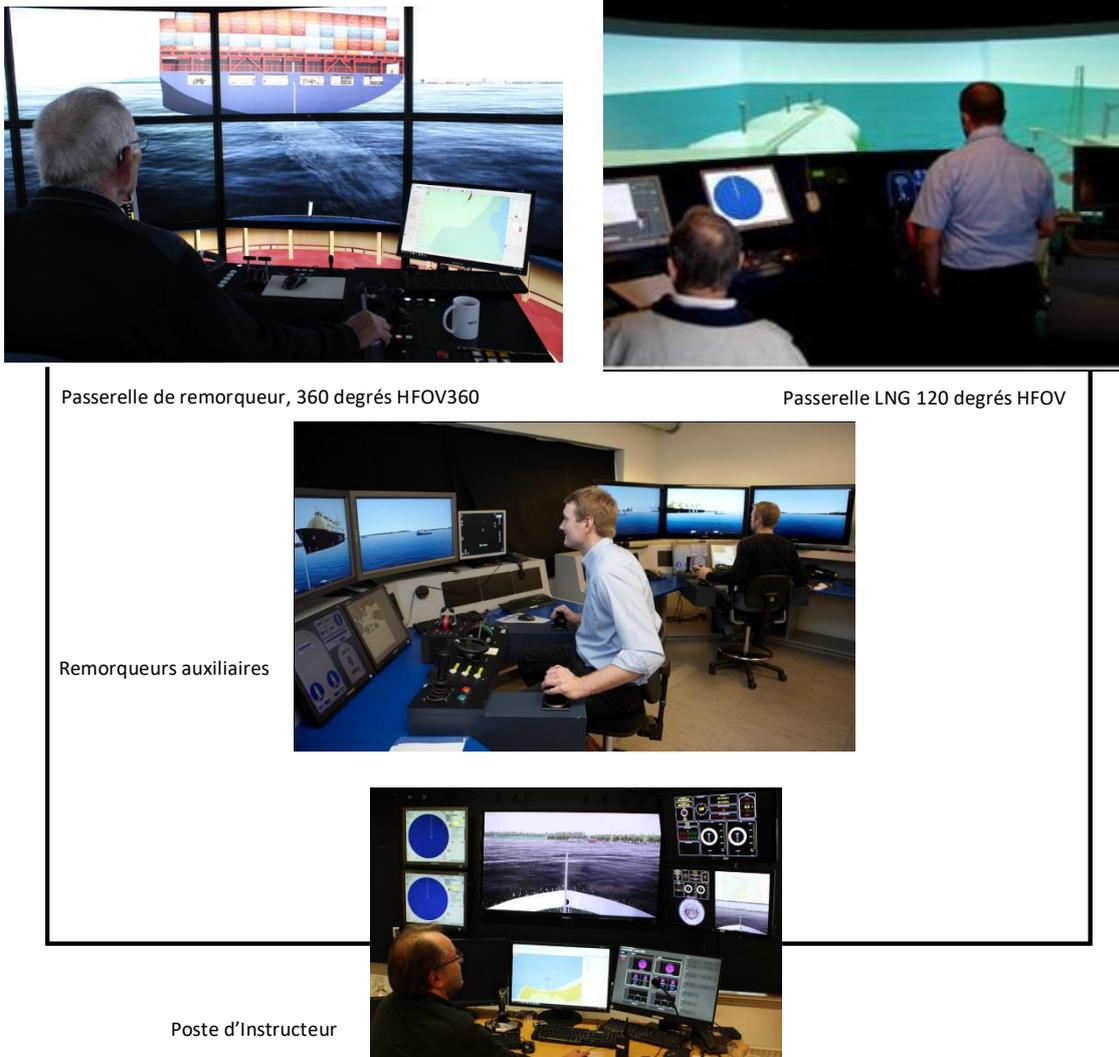
Figure 7 Simulateur unique de mission complète

La simulation de mission complète valide l'efficacité de l'ensemble des aides à la navigation en combinaison avec des aspects particuliers de manœuvre et la définition de procédures d'utilisation normalisées. La figure 7 illustre un simulateur unique de mission complète. Le simulateur de mission complète est caractérisé par un champ de vision de 240 degrés (ou plus) projeté sur des écrans ou des moniteurs. Instrumentation, commandes et équipements de communication sont réels. Le niveau de réalisme est augmenté par l'introduction de sons et de vibrations. Avec cette configuration, il est possible d'exécuter des scénarios d'intervention d'urgence comme une perte de propulsion ou une panne de gouvernail et d'indiquer les pannes au moyen de panneaux d'alarme.

Il est également possible de coupler deux ou plusieurs simulateurs pour étudier le trafic bidirectionnel ou des scénarios de trafic plus complexes, ou l'utilisation de remorqueurs.

Le concept de mission complète est caractérisé par un large champ visuel pour les simulateurs qui jouent un rôle essentiel dans le processus d'évaluation. L'utilisation d'instruments et de commandes réels fournit aux marins des indications aussi réalistes que possible. De cette façon, les conclusions et recommandations sont fondées sur un examen approfondi des aspects techniques ainsi que des facteurs humains importants (tels que les temps de réponse et la communication).

En général, les simulations en accéléré, les simulations de bureau et les simulations de tâches partielles sont utilisées pour les évaluations dans les phases de conception initiale et les résultats sont utilisés comme intrants pour peaufiner davantage la conception. Les simulations de mission complète, y compris les systèmes de simulation de remorqueurs de mission complète, sont utilisées dans le cadre de la validation finale d'un plan ou des conditions opérationnelles.



Passerelle de remorqueur, 360 degrés HFOV360

Passerelle LNG 120 degrés HFOV

Remorqueurs auxiliaires

Poste d'Instructeur

Figure 8 Système de simulation de mission complète avec plusieurs simulateurs couplés

Le recours au remorquage d'escorte (remorquage indirect) dans les voies navigables est de plus en plus utilisé pour aider les navires de plus en plus grands à manoeuvrer et à naviguer. La disposition des AtoN et la largeur de la voie navigable devraient tenir compte de ces opérations et nécessitent un outil de simulation réaliste pour la validation.

Au cours des simulations de mission complète en particulier, les navires de conception et les remorqueurs devraient être manoeuvrés par des marins professionnels, de sorte que le résultat des simulations serait fondé sur des jugements professionnels et des pratiques exemplaires acceptées.

La vérification de l'aménagement final d'un chenal, d'une zone portuaire ou d'une modification portuaire peut être étudiée au moyen d'un système de simulation de mission complète. Par conséquent, comparativement aux simulateurs de bureau plus petits ou aux simulateurs de tâches partielles, le concept de mission complète est préférable pour la validation. Des pilotes locaux, des capitaines de remorqueurs, des autorités portuaires et d'autres experts en la matière peuvent participer aux simulations de mission complète et apporter leur expertise et leur expérience pratique afin d'établir une base de décision viable.

La raison fondamentale de mettre l'accent sur l'utilisation d'un système de mission complète, combiné à la participation mentionnée ci-dessus d'experts compétents, est que c'est la seule façon de veiller à ce que la conduite des navires ainsi que les éléments humains importants soient suffisamment mis en évidence pour assurer le plus haut niveau de réalisme possible. En outre, compte tenu du fait que les marges de sécurité sont constamment mises

à l'épreuve, par exemple pour réduire la largeur du chenal et le clair sous quille requis pour les navires de plus en plus gros qui font escale dans les ports.

#### **A.4.1. AVANTAGES**

---

- Aussi proche que possible de la réalité et interface homme/machine plus réaliste ;
- Permet une évaluation précise et réaliste de différents scénarios ;
- Réalisme suffisant pour assurer la compréhension de l'utilisateur et donc un retour optimal ;
- Modification dynamique du modèle possible à tout moment ;
- Ce système offre le plus haut niveau de fidélité et fournit aux navigateurs participants des indices réalistes et pertinents comparables à une opération réelle.

#### **A.4.2. INCONVÉNIENTS**

---

- Très coûteux par rapport aux études théoriques et nécessite des installations dédiées ;
- Peut ne pas convenir à l'évaluation initiale en raison des coûts ;
- Non transportable ;
- Le coût de ces systèmes signifie que la disponibilité est limitée à certaines organisations qui offrent ce service ;
- Même si les systèmes modernes de simulation de mission complète fournissent des modèles réalistes et précis, les systèmes ne modélisent pas entièrement la situation réelle et tous les repères ;
- L'effet du temps de simulation relativement court (comparativement à l'exploitation réelle en passerelle) qui permet une attention soutenue et élevée, est inconnu.

*\* L'AISM exprime sa gratitude pour l'utilisation de matériel sous forme de photographies et d'illustrations fournies par FORCE Technology, Kgs. Lyngby, Danemark.*

## ANNEXE B CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET TECHNOLOGIE PERTINENTES POUR LA SIMULATION DES ATON

### B.1. INTRODUCTION

---

Le guide *G1058* de l'AIMS sur l'utilisation de la simulation comme outil de conception des voies navigables et de planification des AtoN se veut un document stratégique de haut niveau pour aider les autorités compétentes à comprendre comment les outils de simulation peuvent aider à planifier et à mettre en œuvre les AtoN. La présente annexe devrait être considérée comme une orientation technique générique qui complète le guide *G1058*.

Il est fait référence au NAVGUIDE [9] pour une définition des AtoN.

Technologie en développement rapide, la simulation par ordinateur offre aux utilisateurs un niveau croissant de fidélité et de réalisme ; d'autre part, cette technologie aura toujours ses limites intrinsèques. La présente annexe fournit des considérations génériques sur l'utilisation de la technologie de simulation disponible, donnant ainsi un aperçu et une connaissance des capacités et des limites des logiciels de simulation, des dispositifs visuels, des outils de visualisation et d'autres systèmes pertinents. Il identifie également un ensemble de caractéristiques dont il est important de tenir compte pour atteindre les objectifs d'une étude de simulation pour la planification, la recherche et la mise à l'essai de mesures potentielles d'atténuation des risques, y compris les AtoN.

La présente annexe se fonde sur le niveau technologique au jour de sa publication. Étant donné que les outils de simulation maritime comprennent plusieurs éléments de technologies particulières en constante et rapide évolution, les utilisateurs doivent savoir que la technologie décrite dans certaines parties de la présente annexe peut avoir progressé davantage au moment de la lecture. Il est donc recommandé que les utilisateurs consultent les fabricants de systèmes de simulation pour obtenir des renseignements sur les derniers développements.

### B.2. CHAMP D'APPLICATION

---

La présente annexe couvre les :

- Besoins et exigences des utilisateurs
- Modélisation et simulation des AtoN
- Simulation visuelle et technologie d'affichage
- Technologie d'affichage
  - Salles de projection
  - Murs d'images
  - Affichage de RV
- Simulation radar
- Simulation sonore
- Simulation de systèmes de navigation maritime

### B.3. BESOINS ET EXIGENCES DES USAGERS

---

La présente annexe est fondée sur les besoins et les exigences des utilisateurs définis par les membres du Comité ARM. Pour déterminer les besoins des utilisateurs, il faudrait tenir compte de la classification suivante :

*Table 1 Classification des besoins des usagers*

Applications/Utilisateurs	Navigateurs	Ingénieurs/Scientifiques
Recherche	Le comportement du navire, comme le virage, le clair sous quille, l'impact des systèmes de passerelle sur la navigation	Comparaison visuelle des couleurs, de l'intensité et des caractéristiques des éclats
Développement		Comparaison des sources lumineuses, évaluation des couleurs de surface
Conception du système et expérimentation	Chenaux/canaux, dispositifs de balisage	Conception des bouées, mouvement, divergence verticale

En plus des exigences des utilisateurs identifiées, des informations pertinentes et détaillées peuvent être trouvées dans les recommandations et guides existants de l'AISM.

#### B.4. MODÉLISATION ET SIMULATION DES AIDES A LA NAVIGATION MARITIMES

La simulation est un outil rentable et souple qui peut appuyer les activités décrites à la section B.3. La simulation est considérée comme la meilleure des solutions juste derrière l'observation des AtoN réelles en fonctionnement. Il permet à l'utilisateur d'étudier les AtoN lorsqu'il n'est pas possible ou trop coûteux d'expérimenter directement avec des AtoN réelles.

Les principaux avantages de la simulation sont les suivants : elle permet de

- tester les nouveaux concepts sans affecter de ressources à leur mise en œuvre ;
- comprendre comment fonctionnent les AtoN ;
- expérimenter des situations inhabituelles ;
- répondre à des questions hypothétiques.

La simulation doit fournir des niveaux adéquats de précision et donc de crédibilité. Plus la simulation ressemble à des situations réelles, plus il est facile pour les utilisateurs finaux et les décideurs de s'y rapporter. Les caractéristiques des AtoN devraient donc être saisies le plus fidèlement possible pour permettre de prendre des décisions fondées.

Même si la simulation présente de nombreux avantages, les utilisateurs devraient comprendre les fonctionnalités et les limites des éléments individuels d'un système de simulation. La qualité du résultat d'une étude de simulation dépend de la qualité du modèle, de la compétence de l'utilisateur et de la qualité des données d'entrée.

Le guide *G1058* souligne l'importance d'examiner attentivement quand et dans quelle mesure les utilisateurs finaux/navigateurs doivent participer à la simulation pour planifier, exécuter et évaluer les résultats d'une étude de simulation.

Idéalement, la perceptibilité d'une AtoN dans une simulation et dans un monde réel devrait être identique. Malgré une grande précision du modèle simulé, il n'est pas possible de générer une situation aux données comparables. L'utilisateur doit comprendre l'écart entre le monde réel et le monde simulé pour maximiser les avantages de la simulation.

La figure 9 illustre les quatre canaux par lesquels les informations peuvent être transmises par les AtoN à l'utilisateur. Pour chaque canal, les médias, le modèle et les données nécessaires sont illustrés. Chaque canal nécessite des moyens individuels de modélisation et de présentation et est abordé dans les sections suivantes.

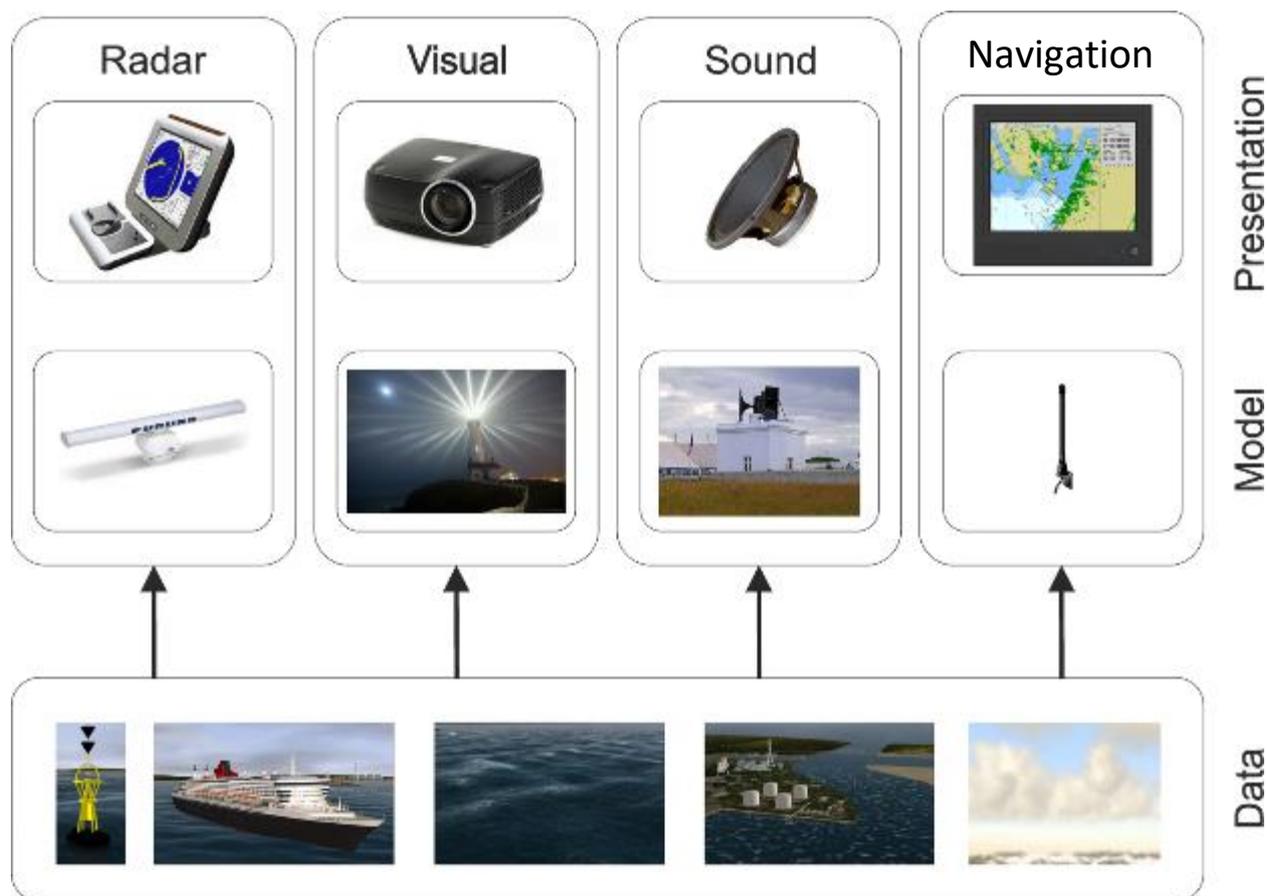


Figure 9 Modélisation et présentation des AtoN

Table 2 Comparaison des supports de présentation

Canal		Supports de présentation	
		Réalité	Simulation
	Radar	Surveillance / PPI	Surveillance, affichage RV
	Visuel	Soleil, lampes, etc.	Projection, surveillance, affichage RV, etc.
	Sonore	Cornes de brume, cloches, etc.	Haut-parleurs
	Radio	Ecran	Surveillance, affichage RV

Table 3 *Modèle de simulation*

Canal		Modèle de simulation
	Radar	Simule la façon dont l'émetteur-récepteur transmet des impulsions et reçoit des échos dans le modèle de données du monde 3D..
	Visuel	Simule la façon dont la lumière sur site, directe ou réfléchi, se diffuse et pénètre dans l'œil avant la perception visuelle. La scène visuelle
	Sonore	Simule la façon dont le son est reçu des émetteurs sonores, comme les cornes de brume, le son des phénomènes météorologiques, le son à bord des navires, etc. sont reçus avant la « présentation » par le haut-parleur sonore.
	Radio	Simule la façon dont les ondes radio des stations radio sont reçues, interprétées par le récepteur et finalement affichées sur l'écran de l'ECDIS ou d'autres informations de navigation.

Une représentation unique du monde simulé est utilisée par les 4 canaux, bien que chaque canal se concentre sur des aspects spécifiques du modèle de données.

Table 4 *Modèles de données*

Chenal		Modèle de données
	AtoN	Les positions, la couleur des caractères nautiques, les caractéristiques des éclats, la géométrie des bouées, etc. font partie du modèle de données pour AtoN.
	Navires	Les caractéristiques de manoeuvre des navires, l'apparence visuelle et les feux de navigation font partie du modèle de données des navires.
	Océan	Le régime océanique des vagues, les courants, les marées, le vent et la bathymétrie sont des exemples d'éléments du modèle de données
	Topographie	Le modèle topographique comprend le paysage, la végétation, les bâtiments ainsi que les sources lumineuses fournissant un arrière-plan lumineux.
	Atmosphère	La lumière réfléchi du soleil et la lumière des feux de navigation sont diffusées par les conditions atmosphériques réelles, comme avec le brouillard, la brume, les nuages, etc. Les couleurs du ciel en arrière-plan changent au cours de la journée et affectent la visibilité. Les données correctes pour ces effets font partie du modèle de données complet.

## B.5. SIMULATION DE REPÈRES VISUELS

---

### B.5.1 TECHNOLOGIE DE PRESENTATION

---

La technologie de présentation est le système responsable de la transmission des indications visuelles au navigateur sur la passerelle du simulateur.

Un certain nombre de technologies de présentation sont disponibles, allant d'un moniteur unique ou écran RV à un mur vidéo LED ou une vue projetée sur un mur circulaire. Tous ont leurs points forts et leurs limites.

Pour qu'une simulation soit efficace, l'utilisateur doit être en mesure de tirer toutes les informations visuelles pertinentes des stimuli – la résolution de l'écran peut donc être plus importante que sa luminance, bien qu'il puisse y avoir une certaine interaction en raison des caractéristiques physiques de l'œil humain.

La première question à laquelle il faut répondre avant de choisir une technologie de présentation est ce que seront les « renseignements visuels pertinents » susmentionnés. Ensuite, à partir des technologies disponibles, la solution la plus rentable peut être choisie. Dans les modèles de simulation, les limites de la technologie de présentation peuvent être compensées dans une certaine mesure. Si l'information visuelle ne peut pas être suffisamment transférée par l'une ou l'autre des technologies disponibles, un retour visuel supplémentaire pourrait être fourni à l'utilisateur, mais pas nécessairement.

Toutes les technologies discutées dans les sections suivantes utilisent la technologie numérique, qui a une résolution finie. Étant donné que le nombre de pixels disponibles fait partie intégrante du matériel utilisé, il faut en tenir compte avec soin.

La configuration type des systèmes visuels des simulateurs marins est la suivante :

- projecteurs pour passerelles de grandes dimensions ;
- des moniteurs pour les petites installations ;
- Affichage de la RV

#### **Projecteurs**

Un système de projection implique une source lumineuse à partir de laquelle une image est projetée sur un écran. L'utilisateur observe l'écran et le transfert d'image est donc indirect. L'écran de projection est généralement distant de plusieurs mètres de la position de l'observateur, ce qui renforce le sens de la réalité via la perspective. Un inconvénient est que les pertes de rayonnement et de réflexion limitent la luminance de l'image de sorte que les conditions simulées peuvent ressembler à l'éclairage du crépuscule.

Les techniques de projecteur utilisées déterminent la puissance lumineuse à la source, le contraste et la précision des couleurs, la vitesse de réponse, etc. Les développements continus sont stimulés principalement par l'industrie du jeu et du cinéma numérique et soutenus par l'augmentation constante de la puissance des ordinateurs. Le paramètre probablement le plus important pour la simulation des AtoN visuelles est la résolution – et comme tout cela concerne l'imagerie numérique, c'est déterminé par le nombre de pixels par minute d'arc vu de la position de l'utilisateur.

Sur un simulateur de passerelle complet, un grand angle de vision est un champ de vision typique de 210 degrés projeté sur les écrans (360 degrés de préférence). Une configuration fréquemment appliquée est un écran de projection circulaire avec un certain nombre de projecteurs en-dessous ou au-dessus de la passerelle du simulateur, chacun étant responsable d'un secteur de la vue extérieure. Outre les caractéristiques des projecteurs, certaines questions spécifiques concernent la composition de l'image dans un tel théâtre.

L'image projetée de chaque projecteur devrait idéalement être une section cylindrique parfaite, toutes les couleurs nettes et alignées sur toute l'image. Comme les projecteurs ne peuvent pas tous être au centre de la section du cylindre, par exemple en raison d'obstacles comme dans une timonerie, le système de génération d'images doit compenser cela. En outre, la projection d'une source d'image plate conduirait à une image plane projetée, de sorte

que le foyer doit être corrigé pour l'image cylindrique. Ces corrections sont relativement normées, bien que de nombreuses heures de réglage puissent être nécessaires pour configurer et maintenir une image optimale.

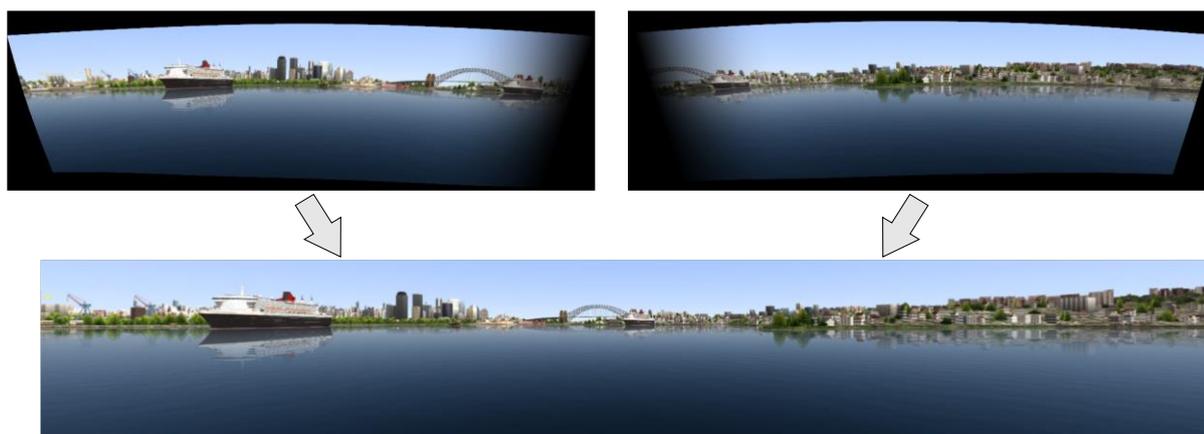


Figure 10 Déformation et mélange de deux images de canal visuel pour les rendre correctes à l'écran de projection

### Moniteurs

Une configuration basée sur un moniteur est moins coûteuse que si elle est basée sur un projecteur, en offrant la même qualité d'image. Cependant, la sensation d'immersion est plus élevée pour un système basé sur un projecteur avec un champ de vision sans rupture, n'ayant pas de zones aveugles dues au masquage par les bordures d'écrans. Comme dans une maquette de vraie timonerie.

Lorsqu'une image simulée est présentée sur un ou plusieurs écrans, les pertes par rayonnement et par réflexion associées à la projection sont évitées. Les écrans peuvent remplacer les baies vitrées de la passerelle, les cadres de fenêtres donnant une séparation naturelle à partir des écrans adjacents. Avoir les affichages à proximité diminue l'impression de perspective. La position de l'utilisateur sur la passerelle devrait être fixe, sinon l'absence de parallaxe serait apparente à partir des cadres de fenêtre.

Un mur d'images se compose de plusieurs moniteurs vidéo placés côte à côte ou les uns sur les autres. Il est important que les cadres des moniteurs adjacents ne soient pas visibles. La mise sous tension et le contrôle des écrans peuvent représenter un défi technique, comme le montre la figure 11 ci-dessous.

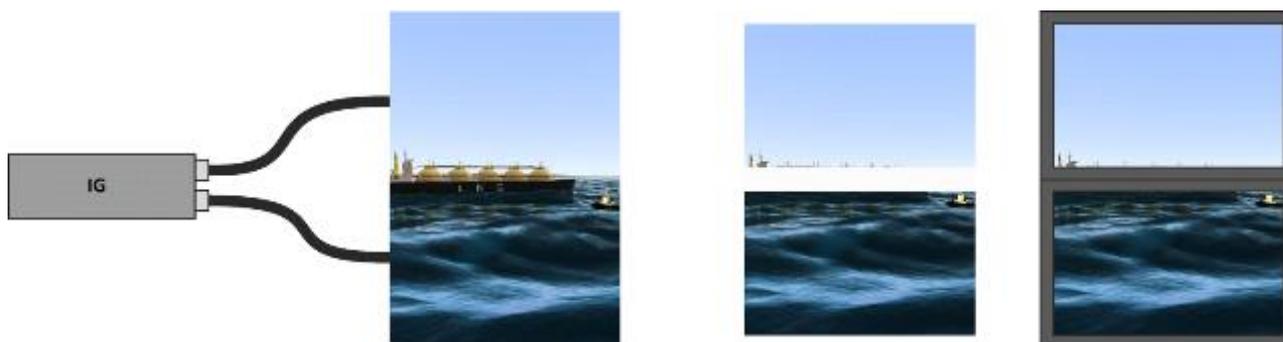


Figure 11 Correction Bezel pour les murs d'images

La figure 11 illustre le processus de « correction Bezel » (correction de l'encadrement) consistant à supprimer les pixels en arrière du cadre de plusieurs moniteurs. La correction de l'encadrement doit être effectuée si les images visuelles sont rendues par un canal IG (générateur d'images) et affichées sur plusieurs moniteurs.

Une simulation peut utiliser une combinaison des techniques décrites ci-dessus. Par exemple, un moniteur séparé pourrait être utilisé pour compléter la vue arrière avec une vision de passerelle projetée à 270 degrés. En outre, les

feux des AtoN pourraient être superposés sur une vue projetée avec des faisceaux laser séparés, donnant un contraste élevé et une haute résolution.

Lorsqu'une vue projetée est combinée avec des moniteurs supplémentaires pour la vue arrière, ou une vue depuis l'aileron de passerelle, la différence de luminance et de contraste des affichages devrait être prise en compte.

Un avantage des moniteurs par rapport aux systèmes de projection est que les pixels ne sont pas déformés par des aberrations optiques, de sorte que la résolution n'est pas réduite par le flou des images pixelisées. En outre, le processus de réglage habituellement très laborieux pour obtenir la meilleure image projetée possible est évité. Selon la distance entre l'utilisateur et les moniteurs, le nombre de moniteurs nécessaires pour fournir un champ de vision raisonnable pourrait devenir assez grand et le réglage des couleurs d'affichage reste une tâche importante.

Plus la distance entre l'utilisateur et les moniteurs est grande, plus le sens de la réalité devient meilleur (s'approchant de celui d'une image projetée). La distance et le pas de pixel de l'écran déterminent ensemble la résolution maximale affichable. Par exemple, si nous avons un moniteur avec un pas de pixel de 0,25 mm et que nous avons besoin d'une résolution de 1', la distance doit être d'au moins 86 cm. Pour obtenir un champ de vision de 30 degrés pour un écran, la taille de l'écran doit être de 46 cm. Un moniteur avec la même résolution, mais deux fois plus grand (ayant ainsi un pas de pixel de 0,5 mm) peut être placé au double de la distance pour obtenir la même représentation visuelle. Les options sont illustrées à la figure 12.

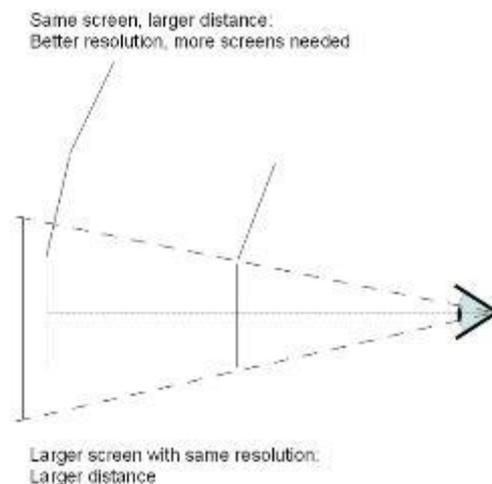


Figure 12 Configurations d'écran

### Affichages en réalité virtuelle (RV)

La même logique et les mêmes techniques peuvent être appliquées avec la réalité virtuelle. Au lieu de créer un très grand mur de projection, l'utilisateur peut se servir de petits écrans montrant tout ce qu'il devrait être en mesure de voir. Les écrans sont intégrés dans un écran **RV** que l'utilisateur porte, excluant son environnement réel. L'écran **RV** doit détecter la position de la tête de l'utilisateur et la direction de sa vue. Cette information doit conduire à une adaptation très rapide de l'image, car la latence (le temps de retard de l'image) doit être assez faible pour que l'utilisateur garde l'illusion qu'il regarde vraiment autour de lui. La résolution en RV est très bonne pour la simulation, ce qui fait de la RV une solution d'affichage plutôt attrayante en termes de coût. Les affichages RV offrent une qualité d'image aussi bonne comparée à la configuration basée sur l'écran et le champ de vision sans bordure comme dans la solution basée sur le projecteur. En plus de cela un système de simulateur utilisant l'affichage RV peut assez facilement être déplacé à un autre endroit physique. Par conséquent, l'utilisateur n'est pas lié à un centre de simulation spécifique.

Indépendamment du choix du système d'affichage, les indicateurs de qualité à observer par ordre d'importance sont les suivants :

- Contraste

- Résolution
- Luminosité
- Espace couleur
- Certification qualité
- Système de générateur d'images

Il est très important que le fournisseur du système de simulation puisse vérifier que le logiciel prend en charge le système d'affichage pour son usage prévu.

## B.5.2. MODELISATION

Lors de la représentation d'AtoN, un certain nombre de modèles doivent être pris en compte. Bon nombre de ces modèles ne peuvent être considérés isolément parce que les changements dans un modèle peuvent avoir une incidence sur les conditions d'un autre modèle. Chacun de ces modèles est présenté au tableau 5 et est regroupé en catégories. Les paragraphes suivants décrivent certains de ces modèles, ou des combinaisons de modèles lorsqu'ils s'influencent mutuellement.

Table 5 Modèles conceptuels pertinents pour la simulation

Observateur	AtoN	Environnement
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Éclairement</li> <li>• Amplitude angulaire</li> <li>• Couleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AtoN fixes           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feux               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Point</li> <li>○ Ligne</li> <li>○ Surface</li> </ul> </li> <li>• Construction               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Géométrie</li> <li>○ Matériaux de surface</li> <li>○ Eclairage de site</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• AtoN flottantes           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mouvements               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Système d'amarrage</li> <li>○ Influences environnementales</li> </ul> </li> <li>• Construction               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Géométrie</li> <li>○ Matériaux de surface</li> <li>○ Eclairage de site</li> </ul> </li> <li>• Feux               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Point</li> <li>○ Ligne</li> <li>○ Surface</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topographie et constructions artificielles           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Géométrie</li> <li>• Matériau de surface</li> <li>• Lumières</li> </ul> </li> <li>• Navires           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Géométrie</li> <li>• Matériau de surface</li> <li>• Feux</li> </ul> </li> <li>• Océan</li> <li>• Météo</li> <li>• Atmosphère</li> <li>• Ciel</li> </ul>

Pour chacun des modèles conceptuels, les phénomènes décrits ci-dessous doivent être pris en compte.

### B.5.2.1 Observateur

Une certaine compréhension de la vision humaine est nécessaire si les modèles doivent compenser les limites de la représentation d'une AtoN.

### Éclairage

La quantité d'éclairage qu'un feu AtoN projette sur l'œil de l'observateur dépend de son intensité, de la distance de l'AtoN par rapport à l'observateur et de l'état de l'atmosphère. L'éclairage d'un feu AtoN doit être à un niveau tel que le caractère, couleur et rythme, de l'AtoN peut être reconnu avec certitude, nuit et jour.

Il convient toutefois de noter qu'avec des niveaux élevés d'arrière-plan lumineux, une valeur d'éclairage plus élevée est nécessaire pour voir un feu AtoN. À ces niveaux supérieurs, la vision humaine se comporte très différemment qu'à de faibles niveaux d'éclairage. Des phénomènes comme les éclats courts (stroboscopiques), les éclats à répétition rapide et les scintillements deviennent plus perceptibles à mesure que les niveaux d'éclairage augmentent.

### Amplitude angulaire

L'angle sous-jacent de l'objet cible n'est pas considéré comme un facteur humain, mais comme une propriété de la géométrie de la taille et de la distance. Cependant, l'acuité visuelle de l'œil détermine le degré de détection et de reconnaissance d'un objet ayant un angle sous-jacent particulier.

Vus de loin, la plupart des feux AtoN sont des sources ponctuelles et n'ont donc pas de taille discernable. Lorsque l'observateur se rapproche d'un feu AtoN, la taille augmente de sorte que la taille et la forme de la source de lumière deviennent visibles.

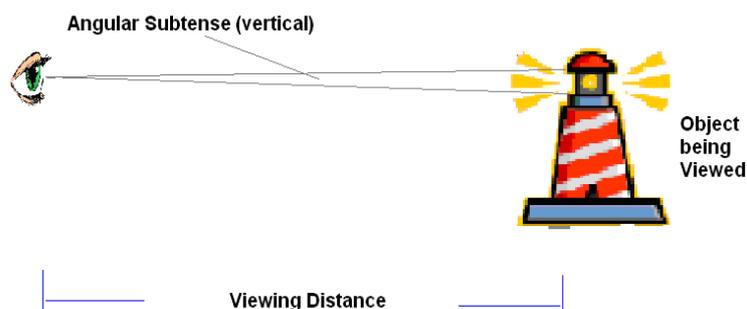


Figure 13 Diagramme expliquant l'amplitude angulaire

### B.5.2.2. Aides à la navigation

#### Sources lumineuses améliorées

Pour les observations rapprochées, la dimension physique d'un feu AtoN peut être importante et elle doit être modélisée de manière à représenter la taille de l'émetteur de lumière

#### Géométrie

L'apparence physique des marques de jour doit être modélisée de la façon la plus réaliste possible. Pour de nombreuses études de simulation, des bouées génériques peuvent être calibrées à la bonne dimension. Toutefois, il est recommandé d'inclure dans le modèle conceptuel la possibilité de représenter l'apparence exacte de la bouée elle-même.

#### Matériaux de surface

Les couleurs de surface des AtoN doivent être modélisées au plus près possible des couleurs de la réalité. Les bandes de matériau réfléchissant facilitant l'identification de l'AtoN flottante lorsqu'elle est éclairée à courte distance ne sont pas considérées comme étant d'une importance majeure. La réflexion des surfaces brillantes, comme les grandes surfaces en verre, peut avoir une influence significative sur le contraste global et, par conséquent, une importance majeure pour la perceptibilité de jour comme de nuit. Le matériau de surface doit également refléter l'éclairage indirect par les projecteurs assurant l'illumination.

## Éclairage de site

Des sources lumineuses supplémentaires peuvent éclairer une partie de la structure porteuse ou de la marque de jour, ce qui améliore la perceptibilité. C'est aussi connu sous le nom d'illumination. L'éclairage indirect des marques de jour pendant la nuit peut être pré-calculé, obtenant un bon réalisme pour un faible coût numérique.

## AtoN flottantes

Une AtoN flottante sera influencée par :

- Le vent
- Les vagues
- Le courant
- La marée
- Son dispositif d'ancrage

Les mouvements des AtoN flottantes influencés par les effets ci-dessus peuvent moduler les caractéristiques de clignotement de manière significative, influençant l'identification des AtoN, et peuvent également avoir un impact sur le rayon de giration des AtoN (prévoir un écart).

Un simulateur de navire en temps réel n'est traditionnellement pas utilisé pour la conception d'une bouée spécifique et du système d'ancrage nécessaire. Cependant, les modèles de données génériques ou spécifiques de réponse au mouvement, par exemple le *Response Amplitude Operator* (RAO)<sup>1</sup>, peuvent être importés dans un simulateur de navire afin d'évaluer la pertinence de la plate-forme flottante comme support stable d'un feu AtoN et comme marque de jour pour répondre aux conditions environnementales.

### B.5.2.3 Environnement

#### Topographie et constructions artificielles

Les lumières d'origine humaine peuvent être considérées comme des concurrentes pour la perceptibilité des AtoN lumineuses. Par conséquent, les lumières artificielles devraient être incluses. Les sources de lumière artificielle comprennent les :

- Habitations
- Serres, éclairage public
- Grands écrans clignotant et publicités
- Voitures en mouvement, aéronefs, grues, etc.
- Structures offshore
- Éoliennes

Les éoliennes devraient être modélisées avec des pales rotatives lorsqu'elles sont jugées pertinentes pour l'étude, car elles peuvent interférer avec des feux plus éloignés.

Les objets doivent apparaître avec la bonne perspective. Les modèles à écrans plats (panneaux d'affichage) peuvent être utilisés pour des objets lointains pour lesquels la perspective ne change pas de façon significative.

#### Navires

D'autres navires naviguant dans les eaux à étudier jouent également un rôle important pour la perceptibilité des AtoN lumineuses et pour l'étude du passage sûr et des distances de sécurité.

---

<sup>1</sup> Opérateur d'amplitude de réponse. Un RAO est une fonction de transfert utile pour un système linéarisé. Lorsque le RAO est compliqué avec le spectre du champ d'onde, cela donne le spectre des mouvements de l'objet dans ce champ d'onde, cf. [5].

La perceptibilité est influencée par :

- Les œuvres mortes des navires en mouvement qui empêchent l'observation visuelle des AtoN.
- Les feux de navigation, projecteurs, etc.
- L'éclairage à bord des navires, comme dans les emménagements et l'éclairage du pont

Pour les études de planification spatiale où les navires croisent à proximité les uns des autres, les caractéristiques de manœuvre peuvent être importantes. Dans ce cas, les mouvements des autres navires devraient être modélisés en tant que navires internes. Sinon, d'autres navires peuvent être modélisés en tant que navires de trafic.

### Océan

Un modèle pour l'océan doit être inclus lors de l'évaluation des AtoN flottantes dans des conditions réalistes.

Le modèle devrait inclure les effets des :

- Marée  
La marée peut avoir une influence significative sur la hauteur relative des AtoN fixes.
- État de la mer  
La mer influence la façon dont les AtoN flottantes bougent et sont par conséquent observées de jour comme de nuit, comme décrit plus haut également. L'état de la mer doit comprendre à la fois la mer du vent et la houle aux différents niveaux d'état de mer.
- Courant  
Le courant, qu'il s'agisse de la marée ou de l'onde de tempête, peut faire gîter les AtoN flottantes, ce qui modifie la divergence verticale relative des feux, y compris les caractéristiques et la portée nominale. Le courant peut également jouer sur le rayon d'évitage d'une AtoN flottante.
- Réflexion à la surface d'une eau calme.

En particulier, dans les scènes de nuit, les lumières en arrière-plan réfléchies sur la surface de l'eau peuvent interférer avec les AtoN ou d'autres feux.

### Météorologie

L'effet du vent sur les AtoN flottantes est considéré comme mineur par rapport à celui du courant et de l'état de la mer.

Les nuages dispersent la lumière issue des corps célestes, influençant l'éclairage global de l'environnement. En outre, les précipitations et le brouillard dispersent la lumière issue de l'éclairage artificiel, y compris la lumière réfléchie. Un effet d'éblouissement par les sources lumineuses pourra apparaître.

Le brouillard et divers types de précipitations, comme la pluie et la neige, devraient être disponibles pour simuler diverses situations météorologiques.

Des études de faisabilité des AtoN devraient être effectuées pour diverses conditions météorologiques prévues.

### Corps célestes

Le Soleil et la Lune sont d'importantes sources de lumière pendant le jour et la nuit, en fournissant l'éclairage de la zone.

La diffusion de la lumière à travers l'atmosphère est d'une importance primordiale pour ces sources lumineuses et ne devrait pas être négligée. La lumière de haute intensité émise par le soleil réduit l'intensité relative des feux AtoN.

La simulation devrait disposer d'un modèle correct d'azimut et d'inclinaison basé sur l'heure et le jour pour ces corps célestes qui alimentent l'équation de diffusion de la lumière à travers l'atmosphère.

### Atmosphère

Alors que les phénomènes météorologiques tels que les précipitations et le brouillard peuvent être considérés comme des phénomènes atmosphériques de basse altitude, la lumière provenant d'objets célestes et artificiels est également diffusée par des phénomènes atmosphériques. Cela peut comprendre :

- l'humidité et les polluants

Les particules dans l'atmosphère diffusent la lumière, la lumière du soleil comme les émissions de lumière du site et la réflexion dans la zone. La diffusion est modélisée à l'aide de deux modèles supplémentaires. Le modèle Rayleigh s'applique aux particules plus petites que la longueur d'onde et le modèle Mie pour les particules plus grandes. La diffusion de la lumière provoque l'assombrissement progressif du ciel du blanc au bleu. La perspective aérienne rend les objets lointains moins saturés et un peu plus bleus. Le modèle Ångström combine Mie et Rayleigh et comprend d'autres facteurs pour les aérosols présents dans l'atmosphère près de la mer, décrits plus en détail dans le guide G1073 de l'AIMS.

- La température

Les variations de température locale pourraient diffracter la lumière émise, rendant la scène un peu floue, réduisant l'acuité visuelle.

## B.6. SIMULATION DE RADARS

---

Comme dans le monde réel, le système radar simulé comprend deux éléments :

- L'écran radar ;
- L'émetteur-récepteur radar.

Si une simulation radar appropriée est appliquée, le même modèle pour l'antenne radar peut être utilisé pour la conduite d'un écran radar émulé ou stimulé.

Plusieurs normes, recommandations et guides portent sur l'équipement radar et la simulation radar, tels que référencés en [6], [7] et [8].

### B.6.1. ECRANS RADAR

---

La représentation du retour radar se fait à l'aide d'un écran radar.

Dans un simulateur de passerelle de navire, cela peut être fait en utilisant :

- un écran radar réel stimulé ;
- un écran radar émulé.

Il convient de noter que certains fabricants de systèmes radar placent une partie du traitement du signal dans l'antenne radar et que le modèle de l'antenne radar doit reproduire ce traitement du signal.

#### Écran radar stimulé

Si des écrans radar stimulés sont utilisés, aucune modélisation du système d'affichage réel n'est requise. Des fonctionnalités comme l'ARPA, les manœuvres d'essai, les superpositions et, dans une certaine mesure, le traitement des signaux, qui peuvent influencer le réalisme fourni à l'utilisateur, sont réalisés à l'aide de l'équipement précis et approuvé que l'on peut trouver à bord de navires réels. Cela fournit une configuration très réaliste à défaut d'installation d'un équipement réel.

#### Écran radar émulé

Si des écrans radar émulés sont utilisés, les fonctionnalités de traitement du signal réel doivent être repensées pour faciliter un fonctionnement réaliste, en reproduisant un écran radar réel.

La norme de performance pour les écrans Radar / ARPA comprend un certain nombre de caractéristiques qui sont données en [7]. Si un écran radar émulé est utilisé pour la simulation AtoN, il est important de s'assurer que les

fonctionnalités, qui sont jugées nécessaires pour atteindre le but de l'étude de simulation, sont mises à la disposition de l'utilisateur.

## **B.6.2. MODELISATION DES EMETTEURS-RECEPTEURS RADAR**

Pour que certaines caractéristiques soient affichées par le radar, certains effets doivent être modélisés dans le modèle antenne/émetteur-récepteur. Les effets requis sont donnés en [6].

### **Interface d'affichage radar**

Il est possible d'utiliser le même modèle d'émetteur-récepteur radar pour un écran radar émulé et un écran radar stimulé. Cependant, un équipement supplémentaire, semblable à un adaptateur graphique, est nécessaire pour convertir la représentation du retour radar en signal vidéo radar, qui sont différents d'un fabricant de radar à l'autre.

### **Modélisation du terrain**

Pour que la vue extérieure soit générée pendant la simulation, un modèle 3D du terrain réel doit être spécifié. Ce modèle 3D peut servir de base à l'image radar, mais il faudrait ajouter des informations supplémentaires. Cela concerne principalement la réflectivité radar des faces des objets 3D. Les mêmes algorithmes que ceux utilisés pour générer la vue extérieure peuvent être utilisés pour l'image radar, car celle-ci est également régie par le champ de vue, en utilisant la position du scanner. Au lieu des couleurs et de l'obscurcissement, il faut utiliser les propriétés de réflexion, de diffusion et de diffraction du radar.

Alternativement, un panorama séparé peut être défini pour l'image radar (spatialement adapté au paysage en vue extérieure). Cela pourrait être simplifié parce que tout ce qui se trouve dans le paysage visible n'apparaîtra pas sur le radar ou ne sera pas pertinent pour la simulation.

Les ordinateurs modernes sont capables d'utiliser des modèles 3D de terrain et d'autres objets. Il est fortement recommandé d'utiliser une base de données 3D. Cela permet de s'assurer que le masquage d'AtoN par les navires, la topographie ou la voie navigable est inclus dans la simulation, comparativement à une représentation en 2D simplifiée.

### **Navires**

Les autres navires peuvent être considérés comme une composition d'un certain nombre d'éléments, à savoir la superstructure, la coque, la cargaison (en particulier les conteneurs), les mâts et les grues. Chacun de ces objets a des caractéristiques radar particulières et la forme de l'image radar d'un navire « cible » dépendra de la distance et de ses caractéristiques.

### **AtoN**

Normalement, les AtoN auront une performance radar spécifique qui sera utilisée dans la simulation. Un réflecteur radar est spécifié par sa section transversale radar.

### **Racons**

La réponse d'un racon s'affiche comme un motif radial en code Morse, s'étendant au-delà de la position du racon. La position de départ peut varier en raison d'un petit délai de déclenchement. La longueur du motif représente une taille d'objet déterminée (habituellement quelques milles marins) et change donc proportionnellement avec le réglage de l'échelle de l'affichage radar.

Les modèles de racons devraient comprendre les :

- Fréquence de réponse
- Longueur d'impulsion (équivalente à la plage affichée)
- Délai de déclenchement
- Polarisation

- Mode balayage :
  - Lent
  - Rapide
  - Souple en matière de fréquence

## Champs éoliens

L'influence des champs éoliens en mer sur les performances des radars a été étudiée en profondeur pour la UK Maritime and Coastguard Agency (MCA) en 2004<sup>2</sup>. À courte distance, les mâts des éoliennes produisent de très forts échos en raison de leur hauteur. Contrairement à la largeur du faisceau horizontal, la dimension du faisceau vertical du radar marin est assez grande. Ainsi, la pleine hauteur d'un mât est éclairée par le faisceau radar, et malgré la forme généralement ronde, il y a une grande quantité d'énergie réfléchi. Les pales d'éoliennes produisent également de forts échos, qui dépendent de l'orientation de la nacelle. En raison de cette réflexion massive, même les lobes latéraux beaucoup plus faibles du faisceau radar peuvent produire des échos. Ceux-ci apparaîtront sur un plan indicateur de position (Plan Position Indicator - P.P.I.) comme des objets à distance égale mais avec des relèvements décalés. Les réflexions entre les mâts des éoliennes (trajets multiples) peuvent provoquer des échos parasites à de plus grandes distances.

Les objets réduits derrière un champ éolien pourraient être masqués parce que le gain radar est réglé à une valeur faible pour éviter les échos parasites, alors que l'écho de l'objet est en plus atténué par le champ éolien. Un petit navire qui navigue dans un parc éolien est souvent « submergé » par l'écho d'une turbine. Les limites de largeur de faisceau s'appliquent également, mais en raison de la forte réflexion de la turbine au-delà de la largeur nominale du faisceau (points de demi-puissance), la largeur du faisceau est en réalité agrandie.

## B.7. SIMULATION DE SON

Cette section est limitée aux possibilités de simuler les sons AtoN et non les sons de son propre navire, de l'environnement et des autres navires.

### B.7.1. PRESENTATION

#### Haut-parleurs

Les simulateurs de passerelle modernes pour missions complètes sont normalement équipés de haut-parleurs quadriphoniques. Ceux-ci sont de haute qualité, fournissant un bon réalisme dans la représentation des sons AtoN et soutiennent la perception de la distance et de la direction.

#### Systemes de réception du son

Sur les navires dont les passerelles sont fermées, typiquement des navires de croisière, un système de réception du son est utilisé pour atténuer les bruits rencontrés.

En utilisant quatre microphones, le système de réception du son détecte la direction du signal entrant et un panneau sur la passerelle indique la direction autant qu'il produit le son atténué par des haut-parleurs. De tels systèmes de réception du son sont disponibles pour les simulateurs, offrant les mêmes fonctionnalités que dans le monde réel.

### B.7.2. MODELISATION

Gongs, cloches, cornes et sirènes sont des signaux sonores typiques émis par les AtoN. La perception du son par l'utilisateur dépendra de plusieurs facteurs :

- Le niveau sonore émis par une AtoN ;

<sup>2</sup> Voir [http://www.dft.gov.uk/mca/effects\\_of\\_offshore\\_wind\\_farms\\_on\\_marine\\_systems-2.pdf](http://www.dft.gov.uk/mca/effects_of_offshore_wind_farms_on_marine_systems-2.pdf)

- La distance et la direction de l'AtoN émettant un son ;
- le niveau de bruit ambiant à l'endroit où l'utilisateur écoute le son, généralement sur la passerelle du navire ;

Des éléments tels que le bruit du moteur, le bruit lié aux conditions météorologiques, le bruit radio et d'autres bruits provenant de dispositifs installés à la passerelle, ou près de la position de l'utilisateur en passerelle, affecteront la réception des signaux sonores AtoN. La réception est également affectée si l'utilisateur se trouve à l'intérieur d'une passerelle entièrement close ou sur une passerelle découverte :

- les conditions environnementales qui influent sur la vitesse du son, comme l'humidité de l'air, les éléments d'amortissement, les éléments réfléchissants, la présence de neige, de pluie ou de brouillard, les icebergs recouverts de neige, les falaises couvertes de végétation, etc.

Les sons AtoN sont enregistrés numériquement et reproduits fidèlement dans le simulateur à l'aide des haut-parleurs. Le niveau sonore, sa dégradation et sa direction peuvent faire partie du modèle du simulateur.

Divers algorithmes sont utilisés pour assurer un haut niveau de réalisme, y compris l'impact des conditions environnementales. Si de tels algorithmes ne sont pas utilisés, si dans le prolongement le système de haut-parleurs ne donne pas une qualité suffisante, ou si seulement un ou deux haut-parleurs sont fournis, l'élément directionnel sera manquant.

Se reporter au guide de l'AIMS G1087 sur l'utilisation des signaux sonores pour connaître les détails à prendre en considération lors de la simulation des signaux sonores et à la recommandation R0109 de l'AIMS pour le calcul de la gamme de signaux sonores.

## **B.8. SIMULATION D'AUTRES INSTRUMENTS DE NAVIGATION MARITIME**

### **B.8.1. ECDIS**

Le Système d'information et d'affichage des cartes marines électroniques (ECDIS) est un système qui montre une version numérisée d'une carte marine (ENC) avec des informations supplémentaires superposées – plus particulièrement la position et le cap du navire. L'emport d'ECDIS est obligatoire pour (presque tous) les nouveaux navires et obligatoire sur tous les navires SOLAS après 2014.

L'information est organisée en couches et les utilisateurs peuvent activer et désactiver les couches pour adapter à leurs besoins l'information présentée.

Le document de l'OMI décrivant le modèle de cours de la formation ECDIS [8] illustre les interfaces pertinentes avec d'autres équipements de passerelle. Toutes les fonctionnalités ne s'appliqueront pas à chaque configuration de simulateur.

L'équipement de simulation ECDIS devrait être capable de simuler un ECDIS opérationnel et devrait satisfaire à toutes les normes de performance adoptées par l'OMI.

Un ECDIS doit se conformer aux exigences des normes de performance de l'OMI, résolution A.817(19), sinon il devrait être indiqué comme étant un ECS (système de cartes électroniques).

### **B.8.2. UNITE PORTATIVE POUR PILOTAGE (PPU)**

Une unité portative d'assistance au pilotage (Portable Pilot Unit - PPU) peut être décrite comme la version portable d'un ECDIS, avec ses propres capteurs de positionnement précis. En utilisant deux récepteurs GPS séparés, le cap peut également être déterminé avec précision. Les limites de la voie et du chenal idéaux sont indiquées à l'écran et les paramètres comme l'erreur transversale, la vitesse de giration, la vitesse transversale avant et arrière, peuvent être continuellement mis à jour et visualisés. De plus, les prévisions de trajectoire peuvent être affichées en fonction du champ de vitesse du courant, de l'angle de barre et du régime des hélices, etc.

Le système fournit au pilote toutes les informations pertinentes pour l'assister dans sa navigation. Il est même possible d'envoyer des images VTS du trafic à la PPU, en fournissant au pilote les mêmes renseignements sur le trafic que les VTS.

### B.8.3. L'AIS EN TANT QU'ATON VIRTUEL

---

La simulation devrait prendre en charge les AtoN virtuelles. Cela permet de tester de telles aides virtuelles autant que les aides physiques, bien qu'elles ne soient observables que sur les radars, l'ECDIS, etc.

### B.8.4. E-NAVIGATION SERVICES

---

L'OMI a élaboré une vision stratégique pour la navigation électronique, qui intègre les outils de navigation existants et les nouveaux.

Les futurs services e-Navigation comprendront la représentation des AtoN et il sera possible de les intégrer dans des simulateurs de passerelles marines comme d'autres instruments de navigation. Cela pourrait servir à tester la représentation d'AtoN.

Quelques prototypes de systèmes de e-Navigation sont actuellement produits et pourraient être intégrés dans des simulateurs. Les systèmes sont, par leur nature, complexes et impliquent l'interaction entre plusieurs systèmes, y compris les systèmes de transfert de données. L'intégration d'un système de e-Navigation pleinement opérationnel et fonctionnel dépend de la capacité du simulateur à fournir des données de tous les capteurs et systèmes connectés au système de e-Navigation. Un simulateur devrait normalement pouvoir simuler les erreurs et les systèmes défectueux.

Comme le concept de e-Navigation n'en est qu'à ses débuts, on peut encore s'attendre à d'importants changements. La simulation doit être mise en place de manière flexible pour pouvoir s'adapter à ces développements futurs.

## B.9. RÉFÉRENCES

---

- [1] Shannon, R.E. (1975). *'System Simulation: the art and science'*. Prentice Hall.
- [2] Shannon, R.E. (1998). *'Introduction to the Art and Science of Simulation'*. Actes de la Conférence sur la simulation hivernale (1998).
- [3] J. Banks, J. Carson, B. Nelson, D. Nicol (2001). *'Discrete-Event System Simulation'*. Prentice Hall. p.3. ISBN 0-13-088702-1.
- [4] Faltinsen, O. M. (1990). *'Sea Loads on Ships and Offshore Structures.'* Cambridge University Press. ISBN 0-521-45870-6.
- [5] IEC 62388: *'Équipements et systèmes de navigation et de radiocommunication maritime – radar embarqué – exigences de performance, méthodes d'essai et résultats d'essais attendus'*
- [6] IMO MSC 192 (79) *'Adoption des normes révisées de performance pour l'équipement radar'*
- [7] DNV norme pour certification no. 2.14 *'Maritime Simulator Systems'*
- [8] IMO STW exploitation opérationnelle des systèmes d'information et d'affichage des cartes marines électroniques (Electronic Chart Display and Information Systems - ECDIS) STW 43/3/1, 2011
- [9] NAVGUIDE 2018 Manuel des aides à la navigation maritimes

## APPENDICE 1 TERMES ET DÉFINITIONS

La définition des termes et acronymes utilisés dans la présente annexe se trouve dans le Dictionnaire international des aides à la navigation (IALA Dictionary) à <http://www.iala-aism.org/wiki/dictionary>. Toutefois, il existe d'autres termes et abréviations, qui ne sont pas définis dans le dictionnaire de l'AIMS. Ce sont :

- **La stimulation** est utilisée lorsqu'un signal vidéo radar réel est produit dans un modèle de simulateur et alimente, comme dans la vie réelle, un écran radar réel identique à ceux utilisés à bord de navires réels ;
- **L'émulation** est la réplique d'un système réel à l'aide de logiciels et de matériel. Par exemple, tout le sous-système radar, l'antenne et l'affichage sont modélisés et semblent identiques à un vrai système embarqué
- **Simulation.** Dans le guide 1058 de l'AIMS, la définition suivante a été utilisée :  
*La simulation est le processus de conception d'un modèle de système réel et de réalisation d'expériences avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système ou d'évaluer diverses stratégies (dans les limites imposées par un critère ou un ensemble de critères) pour le fonctionnement du système [1].*

Ainsi, le modèle doit être conçu pour imiter le comportement de réponse du système réel aux événements qui se produisent au fil du temps [2]. Par conséquent, aux fins du présent guide, une définition plus précise est la suivante :

La simulation est l'imitation du fonctionnement d'un processus ou d'un système réel dans le temps [3]. Pour simuler quelque chose, il faut d'abord élaborer un modèle qui représente les caractéristiques ou les comportements clés du système ou du processus physique ou abstrait choisi. Le modèle représente le système lui-même, tandis que la simulation représente le fonctionnement du système au fil du temps.

- **La modélisation** est le processus d'élaboration d'une description schématique d'un système, d'une théorie ou d'un phénomène qui tient compte de ses propriétés connues ou déduites par inférence et qui peut être utilisé pour une étude plus approfondie de ses caractéristiques
- **Les modèles conceptuels** visent à fournir une décomposition mentale d'un système en sous-systèmes plus petits et plus faciles à comprendre. L'objectif premier d'un modèle conceptuel est de transmettre les principes fondamentaux et la fonctionnalité de base du système qu'il représente. De plus, un modèle conceptuel doit être élaboré de manière à fournir aux utilisateurs du modèle une interprétation du système facile à comprendre
- **La présentation** est l'état continu du modèle de simulation présenté à l'utilisateur du système avec des stimuli réalistes et pertinents utilisés dans des opérations réelles
- **La luminosité** est un attribut de la perception visuelle dans lequel une source semble rayonner ou refléter la lumière [1]. En d'autres termes, la luminosité est la perception obtenue par la luminance d'une cible visuelle. Il s'agit d'un attribut ou d'une propriété subjective d'un objet observé. La « luminosité » était autrefois utilisée comme synonyme pour le terme photométrique luminance
- **Les navires internes** sont, dans les simulateurs de passerelle de navires, identifiés comme les navires gouvernés par d'autres utilisateurs, et ayant un environnement de travail aussi proche que possible de la réalité. Les mouvements sont modélisés à l'aide d'équations à 6 degrés de liberté
- **Les navires de trafic** sont des navires qui ne sont pas dirigés à partir d'une passerelle. Ils sont principalement contrôlés par l'opérateur du simulateur ou gérés de façon autonome par des ordinateurs. Les navires de trafic sont modélisés à l'aide d'équations de mouvements simplifiées par rapport aux modèles de navires internes et sont utilisés pour obtenir une densité de trafic adaptée au scénario.