

**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

Faculté de Mécanique Navale

# **La réalité augmentée appliquée à bord des navires**

François Chateau

Mémoire présenté pour l'obtention  
du titre de  
Bachelor en Mécanique Navale

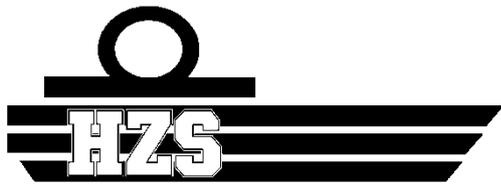
Promoteur : Tim Cools

Année académique : 2019 - 2020









**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

Faculté de Mécanique Navale

# **La réalité augmentée appliquée à bord des navires**

François Chateau

Mémoire présenté pour l'obtention  
du titre de  
Bachelor en Mécanique Navale

Promoteur : Tim Cools

Année académique : 2019 - 2020



# Avant-propos

Le secteur de la marine marchande a vécu beaucoup de changements au cours de son histoire. Des changements marqués entre autres par les révolutions industrielles. Au jour d'aujourd'hui, nous parlons de l'industrie 4.0, faisant référence à la quatrième révolution industrielle et qui voit l'avènement de la transformation numérique grâce aux nouvelles technologies telles que l'internet des objets, le big data, le deep learning, et les technologies immersives telles que la réalité augmentée. Le fonctionnement de ces technologies est fascinant, tout comme la vitesse à laquelle elles se développent. La réalité augmentée est en passe de se généraliser et pourrait devenir une part importante dans l'industrie du futur. C'est pourquoi j'ai eu l'envie de m'intéresser au potentiel de ce concept au sein de l'industrie maritime.

Je remercie Monsieur Tim Cools, mon promoteur de mémoire.



# Résumé

Grâce au nouveau paradigme technologique du XXI<sup>e</sup> siècle, l'industrie maritime se transforme et se numérise. La réalité augmentée semble être un outil fondamental afin de répondre aux enjeux de la transformation digitale. Cette technologie a été conçue pour une utilisation dans un contexte industriel afin d'offrir à ses utilisateurs une perception augmentée en faisant coexister spatialement, et temporellement, des entités virtuelles générées par ordinateur, dans un environnement réel.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les bénéfices que pourraient apporter les solutions de réalité augmentée dans l'industrie maritime et plus précisément dans le secteur de la mécanique et de la maintenance navale. Nous avons donc cherché à analyser comment l'alliance entre les données numériques et le monde physique pouvait assister les opérateurs depuis la phase de formation jusqu'aux interventions au quotidien dans les chantiers navals ainsi qu'à bord des navires.

Afin de répondre à cette question, nous avons analysé comment l'implémentation de cette technologie, au sein de différents secteurs de l'industrie en générale, pouvait être bénéfique. Nous avons ensuite passé en revue un certain nombre de cas d'utilisation potentiellement applicables aux secteurs de l'industrie maritime.

La réalité augmentée est actuellement testée au sein de plusieurs compagnies de l'industrie maritime, afin d'évaluer le potentiel de cette technologie pour un déploiement à grande échelle dans un avenir proche.

# Abstract

Thanks to the new technological paradigm of the 21st century, the maritime industry is being transformed and digitized. Augmented reality seems to be a fundamental tool to meet the challenges of digital transformation. This technology has been designed for use in an industrial context to offer its users an augmented perception by making virtual computer-generated entities to coexist spatially and temporally in a real environment.

The objective of this thesis is to evaluate the benefits that augmented reality solutions could bring in the maritime industry and more specifically to the marine engineering and maintenance sector. We therefore sought to analyse how the alliance between digital data and the physical world could assist operators from the training phase to daily interventions in shipyards and on board ships.

In order to answer this question, we analyzed how the implementation of this technology, within different sectors of the industry in general, was beneficial. We then reviewed a number of use cases potentially applicable to marine industry sectors.

Augmented reality is currently being tested in several companies in the maritime industry to evaluate the potential of this technology for large-scale deployment in the near future.

# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>i</b>
<b>Résumé</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>vii</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1. Qu'est ce que la réalité augmentée ?</b>	<b>3</b>
1.1. Définition de la réalité augmentée.....	3
1.2. La réalité mixte, un hybride entre réalité et virtualité.....	4
1.2.1.L'environnement réel .....	6
1.2.2.La réalité virtuelle.....	6
1.2.2.1. La réalité virtuelle non-immersive .....	6
1.2.2.2. La réalité virtuelle immersive .....	7
1.2.3.La virtualité augmentée .....	8
1.2.4.La réalité augmentée .....	8
<b>2. Aspects techniques de la réalité augmentée</b>	<b>9</b>
2.1. Les principes fondamentaux des systèmes de réalité augmentée .....	9
2.2. Les techniques de rendu et des augmentations .....	10
2.3. Les différents dispositifs d'affichage.....	11
2.3.1. Les dispositifs « Handheld displays » .....	12
2.3.2. Les dispositifs « Projective displays ».....	14
2.3.3. Les dispositifs « Head-mounted displays ».....	14
2.4. Développement des applications de réalité augmentée .....	16
<b>3. Principales applications de réalité augmentée dans l'industrie</b>	<b>19</b>
3.1. Des solutions de réalité augmentée pour les services de maintenance .....	19
3.2. Cas d'utilisations lors du processus de formation .....	21
3.3. Le secteur du marketing et de la vente .....	22
3.4. Le secteur de la fabrication.....	23

<b>4. Cas d'usages de la réalité augmentée dans un contexte maritime</b>	<b>25</b>
4.1. Introduction .....	25
4.2. La marine marchande en route vers une transformation numérique .....	25
4.3. L'innovation au coeur du secteur de la construction navale.....	27
4.3.1. Aperçu du processus de la construction navale.....	27
4.3.2. Cas d'usages de la réalité augmentée dans le secteur de la construction navale.....	29
4.4. La RA au sein des services de maintenance à bord des navires.....	33
4.4.1. Assistance contextuelle basée sur la réalité augmentée .....	34
4.4.2. L'aide au travail grâce aux systèmes de télé-assistance collaborative .....	36
4.5. Formation et éducation grâce à la réalité augmentée .....	39
<b>5. Les limites des systèmes de réalité augmentée dans un contexte maritime</b>	<b>43</b>
<b>6. Conclusion</b>	<b>45</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>47</b>
<b>A. Enquête concernant l'utilisation de la réalité augmentée dans un contexte maritime.</b>	<b>59</b>

# Liste des figures

Figure 1 Continuum de réalité-virtualité adapté de Milgram.....	5
Figure 2 Aperçu d'un système CAVE .....	7
Figure 3 Briques d'un système de réalité augmentée.....	9
Figure 4 Les trois catégories de dispositifs d'affichage selon la distance entre l'oeil de l'utilisateur, le dispositif d'affichage et l'objet réel .....	12
Figure 5 Aperçu de la technologie « Handheld display ».....	13
Figure 6 Aperçu du dispositif « projective display ».....	14
Figure 7 Optical see-through HMD vs Video see-through HMD .....	16
Figure 8 Étude de PTC 2018 à propos des principaux cas d'utilisation actuels de la RA dans le domaine des services de maintenance.....	20
Figure 9 Application développée par BMW pour la campagne de vente de ces véhicules électriques.....	22
Figure 10 Résultat de l'expérience d'assemblage .....	23
Figure 11 Les opérateurs de la société Airbus assistés grâce à la réalité augmentée.....	24
Figure 12 Planning des grandes phases de la construction navale .....	28
Figure 13 Aperçu de la solution de réalité augmentée pour le contrôle de la tuyauterie dans les chantiers navals de chez Naval Group.....	30
Figure 14 Aperçu d'une application de demande d'ouverture .....	31
Figure 15 Localisation des différentes pièces dans les ateliers du chantier naval... 32	
Figure 16 Vérification du réseaux de conduites d'un paquebot aux Chantiers de l'Atlantique avant le montage. ....	33
Figure 17 MAN Ceon TechGuide. ....	35
Figure 18 Système de Télé-Assistance Collaborative par Wärtsilä .....	37
Figure 19 Télé-assistance à bord d'un navire avec une connexion LTE.....	38



# Liste des abréviations

BIM : Building Information Modeling

CAO : Conception Assisté par Ordinateur

CAVE : Cave Automatic Virtual Environment

EV : Entités Virtuelles

GDT : Gestion de Données Techniques

GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

GPS : Global Positioning System

GSM : Global System for Mobile communication

HMD : Head-Mounted Display

IR : Images Réelles

LiDAR : Light Detection And Ranging

LTE : Long Term Evolution

MR : Mixed Reality

PDM : Product Data Management

PLM : Product Lifecycle Management

RA : Réalité Augmentée

ROI : Return Of Interest

RV : Réalité Virtuelle

SDK : Software Development Kit

VA : Virtualité Augmentée

VR : Virtual Reality



# Introduction

En janvier 2019, Jeroen Kraaijenbrink a publié dans le magazine Forbes, un article sur le monde des VUCA. Les initiales de VUCA signifient volatilité, incertitude, complexité et ambiguïté, c'est-à-dire un monde en mutation rapide, avec beaucoup d'incertitude, une grande complexité et des choses qui sont vagues. (4 janvier 2019, al.2). Le terme VUCA est nouveau, mais il est clair qu'il ne deviendra pas obsolète.

Partout où nous regardons, nous trouvons des plaintes et des préoccupations concernant le fait que le monde est de plus en plus incontrôlable. Qu'il s'agisse des médias en général ou de nos conversations personnelles, nous sommes témoins d'un sentiment accru d'incertitude, de turbulence et de changement. Ce sentiment a récemment débouché sur la notion de "VUCA", l'idée que le monde est devenu sans précédent, volatile, incertain, complexe et ambigu (Kraaijenbrink, 2019).

La révolution numérique nous aide à faire face à la volatilité et à la complexité accrues du monde. La puissance et la vitesse de calcul de nos ordinateurs, l'omniprésence de l'information, le développement d'algorithmes complexes, l'intelligence artificielle et la connectivité du monde, nous permettent de faire des analyses beaucoup plus complexes et de réagir beaucoup plus rapidement qu'il y a dix ans. Bien que la volatilité et la complexité aient probablement augmenté, notre capacité à les gérer s'est également accrue (Kraaijenbrink, 2019).

Un bon exemple de cette capacité d'adaptation se trouve dans le secteur maritime. Aujourd'hui, nous avons une forte demande de produits et de services de qualité, ce qui exige une rapidité d'exécution, un coût moindre et une plus grande flexibilité. Pour répondre à cette nouvelle dynamique, le secteur maritime, avec son large spectre de conditions annexes, se transforme et se numérise.

Ce mémoire vise à évaluer comment les technologies de réalité augmentée, qui consistent à faire l'alliance entre les données numériques et le monde physique, peuvent assister les opérateurs depuis la phase de formation, jusqu'aux interventions quotidiennes dans les chantiers navals ainsi qu'à bord des navires, afin de s'adapter à cette dynamique volatile et complexe du monde actuel.

La première partie de ce mémoire est dédiée à un état de l'art de la réalité augmentée. C'est une partie essentielle afin de bien comprendre les termes employés dans le domaine des technologies immersives. Nous verrons également l'aspect techniques de la réalité augmentée.

Ensuite, nous examinerons en détail certains des principaux cas d'utilisation de la réalité augmentée au sein divers secteurs de l'industrie en général en passant à travers le domaine des services de maintenance, de la transmission de connaissances et de la formation, des ventes et du marketing, et de la fabrication

La troisième partie discute de l'implémentation des solutions de réalité augmentée dans un contexte maritime. Nous verrons quelles sont les solutions de réalité augmentée adaptées afin d'apporter une assistance aux opérateurs dans le secteur de la construction navale, aux équipes de maintenance à bord des navires et lors du processus d'éducation et de formation.

Enfin, nous verrons les limites et les défis auxquels cette technologie émergente doit faire face pour se préparer à un déploiement à grande échelle.

# 1. Qu'est ce que la réalité augmentée ?

## 1.1. Définition de la réalité augmentée

Si l'on se réfère au dictionnaire, le terme « réalité augmentée » n'existe pas. Cependant si nous faisons l'association de ces deux mots qui composent cette expression, nous pouvons la définir comme suit (Larousse en ligne, s. a.):

« **Réalité:** Nom féminin

(Latin médiéval *realitas*, du latin classique *realis*, de *res*, chose)

- Caractère de ce qui est réel, de ce qui existe effectivement.
- Ce qui est réel, ce qui existe, par opposition à ce qui est imaginé, rêvé ou fictif. »

« **Augmenter:** Verbe transitif

(Bas latin *augmentare*, du latin classique *augere*, accroître)

- Rendre quelque chose plus important, plus intense. »

Caudell et Mizell (1992), associent pour la première fois ces deux mots pour créer l'expression « réalité augmentée ». Selon eux, le principe de la réalité augmentée consiste à superposer des données virtuelles dans un environnement réel afin d'augmenter la vision de l'utilisateur.

En 1994, Milgram et Kishino apportent un peu plus de précisions à cette définition au travers d'un continuum de réalité-virtualité (Figure 1). A travers ce continuum, ils introduisent l'expression réalité augmentée, placé sur une échelle linéaire, allant d'un environnement réel à une extrémité, à un environnement totalement virtuel à l'autre extrémité. La réalité augmentée est alors définie comme une technologie hybride, baptisée réalité mixte, évoluant proche d'un environnement réel. Nous apporterons davantage de précisions concernant ce continuum de réalité-virtualité dans la suite de notre travail, voir [1.2](#).

Quelques années plus tard, en 1997, Azuma réalise une étude qu'il viendra compléter en 2001 à l'aide de ses collaborateurs, dans laquelle ils définissent la réalité augmentée comme étant un système qui complète le monde réel avec des objets virtuels, générés par ordinateur, de telle sorte

qu'ils semblent coexister dans le même espace que le monde réel. Lors de ces deux études, les caractéristiques d'un système de réalité augmentée sont caractérisés par les trois propriétés suivantes (Azuma et al., 2001):

- « combiner le réel et le virtuel dans un environnement réel ».
- « interactivité en temps réel ».
- « recalage (alignement) des objets réels et virtuels les uns par rapport aux autres en trois dimensions ». Cela afin de faire correspondre les entités virtuelles avec l'environnement réel.

Azuma et al. (2001) restreignent les systèmes de réalité augmentée à l'ajout d'entités virtuelles en trois dimensions. Cependant, cette exigence ne se justifie pas dans le cas ou des ajouts en deux dimensions tels que des flèches et/ou du texte pourraient suffire. De plus, la troisième propriété, concernant le recalage, c'est à dire l'alignement entre les objets réels et les objets virtuels, n'est pas systématiquement justifiée lorsque les systèmes de réalité augmentée tendent à présenter des informations telles que des consignes et/ou des instructions.

Enfin, Fuchs et Moreau (2019), donnent une définition moins restrictive de la réalité augmentée comme étant une technologie qui « regroupe l'ensemble des techniques permettant d'associer un monde réel avec un monde virtuel, spécialement en utilisant l'intégration d'Images Réelles (IR) avec des Entités Virtuelles (EV) : images de synthèse, objets virtuels, textes, symboles, schémas, graphiques, etc » (Fuchs & Moreau, 2019, p. 39). Cette association est réalisée de manière choisie, déterminée et réfléchie. Elle offre à son utilisateur la possibilité d'interagir avec ces éléments virtuels en temps réel. Nous retiendrons cette définition pour la suite de notre travail.

## 1.2. La réalité mixte, un hybride entre réalité et virtualité

En effet, la réalité mixte englobe un large éventail de technologies. Milgram et Kishino (1994), réalisent le continuum de réalité-virtualité grâce auquel ils nous proposent une unification des concepts, en considérant un continuum linéaire qui va du réel au virtuel, voir Figure 1.

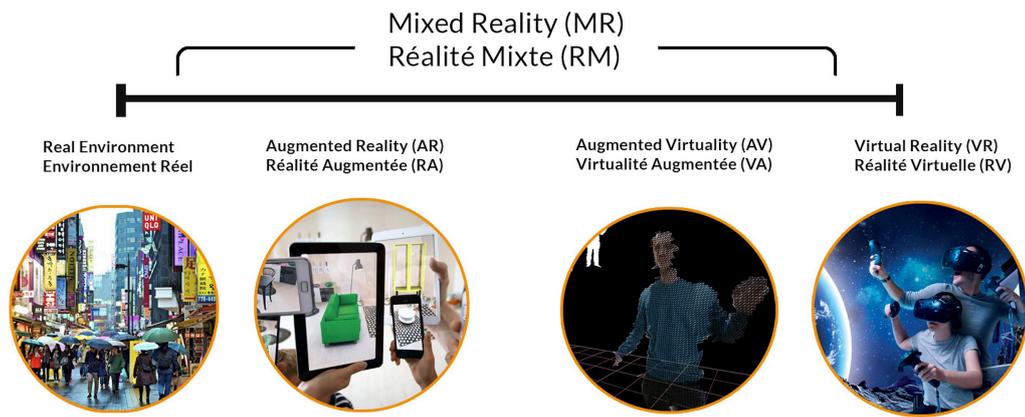


Figure 1 Continuum de réalité-virtualité adapté de Milgram

Source : L'association française de la réalité augmentée (s.a.)

A l'extrême gauche de ce continuum, se trouve l'environnement réel, composé uniquement d'objets réels. Par opposition, à l'extrême droite, se trouve la réalité virtuelle (RV), plus communément connue sous son homonyme anglais « virtual reality (VR) », qui consiste à plonger son utilisateur dans un environnement virtuel, simulé, avec seulement des objets virtuels.

La virtualité augmentée (VA), est similaire à la réalité virtuelle car l'utilisateur est immergé dans un monde virtuel. Cependant, la virtualité augmentée consiste à ajouter un contenu physique dans un environnement virtuel.

La réalité augmentée (RA) est le terme employé pour décrire un environnement réel, augmenté par des objets virtuels. Elle permet à son utilisateur d'interagir avec des objets réels, tout en préservant l'avantage de pouvoir ajouter des entités virtuelles.

Selon le continuum de Milgram et Kishino (1994), nous pouvons dire que la réalité mixte est une technologie hybride qui se situe entre l'extrême gauche et l'extrême droite de ce continuum.

Nous allons à présent apporter davantage de précisions concernant les termes employés dans le continuum de réalité-virtualité, voir Figure 1. En effet, il est important d'établir une définition claire des différents termes utilisés dans le domaine de la réalité mixte (MR) afin de bien comprendre ce qu'est le concept de la réalité augmentée.

### 1.2.1. L'environnement réel

Selon Milgram et Kishino (1994), seuls les objets réels existent dans un environnement réel. Les dispositifs d'affichage vidéo sont considérés comme des objets réels, puisqu'ils existent. Les objets virtuels, quant à eux, sont des objets qui n'existent pas physiquement. Ils sont toujours simulés suivant un modèle existant afin d'être perçus. Néanmoins, leurs images sont réelles car on peut décider de les faire apparaître ou non sur un écran.

### 1.2.2. La réalité virtuelle

Selon Shubber (1998), « la réalité virtuelle consiste en un environnement en trois dimensions dans lequel on peut interagir en temps réel et que l'on perçoit quasiment comme étant réel ; cet environnement peut produire une impression de présence. » (Shubber, 1998, p. 168). La réalité virtuelle pourrait être qualifiée comme un environnement virtuel, étant donné que cette technologie s'oppose totalement à un environnement réel. Il existe deux catégories distinctes de réalité virtuelle. Une réalité virtuelle dite immersive, voir [1.2.2.2](#), et une réalité virtuelle dite non-immersive, voir [1.2.2.1](#).

#### 1.2.2.1. La réalité virtuelle non-immersive

Une réalité virtuelle est dite non-immersive, lorsque l'affichage est perçu par son utilisateur au travers d'un écran ("desktop display") et utilise par exemple, un clavier, une souris ou une manette, en guise de périphérique. Selon Tsyktor (2019), ce principe de réalité virtuelle offre à son utilisateur un environnement généré par ordinateur, sans que celui-ci ne soit immergé dans un monde virtuel. La principale caractéristique d'un système de réalité virtuelle non-immersif est que l'utilisateur peut contrôler l'environnement physique dans lequel il se trouve, en étant conscient de ce qui se passe autour de lui.

### 1.2.2.2. La réalité virtuelle immersive

La principale différence entre la réalité virtuelle immersive et non-immersive réside dans la méthode de diffusion du contenu. Tsyktor (2019), décrit la réalité virtuelle immersive comme une technologie de simulation réaliste, qui permet à l'utilisateur d'interagir dans un environnement virtuel en 3D.

Contrairement à la réalité virtuelle non-immersive basée sur des écrans, la réalité virtuelle immersive fournit un environnement virtuel, généré par ordinateur, à travers un dispositif d'affichage tel que les casques de réalité virtuelle, également appelé en anglais « Virtual Reality Head-Mounted Display (HMD) ». Ces technologies isolent totalement l'utilisateur de l'environnement réel, il n'est alors plus conscient de ce qui se passe autour de lui. Nous pouvons donc dire qu'une technologie de réalité immersive procure une immersion totale dans un environnement virtuel.

Un bon exemple de réalité immersive est le système CAVE (« Cave Automatic Virtual Environment », 2019). Ce système de réalité virtuelle place totalement l'utilisateur dans une pièce immersive équipée d'outils de suivi des mouvements et au sein de laquelle une image 3D est projetée sur les murs.



Figure 2 Aperçu d'un système CAVE

Source : Labbe (2017)

### 1.2.3. La virtualité augmentée

Si l'on se réfère au continuum de réalité-virtualité, voir Figure 1, la virtualité augmentée se déroule dans un contexte virtuel. Des éléments physiques tels que des objets ou des personnes physiques, sont intégrés dynamiquement dans un environnement virtuel et peuvent interagir avec celui-ci en temps réel. Cette intégration est réalisée grâce à l'utilisation de diverses techniques, telles que la diffusion en continu de vidéos à partir du monde réel, par exemple par le biais d'une webcam, ou la numérisation en 3D d'objets physiques (« Mixed reality », 2020).

Dubois et al. (2000), définissent la virtualité augmentée comme suit : « systèmes dont l'objet de la tâche réside dans le monde informatique. Les systèmes considérés visent à rendre l'interaction plus "réaliste". (...) L'interaction repose sur la manipulation d'objets du monde réel, comme des cubes, pour modifier des objets informatiques tels que des fichiers » (Dubois et al., 2000, p. 32).

L'opérateur est alors immergé dans une représentation virtuelle d'une installation réelle. Les données recueillies par les capteurs apportent une augmentation dans la représentation virtuelle. La combinaison des données réelles et des données virtuelles améliorent l'expérience de l'utilisateur.

### 1.2.4. La réalité augmentée

L'avantage de la réalité augmentée par rapport à la réalité virtuelle est que l'utilisateur est capable de voir l'environnement dans lequel il évolue. En réalité augmentée, différents dispositifs d'affichage existent (Musters, 2017). La majeure partie des applications est utilisable grâce à des smartphones et/ou des tablettes tactiles, cependant les visiocasques de réalité augmentée ou plus communément appelés en anglais, « Head-Mounted Display », sont les supports qui tendent à devenir les plus prisés en raison des avantages ergonomiques qu'ils présentent. Aujourd'hui, la réalité augmentée est appliquée à de nombreux secteurs d'activité allant de l'industrie automobile et aérospatiale au domaine de la marine marchande. Les principaux objectifs sont d'améliorer l'efficacité en réduisant la complexité ainsi que les erreurs et en augmentant la précision ainsi que la sécurité lors de la réalisation des tâches.

## 2. Aspects techniques de la réalité augmentée

Les systèmes de réalité augmentée sont généralement construits selon une architecture matérielle et logicielle commune. Une caméra filme la scène visionnée par l'utilisateur. Différents capteurs déterminent la position de l'utilisateur par rapport à l'environnement dans lequel celui-ci évolue. Ensuite, les entités virtuelles sont générées par un ordinateur grâce aux données de ces capteurs, avant de les transmettre à l'utilisateur via un dispositif d'affichage (Malleme & Roussel, 2014). Dans cette partie, nous verrons les principaux éléments constitutifs des systèmes de réalité augmentée.

### 2.1. Les principes fondamentaux des systèmes de réalité augmentée

Malleme et Roussel (2014), présentent les différents éléments constituant un système de réalité augmentée. Sur la Figure 3, ces éléments sont représentés selon un ensemble de briques logicielles et technologiques, réparties sur quatre niveaux.

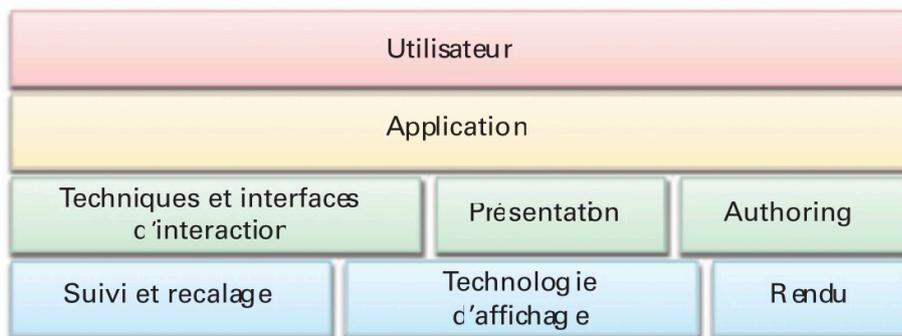


Figure 3 Briques d'un système de réalité augmentée.

Source : Malleme et Roussel (2014)

Représenté sur la Figure 3 en bleu, le premier niveau est composé de trois briques. Le suivi et le recalage, ils permettent la mise en correspondance des entités virtuelles par rapport à l'environnement réel. Ensuite, la deuxième brique concerne les méthodes de rendu, qui elles, consistent à intégrer ces entités virtuelles, de manière à ce que l'utilisateur ne puisse plus faire la distinction entre le monde réel et le monde virtuel. Enfin, nous avons les technologies d'affichage, dont nous parlerons dans la suite de cette partie, voir 2.3. Ce premier niveau

représente les éléments de base qui constituent les systèmes de réalité augmentée.

Le deuxième niveau, composé de trois briques et représenté sur la Figure 3 en vert, concerne les techniques et les interfaces d'interaction avec l'utilisateur, la présentation des augmentations et enfin, l'authoring, c'est à dire, la façon dont ces augmentations seront mises en scène (Mallem & Roussel, 2014).

Le troisième niveau en jaune représente l'application de réalité augmentée en elle même. Cette application est destinée à apporter une assistance à l'utilisateur (Bimber & Raskar, 2005). Ces applications sont développées pour la plupart, grâce à un kit de développement logiciel, également connu en anglais sous le nom de Software Development Kit (SDK). Ces kits sont destinés aux développeurs afin de leurs offrir des outils et des informations nécessaires au développement d'applications destinées à un matériel spécifique (Software Development Kit, 2019).

Enfin, la dernière brique concerne l'utilisateur en lui même. En effet, l'application de réalité augmentée devra se fier au contexte dans lequel se trouve l'utilisateur et plus précisément à son point de vue afin de proposer et d'afficher les augmentations adéquates et de manière optimale.

## 2.2. Les techniques de rendu et des augmentations

Selon Mallem et Roussel (2014), l'augmentation « consiste à synthétiser par ordinateur un élément virtuel destiné à l'un des sens de l'utilisateur. Ce virtuel peut être visuel, haptique ou sonore. » (Mallem & Roussel, 2014, p. 4). Cependant, étant donné que la plupart des systèmes de réalité augmentée sont développés pour apporter des augmentations à la vision des utilisateurs, nous nous focaliserons sur ce sens pour la suite de notre travail.

Les méthodes de rendu consistent à intégrer ces augmentations virtuelles, de manière à ce que l'utilisateur ne puisse plus faire la distinction entre le réel et le virtuel. Cependant, pour que le rendu visuel soit correct, il doit respecter quatre règles (Bottecchia, 2012) :

- La contrainte de temps réel, c'est à dire l'utilisation de méthodes rapides de génération d'images, autrement dit, la vitesse de traitement.

- Le recalage, c'est à dire l'alignement entre le réel et le virtuel. Cela consiste à trouver une correspondance entre le réel et le virtuel afin de donner une illusion de coexistence entre ces deux environnements.
- La cohérence spatio-temporelle, résultante de l'alignement réel-virtuel au cours du temps, ainsi que la gestion des occultations du réel avec le virtuel.
- La cohérence photométrique, c'est-à-dire la prise en compte dans la scène virtuelle de l'illumination et des ombres, présent dans l'environnement réel.

En accord avec le dispositif d'affichage choisi, le rendu visuel peut-être catégorisé selon deux types de procédés (Mallem & Roussel, 2014) :

- Le rendu visuel indirect, dans ce cas la vue du réel est restituée par une caméra sur un écran ou un visiocasque de type « video see-through ». Ainsi, l'utilisateur ne perçoit pas directement le mélange entre la réalité et la virtualité. Celui-ci est effectué par un ordinateur puis présenté sur un écran.
- Le rendu visuel direct, dans ce cas le réel est perçu directement par l'utilisateur, sans processus de traitement. Ceci est rendu possible en utilisant des systèmes optiques placés devant les yeux. Par exemple grâce à des lunettes de réalité augmentée « optical see-through ».

### 2.3. Les différents dispositifs d'affichage

Comme nous avons pu le voir précédemment, l'intérêt de la réalité augmentée réside dans la capacité à superposer des éléments virtuels dans un environnement réel en temps réel. Pour ce faire, l'utilisateur se doit d'utiliser un dispositif d'affichage adéquate. Ces dispositifs peuvent être classés selon trois catégories distinctes (Azuma et al., 2001) :

1. Les dispositifs « Handheld Displays »
2. Les dispositifs « Projective Displays »
3. Les dispositifs « Head-Mounted Displays »

Ces trois types de dispositifs peuvent se différencier les uns des autres en fonction de la distance à laquelle les augmentations sont perçues par rapport au champ visuel de l'utilisateur, voir Figure 4. Nous apporterons davantage de détails concernant ces dispositifs d'affichage dans la suite de cette partie.

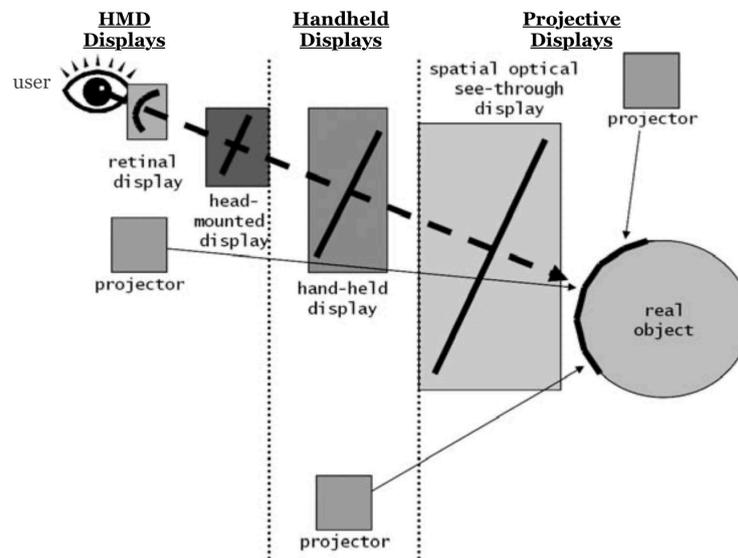


Figure 4 Les trois catégories de dispositifs d'affichage selon la distance entre l'oeil de l'utilisateur, le dispositif d'affichage et l'objet réel

Source : Adapté de Bimber et Raskar (2005)

### 2.3.1. Les dispositifs « Handheld displays »

Les « Handheld displays » sont des dispositifs portables de type smartphone ou tablette tactile. Nous avons pu constater une constante évolution de ces dispositifs grâce aux avancées technologiques. En effet, au fil des années ces dispositifs sont devenus de véritables micro-ordinateurs, dotés de fonctionnalités multimédias avancées capables aujourd'hui de faire fonctionner des applications de réalité augmentée dans le but d'augmenter la vision de ses utilisateurs. Selon Mallem et Roussel (2014), les handheld displays offrent une « fenêtre augmentée » sur le monde réel. La plupart des dispositifs sont équipés de :

- « une ou plusieurs caméras ;
- un GPS (permettant d'indiquer latitude et longitude) ;

- un accéléromètre (ou gravitomètre, permettant de mesurer les accélérations linéaires suivant trois axes orthogonaux, et incidemment l'attraction terrestre, ce qui permet d'en déduire l'orientation de l'appareil) ;
- un gyromètre (permettant de mesurer les vitesses angulaires, autour des trois mêmes axes) ;
- un magnétomètre (permettant de mesurer le champ magnétique terrestre et donc d'indiquer le Nord magnétique) ;
- un baromètre (en option – permettant de mesurer la pression atmosphérique et qui, une fois calibré, peut donner une indication sur l'altitude). » (Mallem & Roussel, 2014, p.7)

Bien que certains s'interrogent sur la fin de la loi de Moore, concernant l'évolution de la puissance de nos ordinateurs, les géants de l'industrie technologique continuent de développer de nouvelles fonctionnalités qui équiperont nos dispositifs dans le futur. Prenons exemple de la société Apple, qui en 2020 a intégré un scanner LiDAR (Light Detection And Ranging) sur sa dernière tablette tactile. « Le scanner LiDAR mesure la distance des objets situés à moins de 5 mètres. Fonctionnant en intérieur comme en extérieur, il a une précision de l'ordre du photon et une vitesse de l'ordre de la nanoseconde. » (Apple, 2020). Cette innovation est avant tout dédiée à la réalité augmentée et pourrait pousser les développeurs à créer de nouvelles applications.

Cependant, notons que la différence entre la vue de la caméra et la vue de l'utilisateur peut engendrer une erreur d'estimation des distances en raison d'un problème de parallaxe lors de l'utilisation des dispositifs « handheld » (Mallem & Roussel, 2014).

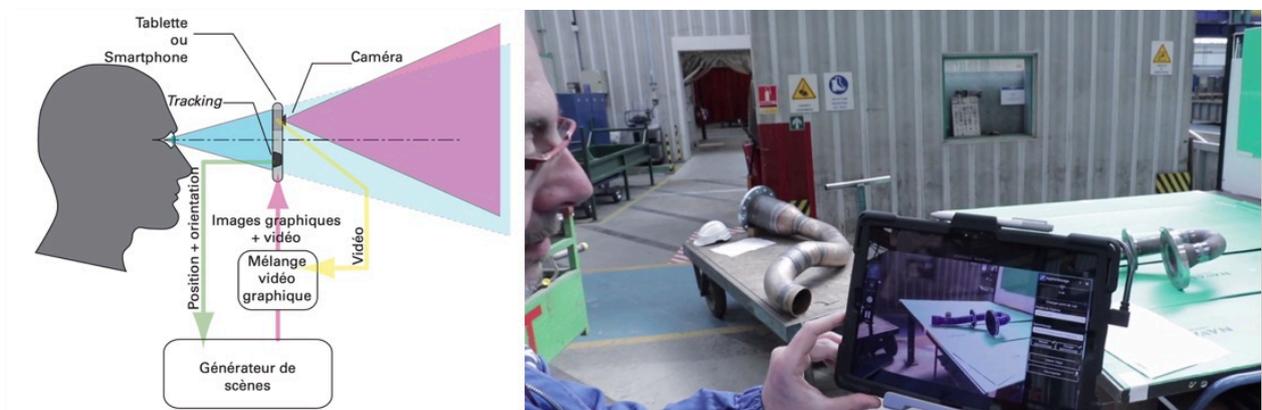


Figure 5 Aperçu de la technologie « Handheld display »

Source : Adapté de Mallem et Roussel (2014); FactoryLab (2018)

### 2.3.2. Les dispositifs « Projective displays »

Les « projective displays » nécessitent un système de projection. Grâce à l'utilisation de ces dispositifs, les augmentations sont apportées directement à la surface l'objet et non pas à la vision de l'utilisateur. On parle alors de réalité augmentée spatiale (« spatial augmented reality ») (Mallem & Roussel, 2014).

Traditionnellement, les « projective displays » étaient limités à augmenter des surfaces planes mais très vite de nouvelles techniques ont été développées afin d'apporter ces augmentations sur n'importe quel type de surface. Ceci est devenu possible grâce à des outils capables de reconnaître la géométrie des éléments à augmenter (Mallem & Roussel, 2014).

L'avantage de ce type de dispositif réside dans le fait que l'utilisateur a les mains libres et ne doit rien porter sur lui pour voir les augmentations. Cependant, les projecteurs nécessitent un support. Par conséquent, l'implémentation de ce type de système s'avère compliqué dans l'industrie navale.



Figure 6 Aperçu du dispositif « projective display »

Source : Light Guide Systems (2015)

### 2.3.3. Les dispositifs « Head-mounted displays »

Les dispositifs « Head-Mounted Displays (HMD) » sont considérés comme des visiocasques. Ce

sont des dispositifs qui sont portés directement sur la tête de l'utilisateur de type lunettes ou visiocasques de réalité augmentée. Lors d'une utilisation dans un environnement présentant des dangers, comme par exemple dans l'industrie, ces dispositifs peuvent être adaptés à un casque de protection. L'ajout d'éléments virtuels peut se faire soit sur un œil, dans ce cas, nous parlons de systèmes monoculaire, soit sur les deux yeux, grâce à des systèmes bi-oculaire.

Selon Azuma et al., (2001), les dispositifs « HMD » peuvent être classifiés en deux catégories distinctes, voir Figure 7 :

- Les dispositifs de type « optical see-through » : En accord avec ce que nous avons vu précédemment concernant les techniques de rendu, ces dispositifs apportent une vision directe (voir 2.2). L'utilisateur perçoit le monde réel à travers un dispositif dans lequel sont projetés les images virtuelles destinées à l'augmentation. Contrairement aux dispositifs « video see-through », les augmentations ne peuvent pas occulter les objets réels.
- Les dispositifs de type « video see-through » : Ces dispositifs apportent une vision indirecte (voir 2.2). L'environnement réel est perçu grâce à une ou plusieurs caméras disposées sur le visiocasque. Cependant, en raison d'un mauvais alignement entre la vision de l'utilisateur et la (ou les) camera(s) utilisée(s) sur le dispositif, un problème de parallaxe peut se produire.

Les visiocasques de réalité augmentée (« Augmented Reality HMD ») permettent aux utilisateurs de visualiser les augmentations virtuelles tout en ayant les mains libres pendant la réalisation d'une tâche. Ces types de dispositifs offrent la possibilité d'interagir avec ceux-ci grâce à une commande gestuelle, tactile et/ou vocale. L'évolution de ces dispositifs devraient significativement augmenter au cours des prochaines années. En effet, selon l'International Data Corporation (IDC statistics), le marché des HMD de réalité augmentée s'élevait à 209 millions de dollars en 2016 et devrait atteindre 48,7 milliard de dollars en 2021 (Kinthaert, 2017).

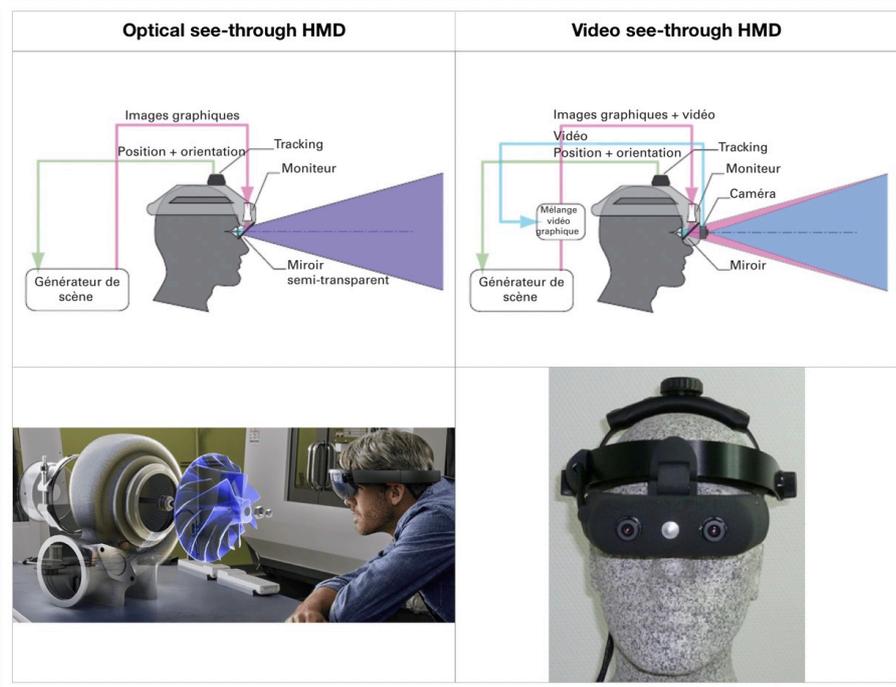


Figure 7 Optical see-through HMD vs Video see-through HMD  
 Source : Adapté Mallem et Roussel (2014); Ketfi (2019)

## 2.4. Développement des applications de réalité augmentée

Aujourd'hui, il existe de nombreuses bibliothèques pour le développement d'applications de réalité augmentée. Chacune d'entre elles met en œuvre certaines fonctionnalités requises dans un scénario bien spécifique. En général, pour le développement d'une application de réalité augmentée industrielle, il est nécessaire d'avoir :

- Des bibliothèques graphiques 2D et 3D, permettant de visualiser en temps réel et de superposer des éléments virtuels dans le champ de vision.
- Des mécanismes de reconnaissance pour pouvoir suivre les objets et superposer des informations.
- La reconnaissance vocale, qui est très utile lorsque l'utilisateur n'est pas en mesure d'interagir avec des commandes physiques.
- La commande gestuelle est également utile lorsque le bruit ambiant empêche la reconnaissance vocale.
- Reconstruction d'environnements en 3D pour comprendre l'environnement.
- Superposition d'éléments virtuels (avec ou sans marqueurs de réalité augmentée).

Toutes ces caractéristiques doivent être traitées via un kit de développement logiciel (SDK Software Development Kit) de réalité augmentée. Celui-ci est chargé d'interagir avec le système du dispositif d'affichage pour obtenir des données de l'environnement afin de montrer des informations contextuelles à l'utilisateur en fonction d'un scénario précis.



### **3. Principales applications de réalité augmentée dans l'industrie**

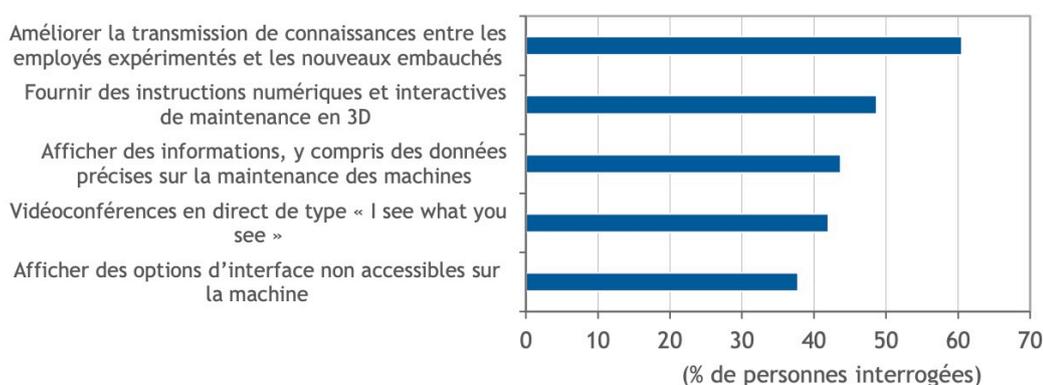
Nous venons de présenter lors des deux premières parties, le concept de la réalité augmentée ainsi que les technologies liées à celui-ci. Nous allons dès à présent discuter des différents cas d'utilisations de la réalité augmentée au sein de différents secteurs dans l'industrie en générale. Parmi ces secteurs, nous discuterons de l'implémentation de cette technologie au sein des services de maintenance, puis nous verrons les apports que ces solutions peuvent apporter lors du processus de formation. Ensuite, nous discuterons des avantages que peuvent apporter ces solutions dans le secteur de la vente et du marketing ainsi que dans le secteur de la fabrication. « Selon le guide d'IDC relatif aux investissements mondiaux dans la réalité augmentée et la réalité virtuelle, les entreprises ont dépensé plus de 3,6 milliards de dollars en 2017 dans le matériel, les logiciels et les services de RA », ce chiffre pourrait atteindre 120 milliards de dollars en 2022 (Mainelli, 2018, p. 1).

#### **3.1. Des solutions de réalité augmentée pour les services de maintenance**

Selon une étude réalisée par PTC en 2018, concernant les principaux cas d'utilisations actuels de la réalité augmentée dans l'industrie, voir Figure 8, 60% des personnes interrogées ont répondu que cette technologie permettait d'améliorer la transmission de connaissances entre les employés expérimentés et les nouveaux embauchés. Environ 48% des personnes interrogées utilisent la réalité augmentée afin d'apporter aux opérateurs des instructions numériques et interactives en 3D lors des tâches de maintenance, de réparations ou de contrôles. Ces informations peuvent être transmises aux opérateurs sous formes d'entités textuelles, visuelles et/ou auditives (Mainelli, 2018).

Cette étude révèle que 44% utilisent des solutions de RA afin d'afficher des informations, y compris des données précises sur la maintenance des machines (Mainelli, 2018). Le fait d'offrir un accès rapide à de la documentation telle que des manuels d'instructions numériques, des dessins techniques ou des modèles 3D, permet d'aider les opérateurs lorsqu'ils sont amenés à prendre des décisions.

Enfin, nous pouvons constater que 42% utilisent la réalité augmentée afin d'effectuer des vidéoconférences en direct de type, « I see what you see », ou plus communément connu en anglais sous le nom de « Remote Guidance ». Cette utilisation s'avère très utile afin de faciliter la collaboration à distance entre le personnel issue de différents corps de métier. En effet, dans la plupart des industries, les équipements sont fabriqués, installés et calibrés par des sociétés externes. Lorsqu'un équipement est défaillant, les opérateurs de maintenance sont parfois amenés à contacter un expert afin de trouver une solution au problème. La collaboration à distance entre les travailleurs en vidéoconférence évite alors le déplacement de l'expert et permet ainsi de limiter le temps d'arrêt des machines.



Personnes interrogées = 119

Figure 8 Étude de PTC 2018 à propos des principaux cas d'utilisation actuels de la RA dans le domaine des services de maintenance.

Source : Mainelli (2018)

Selon les dirigeants des entreprises ayant participé à cette étude, 62% d'entre eux ont déclaré un retour sur investissement (ROI) mesurable. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ce retour sur investissement. En effet, 65 % des participants ont remarqué une amélioration de la formation et de la transmission des connaissances entre les employés. 60 % ont déclaré une meilleure efficacité du personnel sur le terrain grâce à une augmentation de 50 % du taux de résolution dès la première intervention ainsi qu'une diminution de 24 % des déplacements des techniciens (Mainelli, 2018).

## 3.2. Cas d'utilisations lors du processus de formation

Afin d'optimiser la productivité, la formation des opérateurs est primordiale. La réalité augmentée peut aider pendant le processus de formation en donnant des instructions étape par étape pour développer et/ou résoudre des tâches spécifiques. Cela est particulièrement bénéfique pour former des travailleurs à l'utilisation de divers équipements, machines, ce qui réduit le temps et les efforts consacrés à la vérification dans les manuels d'instructions. En outre, la réalité augmentée peut réduire le temps de formation des nouveaux employés et diminuer les compétences requises pour les nouvelles recrues. De plus, il est possible d'adapter les instructions à l'expérience du travailleur, ce qui accélère le processus d'apprentissage en se focalisant davantage sur l'acquisition de compétences.

Les outils de réalité augmentée destinés à la formation s'avèrent très intéressants afin d'améliorer la transmission de connaissances entre les employés expérimentés et les nouveaux embauchés. En effet, entre 1950 et 1975, la forte croissance économique des pays développés a engendré des embauches massives de travailleurs (Trente Glorieuses, 2020). Aujourd'hui l'industrie fait face aux répercussions de cette embauche massive du fait que de nombreux travailleurs partent à la retraite avec une grande quantité de connaissances et de compétences qu'il est difficile de transmettre aux nouveaux employés selon un modèle de formation traditionnel.

Nous avons relevé deux exemples qui montrent clairement les atouts des dispositifs de réalité augmentée lors du processus de formation dans l'industrie. Chez Boeing, la réalité augmentée est utilisée afin de guider les stagiaires dans les 50 étapes nécessaires à l'assemblage d'une section d'aile d'avion composée de 30 pièces. La durée de cette tâche a été réduite de 35 % par rapport à la procédure basée sur des documents traditionnels. Le nombre de stagiaires peu ou pas qualifiés capables de réaliser cette opération du premier coup a augmenté de 90 % (Porter & Heppelmann, 2017)

De la même façon, Siemens utilise la réalité augmentée pour la formation de ses techniciens à l'assemblage d'un brûleur d'une turbine à gaz. Les novices ainsi formés ont réussi à monter leur premier brûleur en moins d'une heure, contre une journée auparavant (Moragues, 2018).

### 3.3. Le secteur du marketing et de la vente

Concernant les cas d'utilisations de la réalité augmentée dans le secteur du marketing et de la vente, l'étude menée par PTC a montré que 68% des participants utilisaient la RA pour la formation des commerciaux, 60% dans le cadre d'expériences directes avec la clientèle et environ 52% afin d'effectuer des vidéoconférences avec les acheteurs (Mainelli, 2018). En effet, les expériences directes avec la clientèle comprennent entre autres, la capacité d'incorporer une représentation numérique d'un produit dans l'environnement du client. Ceci offre par exemple la possibilité d'analyser au préalable, la mise en place d'un équipement volumineux qui serait difficile à transporter au sein d'une entreprise. De plus, des expériences d'achat peuvent être élaborées et adaptées aux besoins spécifiques des clients, afin de permettre aux acheteurs de visualiser et d'utiliser des équipements en autonomie. Cela permet de réduire les niveaux d'incertitude quant à leurs choix et ainsi raccourcir le cycle de vente.

Un bon exemple de réalité augmentée concernant le secteur du marketing et de la vente dans l'industrie automobile a été créé par BMW lors d'une campagne de vente de ses derniers véhicules électriques, voir Figure 9 (« BMW Apps : Virtual & Augmented Reality », s.a.). Les futurs acheteurs ont la possibilité d'avoir un aperçu des différentes options proposées par la marque.



Figure 9 Application développée par BMW pour la campagne de vente de ces véhicules électriques

Source : BMW Apps : Virtual & Augmented Reality (s.a.)

### 3.4. Le secteur de la fabrication

Selon l'étude de PTC, plusieurs facteurs ont incité l'industrie manufacturière à utiliser des solutions de réalité augmentée au sein de leurs équipes. « Le premier facteur est l'amélioration de l'efficacité de la fabrication (70 %) et le second est la capacité d'accélérer les délais entre la formation et les opérations (60 %). D'autres facteurs mesurables entrent en ligne de compte, tels que la diminution des erreurs de fabrication (42 %) et des temps d'arrêt (39 %) » (Mainelli, 2018, p. 8).

En effet, grâce aux solutions de réalité augmentée, les opérateurs peuvent recevoir des informations utiles à la réalisation d'une tâche. L'assistance apportée aux opérateurs permet d'éviter de commettre des erreurs, et ainsi d'augmenter la productivité. Cela est particulièrement intéressant lorsqu'une tâche présente un risque, où une erreur pourrait engendrer un accident.

Sääski et al. (2008), ont réalisé une expérience lors d'un exercice d'assemblage sur un moteur, dans laquelle ils ont comparé les performances entre des opérateurs équipés d'un dispositif de réalité augmentée, et des opérateurs munis de manuels d'instructions en papier. Les résultats de cette expérience, voir Figure 10, ont montré que l'assemblage avait duré 36min34 en moyenne pour les opérateurs équipés des manuels d'instructions contre 31min45 pour les opérateurs muni du dispositif de réalité augmentée. De plus, l'expérience a montré que les opérateurs munis du dispositif de RA, faisaient moins d'erreur concernant le choix de l'outillage et concernant leur positionnement. Bien que cette expérience date d'il y a maintenant plus de 10 ans, les résultats montrent bien que le groupe équipé du dispositif de réalité augmentée est plus agile et plus rapide lors de la réalisation de leur tâche.

	Instruction type	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Assembling duration (h:mm:ss)	paper instructions	30	0:36:34	0:07:42	0:01:24
	augmented-reality instructions	29	0:31:45	0:04:31	0:00:50
Observed frequency of using a wrong tool	paper instructions	26	1,96	1,455	,285
	augmented-reality instructions	25	,32	,627	,125
Observed frequency of false positioning	paper instructions	26	3,54	1,964	,385
	augmented-reality instructions	25	1,48	1,873	,375

Figure 10 Résultat de l'expérience d'assemblage

Source : Sääski et al. (2008)

En 1990, le « Boeing's Wire Bundle Assembly Project » fut l'une des premières applications de réalité augmentée développée pour l'industrie aéronautique. Ce projet visait à améliorer l'efficacité des opérateurs lors de l'assemblage des câbles dans la carlingue des avions de lignes. L'application a permis de réduire le coût ainsi que le temps de réalisation de ce processus, grâce à l'ajout d'informations visibles virtuellement sur un plan physique (Mizell, 2001).

Aujourd'hui, Airbus utilise également la réalité augmentée afin d'assister les opérateurs lors du montage des sièges dans les nouveaux avions de lignes, voir Figure 11. Les opérateurs, munis d'un dispositif HMD reçoivent les instructions dans leur champ de vision, afin de trouver la position adéquate des sièges sur le pont et effectuer un ajustement précis. L'utilisation de cette technologie a permis d'obtenir des résultats quasi parfait dès les premiers essais. Le temps d'installation a été réduit par six, ce qui a permis d'améliorer considérablement les coûts de production, la satisfaction des travailleurs ainsi que celle des clients des compagnie aériennes (Accenture, 2019).



Figure 11 Les opérateurs de la société Airbus assistés grâce à la réalité augmentée  
Source : Ian Wright (2017)

## **4. Cas d'usages de la réalité augmentée dans un contexte maritime**

### **4.1. Introduction**

Nous venons de voir les principaux cas d'utilisation de la réalité augmentée au sein de divers secteurs de l'industrie de manière générale, en passant du domaine des services de maintenance, à la transmission de connaissances et à la formation, du marketing et des ventes, et à la fabrication. Au cours de cette partie, nous allons discuter des solutions de réalité augmentée adaptées afin d'apporter une assistance aux opérateurs dans le secteur de la construction navale, aux équipes de maintenance à bord des navires et lors du processus d'éducation et de formation.

### **4.2. La marine marchande en route vers une transformation numérique**

Au cours des dernières décennies, l'architecture navale est passée des dessins sur papier et des calculs manuels, à une utilisation intensive de la conception assistée par ordinateur (CAO) après les années 1980.

Dans un premier temps, faute de moyens informatiques puissants, les systèmes de CAO sont assez rudimentaires et limités à des représentations 2D. Il faudra attendre le milieu des années 90 pour voir apparaître les premiers outils capables de gérer des modèles en 3D (Groizeleau, 2018).

A cette innovation s'ajoute également l'apparition des outils de gestion de données techniques GDT aussi connu en anglais sous le nom de « Product Data Management » (PDM). En effet, afin de faciliter le développement des futurs navires, dont la complexité ne cesse de s'accroître en raison du nombre important d'intervenants, de la multitude d'éléments à assembler ainsi que de la quantité de données générées, ces outils sont devenus une réelle nécessité pour contrôler l'avancée des projets (Groizeleau, 2018).

Une extension de la GTD a ensuite vu le jour dans les années 2000 avec le « Product Lifecycle Management » (PLM). En effet, le PLM est une base de données centralisée, où sont stockées toutes les informations relatives aux navires, de la phase de conception jusqu'à son

démantèlement (Groizeleau, 2018). Les outils de PLM gèrent tous les aspects du **cycle de vie** des produits.

En 2003, la frégate Al Riyadh fut le premier navire en Europe à être conçu en 3D avec une maquette numérique complète. Le chantier fut réalisé par la DCN (Direction des Constructions Navales) aujourd'hui devenue Naval Group (<https://www.naval-group.com/fr/>) (Groizeleau, 2018).

Les développements récents se concentrent sur le Building Information Modeling (BIM). L'adoption de cet outil dans la construction navale, en complément avec le PLM, offrira la possibilité de modéliser la conception, la construction et l'exploitation d'un navire. Le BIM est une plate forme collaborative qui couvre la gestion du cycle de vie des navires et permet de connaître l'état de celui-ci à l'instant présent tandis que le PLM permet de savoir quel ont été les modifications faites dans le passé. L'association de ces deux outils permettra une gestion complète tout au long du cycle de vie du navire. Une maquette numérique "intelligente" en 3D sera élaborée, permettant ainsi de visualiser l'ensemble d'un projet en temps réel. En combinant cela aux technologies de réalité virtuelle et de réalité augmentée, le design peut être présenté aux clients sous forme de maquette virtuelle, les équipes de maintenances peuvent recevoir une assistance en superposant dans leur champ de vision des éléments virtuels en 3D, améliorer la collaboration en travaillant ensemble sur une maquette virtuelle ou bien former les équipes aux situations complexes qu'ils sont susceptibles de rencontrer lors du chantier. L'objectif est ainsi de construire plus vite en respectant au mieux les délais prévus, de réduire les coûts et d'améliorer les performances du navire tout au long de son cycle de vie (Microsoft Expériences, 2020; Rancurel, 2019). L'association de ces deux outils permettra une gestion complète tout au long du cycle de vie du navire.

Une transformation numérique pourrait permettre aux chantiers navals de réduire leurs coûts d'exploitation de 15 à 20 %, ainsi que d'augmenter ses revenus de 10 à 15 % en seulement cinq ans (Accenture, 2019).

### 4.3. L'innovation au coeur du secteur de la construction navale

Dans l'avenir, le marché mondial de la construction navale devrait se développer en raison de l'augmentation du commerce maritime et de la croissance économique, de la demande de navires et de services maritimes au respect de l'environnement (Globe newswire, 2020).

La demande de navires sophistiqués, polyvalents à des prix abordables n'a jamais été aussi forte. Les armateurs du monde entier recherchent des navires fiables, sophistiqués et à prix raisonnable, qui répondent à leurs besoins. Cependant, le coût et la complexité des navires modernes ne sont pas compatibles avec la plupart des prévisions budgétaires. C'est pourquoi les concepteurs de navires visent à fournir des solutions technologiques qui permettront aux chantiers navals de construire les futures flottes dans le respect des budgets et des délais, avec des performances opérationnelles et une fiabilité tout au long du cycle de vie des navires.

#### 4.3.1. Aperçu du processus de la construction navale.

Le processus de construction navale, de la commande à la livraison du navire, peut être divisé en deux phases : la phase de conception et la phase de fabrication. La phase de conception peut à son tour être divisée en trois étapes : l'étude de conception, lors de cette phase, des négociations avec l'armateur ont lieu concernant les exigences et les spécifications générales du navire. Ensuite, l'étude d'industrialisation de la coque, lors de laquelle une forme de coque est définie grâce à des calculs hydrostatiques et de stabilité. Enfin, l'étude d'industrialisation de l'emménagement du navire. Les phases de conceptions sont particulièrement importantes car de nombreuses décisions sont prises. Ces décisions auront un réel impact sur la qualité, le coût et le délai de livraison du navire (Kim et al., 2005).

En ce qui concerne le processus de fabrication, celui-ci comprend l'usinage et la préfabrication de la coque, l'habillage des panneaux, le prémontage de la coque, l'armement des blocs (tuyauteries, conduits de ventilation, composants électriques sont installés avant que ceux-ci ne soient assemblés), le montage de la coque, c'est à dire l'assemblage des blocs, l'armement à bord, puis l'installation des équipements et leurs intégrations à bord avant de laisser place aux finitions et essais à quai puis en mer. Toutes ces étapes se déroulent selon un planning très

complexe sur une longue période de temps. La Figure 12, montre le planning des grandes phases de réalisation d'un navire sur une période de 50 mois. De la phase initiale des études, à la phase finale des essais en mer (L'observatoire de la métallurgie, 2016; Stellman, 2000).

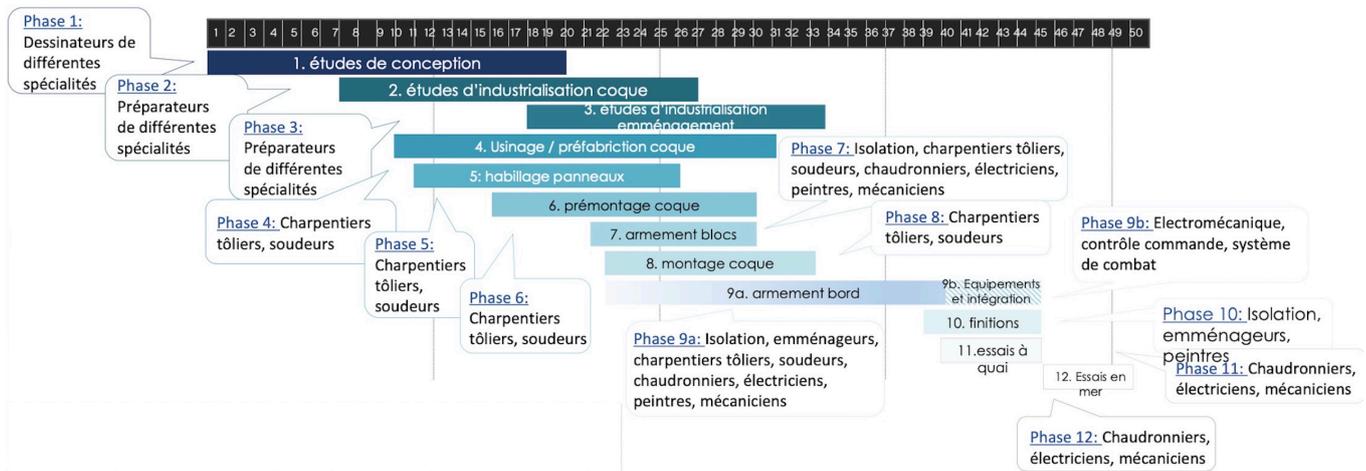


Figure 12 Planning des grandes phases de la construction navale

Source : L'observatoire de la métallurgie (2016)

L'industrie de la construction navale est un secteur particulièrement complexe si on le compare aux autres secteurs tels que l'industrie automobile. En effet, plusieurs caractéristiques font que cette industrie se distingue des autres (Kim et al., 2005) :

- Le type et la forme des navires sont très différents d'un navire à l'autre. C'est pourquoi il est difficile de standardiser le processus de conception car celui-ci est réalisé en fonction des exigences des armateurs.
- L'approvisionnement en matériaux et la fabrication commencent alors que la phase de conception n'est pas terminée. De ce fait, des modifications techniques et des modifications concernant les matériaux sont prévisibles au cours de la fabrication.
- Des centaines d'employés issues de différents corps de métier interviennent lors de la réalisation d'un projet dans un chantier naval. La communication entre les opérateurs est primordiale et génère une grande quantité de données.
- Bien que les matériaux soient lourds et volumineux, la précision requise est élevée. De plus, la structure d'un navire est complexe, ce qui rend difficile la standardisation du processus de fabrication.

De plus, les chantiers navals sont également responsables du maintien en condition opérationnel tout au long du cycle de vie des navires. Ces navires peuvent parfois rester en activité pendant plusieurs décennies. Au cours de ces années de service, les armateurs se doivent de faire appel aux constructeurs navals afin d'effectuer des tâches d'entretien, des transformations pour les navires qui nécessitent une modernisation afin de répondre aux normes de sécurité et de respect de l'environnement, de remise en état après inspections ainsi que des réparations suite à des avaries importantes ou des réparations mineures du matériel (Stellman, 2000).

#### 4.3.2. Cas d'usages de la réalité augmentée dans le secteur de la construction navale

Dans les chantiers navals de Newport News Shipbuilding, en charge de la construction des navires militaires de l'US-Navy, les ingénieurs utilisent la réalité augmentée lors de l'inspection des structures temporaires mises en place pour soutenir la structure du navire lors de sa construction. Grâce aux technologies de réalité augmentée, le temps d'inspection qui durait auparavant 36 heures, est passé à seulement 90 minutes. Le constructeur ajoute qu'un gain de temps d'au moins 25 % est typique lors des tâches de fabrication utilisant la RA (Porter & Heppelmann, 2017). Les solutions de RA pourraient faire économiser jusqu'à 1 milliard de dollars à l'US Navy pour la construction de son dernier porte-avions nucléaire (Bergouhnox, 2016).

Comme nous avons pu le voir précédemment, la fabrication d'un navire commence alors que la conception n'est pas totalement aboutie. Ces processus se chevauchent souvent dans le temps. Lors de l'armement des blocs, prenons exemple de la phase d'installation de la tuyauterie. Cette phase demande une certaine rigueur afin que les installations concordent lors de l'assemblage de ces derniers. En intégrant et en traduisant les plans grâce aux solutions de réalité augmentée, il devient possible de montrer précisément où et comment les tuyaux doivent être installés dans le navire. En superposant des instructions tout en se déplaçant dans un environnement réel, la complexité du plan imprimé en 2D est éliminée (Hololens for engineers, s.a.).

Par la suite, un contrôle de qualité est nécessaire avant l'assemblage des blocs. Des divergences entre les données de CAO et la construction réelle du navire peuvent se produire. Il est donc

nécessaire de modifier ces données. Un problème récurrent concerne les réseaux de tuyaux, les réseaux de câblages et les conduites à bord. Une solution de réalité augmentée offre à ses utilisateur la possibilité de visualiser les écarts entre les modèles de CAO en 3D et la construction réelle, voir Figure 13. Les utilisateurs peuvent alors vérifier si l'alignement est correct et le modifier dans le cas contraire. Dans le cas où une modification doit avoir lieu, la géométrie du tube peut être sauvegardée dans le but de mettre à jour le modèle de CAO (Blanco-Nova et al., 2018). Dans les chantiers navals de Naval Group, le projet AGORA a été développée en collaboration avec la société Diota pour le contrôle de tuyaux. Les premiers tests se sont avérés favorables du fait que la solution offre une prise en main rapide, une adéquation au métier et un gain de temps considérable (Diota, 2018).



Figure 13 Aperçu de la solution de réalité augmentée pour le contrôle de la tuyauterie dans les chantiers navals de chez Naval Group

Source : Bergouhnoux (2017)

Un autre cas récurrent lors de la construction d'un navire concerne les ouvertures pour le passage de la tuyauteries, des conduites ou du câblage. Il arrive régulièrement que ces ouvertures n'apparaissent pas dans le plan de coque délivré au chantier naval. Avant que de nouvelles ouvertures puissent être découpées, elles doivent être approuvées par le bureau d'études en charge du projet, afin de s'assurer qu'elles ne causent pas de contrainte pour la résistance de la structure du navire. Une application de réalité augmentée simplifie la création et la demande d'approbation des ouvertures. L'objectif est de concevoir un flux d'actions fluide entre

l'opérateur du chantier naval et les concepteurs du navire afin de définir une demande d'ouverture et la traiter. Le système de RA montre l'ouverture virtuellement, directement sur un plan physique du navire, voir Figure 14, l'utilisateur peut ensuite l'ajuster de manière interactive jusqu'à ce qu'elle ait l'apparence voulue. Après avoir rempli les données nécessaires (forme, dimensions, lieu, but), l'utilisateur peut envoyer la demande d'approbation vers le bureau d'études (Helle et al., 2014).



Figure 14 Aperçu d'une application de demande d'ouverture

Source : Helle et al. (2014)

Ces solutions de RA améliorent la communication entre les concepteurs et les opérateurs du chantier naval et permettent de réduire le temps nécessaire lors d'une demande de travaux sur la structure du navire ainsi que d'accélérer les travaux de construction tout en réduisant le nombre d'erreurs. De plus, ces solutions offrent la possibilité de visualiser les détails de la construction sur la structure réelle, ainsi que la possibilité d'ajouter ces nouvelles données aux modèles de CAO afin de les maintenir à jour (Helle et al., 2014).

Dans leurs publications Fraga-Lamas et al. (2018), suggèrent des solutions de RA dans le but d'apporter une assistance aux chaudronniers lors des opérations de soudages dans les chantiers navals. Le chaudronnier équipé de son masque de soudure reçoit des informations virtuelles par l'intermédiaire d'un écran placé à l'intérieur de son masque de soudure. Ces informations peuvent lui suggérer des corrections à apporter ou bien lui indiquer des erreurs.

Dans les chantiers navals, les schémas délivrés aux opérateurs afin de les aider à identifier les exigences techniques et à comprendre ce qui va être construit peuvent parfois s'avérer compliqué à interpréter. Ces schémas sont créés numériquement lors de la phase de conception. Afin d'aider les opérateurs à interpréter ces schémas, une application de réalité augmentée est capable de représenter des modèles en 3D, créés à partir des schémas de conception. L'application ajoute à chaque schémas de conception un modèle en 3D, qui est affiché sur l'écran du périphérique de RA (smartphone, tablette tactile ou lunette de RA). Les modèles de CAO en 3D sont téléchargés sur un serveur avec leur nuage de points et sont stockés dans des bases de données. Pour la reconnaissance des modèles de CAO, une photo est prise avec l'appareil photo du dispositif utilisé, puis une recherche est effectuée dans la base de données pour trouver une correspondance. Dans le cas d'une concordance, le modèle 3D est transmis à l'opérateur via le dispositif d'affichage afin d'offrir une visualisation interactive en trois dimensions (Fraga-Lamas et al., 2018).

Lors du processus de construction ou de réparation d'un navire, un énorme effort de coordination est nécessaire pour localiser, identifier, rassembler et mettre en scène la multitude de pièces requises dans le processus de construction. Des pièces étiquetées avec un marqueur indiquent au personnel du chantier leur emplacement afin de faciliter le processus d'identification. Cette solution, représenté sur la Figure 15, a été développée pour les chantiers navals de Navantia situé à Ferrol en Espagne (Fraga-Lamas et al., 2018).



Figure 15 Localisation des différentes pièces dans les ateliers du chantier naval

Source : Fraga-Lamas et al. (2018)

Un autre cas d'utilisation développé par la société Discern Solution (<https://discern-solution.com>), consiste à visualiser l'invisible. Grâce à la réalité augmentée, il devient possible de visualiser des installations cachées, par exemple, derrière des cloisons, en superposant des éléments virtuels 3D directement sur un plan physique du navire, c'est à dire dans l'environnement existant. Le système de RA permet d'assister les opérateurs, tant lors du pré-assemblage que lors de l'assemblage des blocs, et ainsi révéler des éléments internes difficilement visible. Ce concept facilite également l'entretien et la réparation des pannes tout en évitant de commettre des erreurs, voir Figure 16 (Blanco-Novoa et al., 2018).



Figure 16 Vérification du réseaux de conduites d'un paquebot aux Chantiers de l'Atlantique avant le montage.

Source: Discern Solution (2020)

La réalité augmentée permet également de placer un objet virtuel n'importe où afin d'observer à l'échelle réelle si son intégration est possible.

Ces dernières années, plusieurs solutions de réalité augmentée ont été présentées pour aider à l'accomplissement des tâches quotidiennes dans un chantier naval et dans l'industrie de la construction navale.

#### 4.4. La RA au sein des services de maintenance à bord des navires

Un navire en mer présente de nombreux aspects complexes par rapport aux autres modes de transports. Aussi bien en raison d'un manque de moyen tel que l'outillage ou la disponibilité des

pièces de rechange permettant d'effectuer certain travaux de maintenance complexes, que par le manque d'accessibilité aux infrastructures terrestre telles que les chantiers navals ainsi que l'expertise des personnes y travaillant. En outre, les temps d'arrêts et les retards inattendus entraînent des pertes financières importantes pour les compagnies maritimes. Malgré les efforts actuels en matière de maintenance, les dommages ou défaillances des machines restent la cause principale d'incidents à bord des navires, avec 40 % du nombre total d'incidents (Allianz Global Corporate & Specialty, 2019).

De plus, le maintien en condition opérationnel d'un navire nécessite du personnel qualifié avec des connaissances spécifiques à son bord. En raison d'un renouvellement constant des équipements, il arrive fréquemment qu'un membre d'équipage ne connaisse pas (ou peu) les procédures de maintenance à suivre. Lorsqu'une opération de maintenance doit être exécutée, les techniciens de maintenance à bord se réfèrent la plupart du temps à des procédés décrits dans des manuels utilisateur. Dans ce cas, les opérateurs doivent lire et mémoriser les instructions pour les appliquer aux opérations de maintenance. Cependant, cette tâche est généralement sujette à des erreurs humaines (par exemple des oublis, des confusions). Afin d'éviter ce genre d'erreurs et de palier au manque de connaissance, des solutions de réalité augmentée optimisées pour assister le personnel de bord ont été créées. Parmi elles, nous retrouvons les applications d'assistance contextuelle et les applications de télé-assistance dont nous allons parler dans les points qui suivent.

#### 4.4.1. Assistance contextuelle basée sur la réalité augmentée

MAN Energy Solutions (<https://www.man-es.com>) a développé, MAN Ceon TechGuide, une application permettant d'augmenter la perception des mécaniciens grâce à des modèles 3D, des animations et des vidéos, intuitivement placé dans le champ visuel de l'opérateur, Figure 17. Le système de RA permet aux mécaniciens de localiser plus facilement les éléments qu'ils devront manipuler lors de la tâche à réaliser, ce qui est plus rapide et plus sûr que l'utilisation des supports de documentation traditionnels (Man Energy Solutions, 2019).

Afin de permettre aux opérateurs d'avoir les mains libres lors de la réalisation d'une tâche, le périphérique HMD permet l'interaction par le biais de commandes vocales. Si le bruit dans la

salle des machines interfère avec les commandes vocales, l'application prend également en charge la navigation gestuelle.

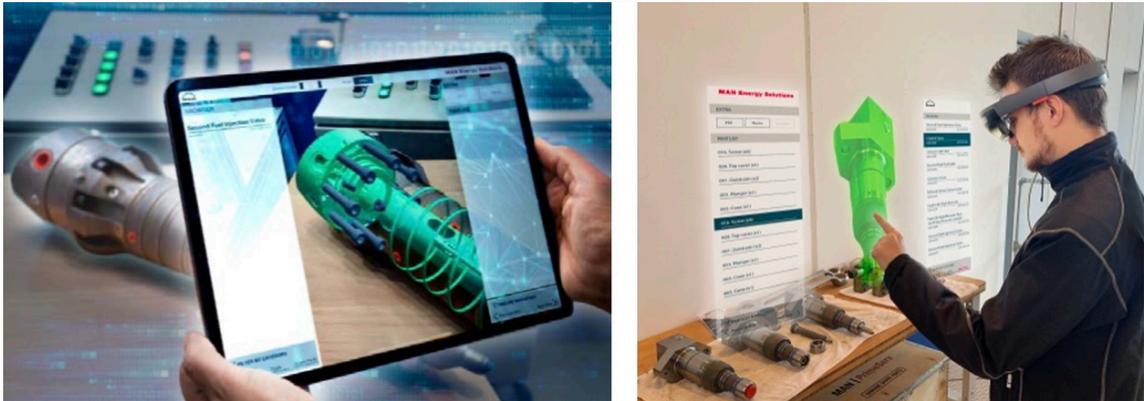


Figure 17 MAN Ceon TechGuide.

Source : Adapté de MAN Energy Solutions (2019)

L'utilisation d'un tel système offre un gain de temps considérable. Le temps de préparation est raccourci du fait que toutes les données nécessaires sont disponibles directement depuis la mémoire interne du périphérique (ou depuis un Cloud). Les utilisateurs sont donc à la fois plus rapide et mieux préparés à faire le travail. De plus, un rapport peut être établi facilement une fois la tâche accomplie, ce qui permet de garder à jour l'historique des tâches réalisées.

Un autre avantage à prendre en considération concerne la sécurité. En effet, les opérateurs doivent sans cesse se concentrer sur les composants avec lesquels ils travaillent afin d'éviter les erreurs et les blessures. De ce fait, plutôt que d'utiliser un manuel d'instructions sur le côté, qui pourrait distraire les opérateurs pendant l'accomplissement de leurs tâches, les dispositifs de réalité augmentée HMD permettent aux utilisateurs d'interagir avec les instructions directement dans l'environnement dans lequel ils évoluent, avec l'avantage de pouvoir réaliser les tâches tout en ayant les mains libres (Virisabi, s.a.).

Actuellement, MAN Ceon TechGuide est testé à bord de plusieurs vraquiers de la compagnie Berge Bulk, basé à Singapour (MAN Energy Solutions, 2019). Les techniciens de maintenance reçoivent une assistance via un périphérique (tablette, smartphone ou HMD) disposant d'une application de réalité augmentée. Dans le cadre d'une opération de maintenance, les techniciens effectuent un ensemble de tâches. Le but de ce système est de donner des instructions complètes et interactives aux techniciens de maintenance en leur donnant accès à des données issues des

logiciels de GMAO afin d'obtenir une liste des tâches à exécuter, accompagnée de conseils. Le système permet aux techniciens de procéder à leur rythme et de reconnaître quand une étape de maintenance est terminée. Le programme garantit donc que toutes les procédures de maintenance nécessaires sont effectuées, ce qui permet de mettre à jour les informations dans le système. De cette façon, l'équipage est dans la capacité d'exécuter davantage de tâches, qui auparavant, nécessitaient une assistance technique externe au navire (Aromaa et al., 2016).

L'assistance apportée aux opérateurs via les solutions de réalité augmentée peuvent être utiles lors de tâches de maintenance complexes rarement effectuées ou dans des situations où il n'est pas possible de contacter d'autres personnes. Cependant, dans le cas d'une situation imprévue, les solutions d'assistance contextuelle en réalité augmentée ne sont pas capables de guider l'opérateur. Ce type de solution est efficace uniquement lorsqu'une procédure précise est régie via l'application de réalité augmentée.

#### 4.4.2. L'aide au travail grâce aux systèmes de télé-assistance collaborative

Au-delà de la complexité croissante de la technologie, s'ajoute un renouvellement constant des équipements. Ceux-ci s'accompagnent le plus souvent par des évolutions techniques, technologiques et d'exigences, toujours accrues en matière de normes et de réglementations. Afin de faire face à cette situation, la télé-assistance collaborative ou la vidéoconférence permet de gagner en performance et de limiter les sources d'erreur (Cieutat, 2013).

Les HMD de réalité augmentée peuvent transmettre un flux vidéo en direct vers des experts à distance. Ces experts, spécialisés dans un équipement ou dans la réalisation d'une tâche spécifique, peuvent guider les opérateurs sur place, en temps réel, grâce à des procédures appropriées (Mallam, 2019). L'idée est de favoriser la communication en vidéoconférence et le partage d'informations entre les spécialistes situés très souvent à terre, et l'équipage du navire en mesure de réaliser les tâches.

Lors de travaux de maintenance, les techniciens peuvent être confrontés à des situations complexes, dans lesquelles ils ne savent pas comment procéder ou ont besoin d'une assistance

pour le faire. Une situation similaire se produit lorsqu'il n'y a pas d'indications concernant un équipement spécifique ni d'instructions écrites sur les valeurs de réglage d'un certain système. Dans ces situations, les techniciens appellent généralement leurs collègues, un expert ou un support d'assistance pour obtenir de l'aide.

Comme illustré sur la Figure 18, le technicien de maintenance utilise un périphérique de RA (tablette, smartphone ou HMD) disposant d'une caméra pour partager des images ou des vidéos de l'objet entretenu ainsi qu'un micro/casque pour communiquer. Ces outils permettent d'échanger avec le support d'assistance et de recevoir des indications visuelles et/ou auditives concernant la manière dont le travail doit être exécuté, directement sur l'écran du dispositif d'affichage utilisé.

Depuis un centre d'expertise, l'expert utilisera un moniteur pour voir ce que fait le technicien de maintenance et partagera avec lui des instructions telles que des images, de la documentation, des instructions textuelles et/ou auditives. Le transfert d'informations se fera ainsi via internet. La caméra, qui est mobile, permet au spécialiste situé à terre d'avoir une vue du travail à effectuer à bord sous différents angles. Ce type de système donne la possibilité d'enregistrer des images ainsi que des notes référencées, accessible aussi bien depuis les bureaux à terre que pour le personnel à bord (Aromaa et al., 2016). Nous avons basé notre démonstration du concept de télé-assistance collaborative sur la technologie de « remote guidance » en réalité augmentée développée par Wärtsilä Solutions (<https://www.wartsila.com/marine>).



Figure 18 Système de Télé-Assistance Collaborative par Wärtsilä

Source : Adapté de Wärtsilä (2020)

### L'opérateur est équipé :

- D'un dispositif d'affichage type HMD ou « handheld display » capable de présenter les augmentations en provenance de l'expert puis retranscrire l'environnement de l'opérateur vers l'expert via une camera ;
- De différents capteurs (gyroscope, accéléromètre) dans le but d'évaluer les mouvements pour gérer les augmentations ;
- D'un système de calcul dédié à l'affichage des augmentations et gérant la communication distante ;
- D'un micro/casque pour les communications audio.

### L'expert est équipé :

- d'un dispositif d'affichage (moniteur, smartphone ou tablette), doté d'un logiciel pour la création des augmentations et la gestion des communications distantes ;
- d'un micro/casque pour les communications audio.

Concernant la connectivité à bord des navires, celle-ci est souvent limitée et doté d'un bande passante faible. Afin de palier à ce problème, la société Wärtsilä utilise une antenne LTE (Long Term Evolution) afin de créer un réseau Wi-Fi local à bord. Une conception brevetée et optimisée pour offrir une connexion dans un rayon de 70 kilomètres des côtes, voir Figure 19.

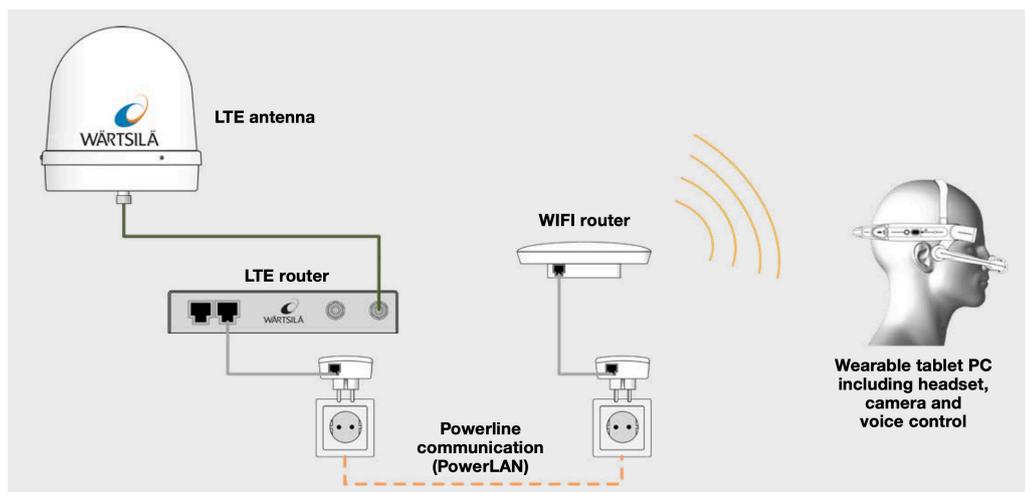


Figure 19 Télé-assistance à bord d'un navire avec une connexion LTE.

Source : Wärtsilä (2020)

Le concept de télé-assistance est prometteur dans le sens où il permet de partager avec d'autres la

même image visuelle de la situation. Un des défis possibles de ce concept est qu'une connexion en ligne peut ne pas être disponible ou qu'elle ne fonctionne pas de manière fiable et ininterrompue lorsque le navire est loin des côtes (Aromaa et al., 2016).

L'adoption de nouvelles technologies telles que la réalité augmentée peut générer de nouveaux avantages pour les mécaniciens à bord des navires, les compagnies maritimes ainsi que leurs clients. En effet, les mécaniciens à bord peuvent se concentrer davantage sur leurs tâches de maintenance et travailler de manière plus sûre, plus rapide en diminuant le risque de commettre des erreurs et de ce fait accroître la satisfaction des opérateurs. Les compagnies maritimes quant à elles, tireront le plus grand profit de la réduction des temps d'arrêts des machines, de l'amélioration des services et de l'amélioration de la communication entre les navires en mer, les experts et les bureaux situés à terre.

#### 4.5. Formation et éducation grâce à la réalité augmentée

La société actuelle a accès à une gamme de produits et de services qui facilitent notre vie au quotidien. Constamment, de nouvelles innovations voient le jour afin de répondre aux besoins qui se présentent. La mondialisation ainsi que les progrès technologiques ont sans aucun doute généré de nombreux avantages dans notre vie au quotidien, notamment dans différents secteurs de l'industrie, y compris le secteur de l'industrie maritime.

Outre la nécessité de disposer de machines et de logiciels de haute technologie, et de conditions opérationnelles, économiques et politiques favorables, le secteur maritime a le plus grand besoin de marins hautement qualifiés et possédant les compétences requises pour mener à bien des opérations complexes.

Selon des données récentes de l'International Chamber of Shipping, on compte aujourd'hui plus de 1,6 million de marins à travers le monde. Avec une augmentation d'environ 24,1% de la demande d'officiers hautement qualifiés, le secteur du transport maritime connaît aujourd'hui une pénurie de près de 16500 officiers (International Chamber of Shipping, s.a.). Pour répondre à cette forte demande, l'éducation et la formation des gens de mer s'avère fondamentales.

Le cursus traditionnel consiste en une formation théorique et pratique en classe et en des expériences pratiques en mer. Toutefois, avec l'émergence des technologies immersives telles que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA), le processus éducatif et de formation pourrait acquérir de nouveaux outils et manières de travailler.

L'adoption des technologies numériques et des simulateurs maritimes sophistiqué dans les années 1990 a permis aux marins de s'entraîner et de développer leurs compétences avant de devoir embarquer à bord des navires.

Ces dernières années, la visualisation immersive en 3D est en plein essor. Ces nouvelles technologies pourraient permettre de réduire davantage les écarts entre la simulation et la vie réelle et ainsi faciliter l'apprentissage tout en améliorant les performances des stagiaires. En outre, l'utilisation de ces technologies pourraient réduire le nombre d'erreurs, car elles améliorent la perception et l'évaluation des situations réelles (Mallam et al., 2019).

Un autre avantage est la flexibilité que ces nouvelles technologies sont susceptibles d'apporter lors du processus de formation et d'éducation. Avec les dispositifs portables que nous possédons aujourd'hui (les tablettes tactiles, smartphones), nous serions en mesure d'utiliser les simulateurs, par exemple, via des applications mobiles. Cela permettrait de déployer les formations à tout moment, les rendant ainsi facilement accessibles aux stagiaires et aux professionnels. L'interaction entre les instructeurs et les apprenants pourrait être accrue pendant les sessions de formations mobiles grâce aux réseaux connectés.

D'un point de vue économique, la flexibilité de ces technologies mobiles peuvent réduire les coûts directs et indirects de la formation tout au long de la carrière d'un marin, y compris les coûts liés aux déplacements, aux heures supplémentaires et au paiement des salaires. L'utilisation de systèmes tels que la réalité augmentée permettrait également de réduire le nombre d'installations traditionnelles en offrant la possibilité aux utilisateurs d'y accéder à bord, en voyage ou depuis leur domicile, augmentant ainsi les possibilités de formation via des simulations immersives mobiles (Mallam et al., 2019).

Les avantages de ces outils, combinés à un marché extrêmement compétitif pousse les développeurs et les sociétés qui développent ces technologies à investir massivement dans les

technologies immersives telles que la réalité augmentée. Etant donné que le travail en mer est par nature un coût transitoire, distribué, isolé et souvent international, la formation des marins peut avoir un impact économique élevé pour les compagnie maritime (Mallam et al., 2019).

En outre, la réalité augmentée offre de nouvelles possibilités et méthodes pour les opérations à bord et à terre. Par exemple : pendant les travaux planifiés ou non, les essais de scénarios, la communication et l'échange de connaissances entre l'équipage, les navires et les bureaux à terre. Grâce à ces technologies immersives, les membre d'équipages peuvent s'entraîner à des opérations et procédures complexes avant de les exécuter et ainsi mettre à jour leurs compétences et scénarios techniques à haut risque, d'urgence ou rarement utilisés.

Lors des opérations d'urgence ou de la planification et de l'exécution d'une évacuation à bord, la RA peut permettre de guider les utilisateurs à travers un environnement virtuel et fournir des instructions et des rappels de bonnes pratiques, en mettant en évidence les situations les plus difficiles. Les solutions de RA facilitent et améliorent l'accès des travailleurs à l'information, où les HMD permettent un transfert de données en mains libres, facilitant l'acquisition et la communication des connaissances.

Comme nous l'avons vu, l'introduction et l'intégration de la réalité augmentée pourrait être un outil complémentaire intéressant dans le secteur de l'éducation et de la formation des marins. De plus, ces technologies offrent de nouvelles possibilités de formation qui seraient différentes dans le cadre pédagogique des établissements de formation maritime. Ces nouvelles technologies doivent être considérées comme un complément potentiellement précieux au cursus éducatif et de formation, offrant de nouvelles méthodes pédagogiques qui peuvent contribuer à améliorer l'apprentissage, à accroître les possibilités de formation, à former les travailleurs et à réduire les coûts.



## **5. Les limites des systèmes de réalité augmentée dans un contexte maritime**

Nous avons vu précédemment, à travers plusieurs cas d'utilisations, les avantages que pouvaient apporter les technologies de réalité augmentée dans divers secteurs de l'industrie du transport maritime. Cependant, chaque innovation comporte son lot de défis et la réalité augmentée ne fait pas exception à la règle.

Dans un chantier naval ou en mer, les navires sont confrontés entre autres à la poussière, à l'humidité, aux températures extrêmes, aux étincelles et font d'eux des environnements particulièrement complexes. De plus, les navires sont très grands et équipés de divers équipements, ce qui génère une quantité importante de données. Toutes ces raisons font l'objet de contraintes quant à l'utilisation des solutions de réalité augmentée.

La quantité importante de données générées par les navires est difficile à rassembler en un modèle de CAO unique. Selon Von Lukas et al. (2014), un navire contient 10 fois plus de pièces qu'un avion et 100 fois plus de pièces qu'une voiture. L'absence d'un modèle CAO unique est une contrainte pour l'utilisation de la réalité augmentée à bord des navires. En effet, différents modèles CAO sont créés dès lors la phase de conception, qui est composée de plusieurs phases telles que l'étude de conception, l'étude d'industrialisation de la coque ainsi que l'étude d'industrialisation de l'emménagement. Ces modèles CAO sont produits séparément à l'aide d'outils spécifiques et afin de répondre à une tâche en particulier. De plus certains logiciels de CAO ne sont utilisés que dans l'industrie maritime, la compatibilité des modèles générés peut être un défi supplémentaire pour les applications de RA (Von Lukas, 2010). L'adoption du Building Information Modeling (BIM), pourrait être la solution pour pallier au manque de modèles 3D universel.

Cependant, même s'il existe un modèle 3D correct, un environnement 3D interactif nécessite également des spécifications supplémentaires telles que des textures, des informations concernant le type de matériaux ou le poids, ainsi que des procédures afin de guider l'utilisateur dans un scénario spécifique. Jusqu'à présent, il n'existe pas de solution efficace pour réaliser cette création de manière standardisée (Von Lukas, 2010).

Une autre contrainte peut-être liée à la connexion internet. En effet, lorsqu'un navire est en mer, la connexion au réseau internet peut être de mauvaise qualité voire indisponible. Cependant, les communications par satellite restent possibles mais sont beaucoup plus chère et procure une bande passante faible ainsi qu'une latence élevée, ce qui peut rendre une communication compliquée.

Un navire en mer n'est pas fixe, il est confronté au phénomène de roulis (oscillation latérale de bâbord à tribord), de tangage (oscillation d'avant en arrière, la proue se relève et s'abaisse) et de lacet (oscillation sur le plan horizontal), ce qui fait de lui un élément avec 6 degrés de libertés. Il faut donc, selon le cas d'utilisation, déterminer le mouvement du navire par rapport à la terre et le mouvement d'une personne (ou d'un appareil) par rapport au navire (Von Lukas et al., 2014).

## 6. Conclusion

Que ce soit à bord ou à terre, le travail dans le domaine maritime est de plus en plus basé sur la connaissance. L'industrie maritime requiert des opérateurs aux compétences de plus en plus spécialisées, notamment en raison de la sophistication des navires. L'objectif de ce mémoire était d'évaluer comment les technologies de réalité augmentée pouvaient assister les opérateurs depuis la phase de formation, jusqu'aux interventions quotidiennes dans les chantiers navals ainsi qu'à bord des navires. Parmi les cas de figures illustrés au cours de ce mémoire, nous avons pu remarquer que les solutions de réalité augmentée étaient multiples et pouvaient apporter une valeur ajoutée aux opérations à bord ainsi qu'à terre, en offrant de nouvelles possibilités et méthodes lors de travaux planifiés ou non, d'essais de scénarios, de communication et de transfert de connaissances entre les équipages, les navires et avec les bureaux et les services d'assistance situés à terre.

A l'heure où nous rédigeons ce mémoire, le monde entier vit une période sans précédent en raison de l'épidémie portée par le Covid-19. L'éclosion de la pandémie a sensiblement affecté notre vie et nos activités quotidiennes. Des restrictions internationales ont été prises afin de limiter les voyages, des règles de distanciation sociale ont été appliquées afin de limiter la propagation du virus, cependant le commerce maritime ne s'est pas arrêté. Des centaines de milliers de marins se sont retrouvés bloqués à bord des navires et dans l'incapacité de faire appel aux services des techniciens venant d'entreprises externes. Dans une telle situation, en cas d'avarie, le concept de télé-assistance collaborative en réalité augmentée s'avère utile pour permettre aux experts situés à terre, de guider à distance les opérateurs en mer, afin de trouver ensemble, une solution au problème, dans le but d'éviter les déplacements et ainsi réduire le temps d'arrêt des machines.



## Bibliographie

- Accenture. (2019, novembre 1). *Maritime in the new: Bringing the power and connectivity of « industry X.0 » to the naval shipbuilding industry*. Consulté le 5 janvier 2020, à l'adresse [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-110/Accenture-Maritime-in-the-New.pdf#zoom=50](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-110/Accenture-Maritime-in-the-New.pdf#zoom=50)
- Allianz Global Corporate & Specialty. (2019, mai). *Safety and shipping - Review 2019*. Consulté le 25 février 2020, à l'adresse <https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/AGCS-Safety-Shipping-Review-2019.pdf>
- Apple. (2020, mars 20). *Communiqué du 20 mars 2020 à propos des nouvelles fonctionnalités de l'iPad « Apple annonce un nouvel iPad Pro avec scanner LiDAR révolutionnaire et la prise en charge du trackpad dans iPadOS »*. Consulté le 5 mai 2020, à l'adresse <https://www.apple.com/befr/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/>
- Aromaa, S., Aaltonen, I. & Väättänen, A. (2016, avril). *Technology Concepts to Improve Knowledge Sharing During Maintenance*. Présenté à International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. Tampere, Finlande. Consulté le 3 février 2020, à l'adresse [https://www.researchgate.net/publication/307428694\\_Technology\\_Concepts\\_to\\_Improve\\_Knowledge\\_Sharing\\_During\\_Maintenance](https://www.researchgate.net/publication/307428694_Technology_Concepts_to_Improve_Knowledge_Sharing_During_Maintenance)
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001, décembre). *Recent advances in augmented reality*. Dans IEEE Computer Graphics and Applications. Vol. 21, No. 6, p. 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Bergounhox, J. (2016, juin 10). L'US Navy utilise la réalité augmentée pour construire ses porte-avions (et vous devriez... Consulté le 8 février 2020, à l'adresse <https://www.usine-digitale.fr/article/l-us-navy-utilise-la-realite-augmentee-pour-construire-ses-porte-avions-et-vous-devriez-faire-pareil.N396307>

- Bergounhoux, J. (2017, octobre 4). Naval Group teste la réalité augmentée sur ses chantiers navals. Consulté le 17 janvier 2020, à l'adresse <https://www.usine-digitale.fr/article/naval-group-teste-la-realite-augmentee-sur-ses-chantiers-navals.N596063>
- Bimber, O. et Raskar, R. (2005, août 8). *Spatial Augmented Reality*. (1<sup>ère</sup> éd.) New York: A K Peters/CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10624>
- Blanco-Novoa, O., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P. & Vilar-Montesinos, M. (2018, février 5). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access*. Vol. 6, p. 8201-8218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>
- BMW Apps: Virtual & Augmented Reality. (s.a). Consulté le 20 janvier 2020, à l'adresse <https://www.bmw.com.cy/en/topics/offers-and-services/bmw-apps/virtual-and-augmented-reality.html>
- Bottecchia, S. (2012, janvier 5). *Système T.A.C. : Télé-Assistance Collaborative. Réalité augmentée et NTIC au service des opérateurs et des experts dans le cadre d'une tâche de maintenance industrielle supervisée*. [Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III] Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00656918>
- Bureau International Maritime. (2019, janvier 10). L'engagement de BIM pour l'avenir. Consulté le 22 février 2020, à l'adresse <https://www.bimv.com/fr/>
- Caudell, T. P. et Mizell, D. W. (1992, février). *Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes*. Présenté à Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. Kauai, HI, USA. p. 659-669. Vol.2. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>
- Cave Automatic Virtual Environment. (2019). Dans *Wikipédia*. Consulté le 14 novembre 2019, à l'adresse [https://en.wikipedia.org/wiki/Cave\\_automatic\\_virtual\\_environment](https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment)

- Cieutat, J. M. (2013, mars 19). *Quelques applications de la réalité augmentée : Nouveaux modes de traitement de l'information et de la communication. Effets sur la perception, la cognition et l'action*. [Mémoire pour l'obtention du titre d' Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paul Sabatier, Toulouse III]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00802259/document>
- Diota. (2018, juillet 11). *Deploying Augmented Reality for Highly Complex Industrial Use Cases with DIOTA*. [Vidéo]. YouTube. Consulté le 12 décembre 2019, à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=mXdWGWt1YNk&feature=youtu.be>
- Discern Solution (2020, mai 11). La réalité augmentée pour la construction. Consulté le 20 mai 2020, à l'adresse <https://discern-solution.com>
- Dubois, E., Nigay, L. & Troccaz, J. (2000). *Combinons le monde virtuel et le monde réel : classification et principes de conception*. Présenté à Actes des Premières Rencontres Jeunes Chercheurs en Interaction Homme-Machine (RJC-IHM), Ile de Berder, France, 3-5 mai 2000, pp. 31-34. Consulté le 20 novembre 2019, à l'adresse [http://iihm.imag.fr/publs/2000/RJC-IHM\\_Dubois.pdf](http://iihm.imag.fr/publs/2000/RJC-IHM_Dubois.pdf)
- FactoryLab. (2018, novembre 5). Dans les coulisses du laboratoire d'innovation des géants industriels français. Consulté le 9 février 2020, à l'adresse <https://lemag.bureauveritas.fr/dans-les-coulisses-du-laboratoire-dinnovation-des-geants-industriels-francais/>
- Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ó. & Vilar-Montesinos, M. A. (2018, février 21). A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access*. vol. 6, p. 13358-13375. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2808326>
- Fuchs, P. et Moreau, G. (2003, octobre 28). *Le traité de la réalité virtuelle* (2<sup>ème</sup> éd). Vol.1. Sciences mathématiques et informatique. Presses de l'Ecole des Mines de Paris. ISBN : 2-911762-47-9
- Globe newswire. (2020, février 3). Consulté le 28 février 2020, à l'adresse <https://>

[www.globenewswire.com/news-release/2020/02/03/1978934/0/en/Global-Shipbuilding-Market-Analysis-By-Ship-Type-Application-Type-By-Region-By-Country-Market-Insight-Competition-and-Forecast.html](http://www.globenewswire.com/news-release/2020/02/03/1978934/0/en/Global-Shipbuilding-Market-Analysis-By-Ship-Type-Application-Type-By-Region-By-Country-Market-Insight-Competition-and-Forecast.html)

Groizeleau, V. (2018, novembre 26). Construction navale : L'essor de la conception assistée par ordinateur. Consulté le 15 mars 2020, à l'adresse <https://www.meretmarine.com/fr/content/construction-navale-lessor-de-la-conception-assistee-par-ordinateur>

Helle, S., Korhonen, S., Euranto, A., Kaustinen, M., Lahdenoja, O. & Lehtonen, T. (2014). *Benefits achieved by applying augmented reality technology in marine industry*. Présenté à Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (Compit'14). May 12-14, Redworth, UK. Consulté le 11 janvier 2020, à l'adresse [http://www.ssi.tu-harburg.de/doc/webseiten\\_dokumente/compit/dokumente/compit2014\\_redworth.pdf](http://www.ssi.tu-harburg.de/doc/webseiten_dokumente/compit/dokumente/compit2014_redworth.pdf)

Hololens for engineers. (s.a.). IT-RSC. Consulté le 28 février 2020, à l'adresse <http://donar.messe.de/exhibitor/hannovermesse/2017/W486046/digitalization-with-the-hololens-eng-493589.pdf>

Ian Wright. (2017, mars 28) Airbus Uses Smart Glasses to Improve Manufacturing Efficiency. Consulté le 25 mars 2020, à l'adresse <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14634/Airbus-Uses-Smart-Glasses-to-Improve-Manufacturing-Efficiency.aspx>

International Chamber of Shipping. (s.a.). Global Supply and Demand for Seafarers. Consulté le 22 Février 2020, à l'adresse <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/shipping-and-world-trade/global-supply-and-demand-for-seafarers>

International Chamber of Shipping. (2019, juin). Seafarers and digital disruption. Consulté le 22 février 2020, à l'adresse [https://www.ics-shipping.org/docs/default-source/key-issues-2019/seafarers-and-digital-disruption-\(june-2019\).pdf](https://www.ics-shipping.org/docs/default-source/key-issues-2019/seafarers-and-digital-disruption-(june-2019).pdf)

Ketfi, C. (2019, janvier 17). Hololens 2 : Microsoft revient au MWC pour une annonce spéciale. Consulté le 6 mai 2020, à l'adresse <https://www.frandroid.com/marques/microsoft/>

- Kim, H., Lee, S. S., Park, J. H. & Lee, J. G. (2005, septembre 6). *A model for a simulation-based shipbuilding system in a shipyard manufacturing process*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol 18, No. 6, p. 427-441. <https://doi.org/10.1080/09511920500064789>
- Kinthaert, L. (2017, avril 3). From Seaman to SPACEman: A Look at Virtual Reality & Augmented Reality for Seafarers. Consulté le 3 décembre 2018, à l'adresse <https://informaconnect.com/virtual-reality-augmented-reality-for-seafarers/>
- Kraaijenbrink, J. (2019, janvier 4). Is The World Really More VUCA Than Ever?. Consulté le 13 avril 2020, à l'adresse <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2019/01/04/is-the-world-really-more-vuca-than-ever/#79c1f9ac1a64>
- Labbe, P. (2017, février 18). La CAVE : Une technologie immersive devenue inutile. Consulté le 25 novembre 2019, à l'adresse <https://www.realite-virtuelle.com/cave-realite-virtuelle-vr/>
- Larousse. (s.a.). Réalité. Dans *Le Dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 15 novembre 2019, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/realité/66836>
- Larousse. (s.a.). Augmenter. Dans *Le Dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 15 novembre 2019, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/augmenter/6439>
- L'association française de la réalité augmentée. (s.a.). Qu'est-ce que la réalité augmentée ?. Consulté le 25 novembre 2019, à l'adresse <https://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/>
- Light Guide Systems. (2015 octobre 15). *Light guide system*. [Vidéo]. YouTube. Consulté le 20 février 2020, à l'adresse <https://youtu.be/L56RDdJc9OU>
- L'observatoire de la métallurgie. (2016, février 2). *Construction navale & énergies marines renouvelables : Besoins futurs et préconisations*. Consulté le 18 mars 2020, à l'adresse

[https://www.observatoire-metallurgie.fr/sites/default/files/documents/2018-02/rapport\\_etude\\_navale\\_0.pdf](https://www.observatoire-metallurgie.fr/sites/default/files/documents/2018-02/rapport_etude_navale_0.pdf)

Software Development Kit. (2019, septembre 9). Consulté le 5 février 2020, à l'adresse <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/software-development-kit/>

Stellman, J. M. (2000). *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*. Bureau international du Travail. Genève. Volume 3. p. 92.10. ISBN 92-2-209816-1

Mainelli, T. (2018, mai). *Comment la réalité augmentée apporte-t-elle de vrais gains dans le domaine des services de maintenance, de la formation, des ventes et du marketing, et de la fabrication ?*. Consulté le 05 janvier 2020, à l'adresse [https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/IoT/IDC-AR-Use-Cases-Report\\_FR.pdf](https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/IoT/IDC-AR-Use-Cases-Report_FR.pdf)

Mallam, S. C., Nazir, S. & Renganayagalu, S. K. (2019, novembre 26). *Rethinking Maritime Education, Training, and Operations in the Digital Era: Applications for Emerging Immersive Technologies*. Journal of Maritime Science and Engineering. Consulté le 25 janvier 2020, à l'adresse <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/12/428>

Mallem, M. et Roussel, D. (2014, février 10). *Réalité augmentée - Principes, technologies et applications*. Technologies de l'Information, Le traitement du signal et ses applications, Techniques de l'Ingénieur. Consulté le 21 février 2020, à l'adresse <http://fr.zone-secure.net/18167/904068/#page=1>

Man Energy Solutions. (2019, décembre 10). *MAN CEON TechGuide Introduces First Augmented-Reality Maintenance Platform*. Consulté le 23 janvier 2020, à l'adresse [https://www.man-es.com/docs/default-source/press-releases-new/20191210\\_man\\_es\\_pr-man-ceon-techguide-\\_en.pdf?sfvrsn=88a413eb\\_2](https://www.man-es.com/docs/default-source/press-releases-new/20191210_man_es_pr-man-ceon-techguide-_en.pdf?sfvrsn=88a413eb_2)

Microsoft Experiences. (2020, mars 16). *Qu'est-ce que le BIM (Building Information Modeling) et comment le mettre en place ?*. Consulté le 25 mars 2020, à l'adresse [l'adresse https://experiences.microsoft.fr/business/intelligent-business-solutions/building-information-modeling/](https://experiences.microsoft.fr/business/intelligent-business-solutions/building-information-modeling/)

- Milgram, P. et Kishino, F. (1994, December 12). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 77, 1321-1329. Consulté le 10 janvier 2020, à l'adresse <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Taxonomy-of-Mixed-Reality-Visual-Displays-Milgram-Kishino/f78a31be8874eda176a5244c645289be9f1d4317>
- Mixed Reality. (2020, avril 21). Dans *Wikipédia*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mixed\\_reality#cite\\_note-17](https://en.wikipedia.org/wiki/Mixed_reality#cite_note-17)
- Mizell, D. (2001). *Boeing's Wire Bundle Assembly Project*. Dans Barfield and Caudell, éd., *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, Lawrence Erlbaum & Associates, New Jersey, p. 447-467.
- Moragues, M. (2018, mai 3). Quand l'usine passe à la réalité augmentée. Consulté le 15 décembre 2019, à l'adresse <https://www.usinenouvelle.com/editorial/quand-l-usine-passe-a-la-realite-augmentee.N681634>
- Musters, B.T. (2017, avril). *Augmented Reality for Efficient Management of Gas Infrastructure*. [Mémoire de Master, Computing Science, Université de Groningen Paul Sabatier, Toulouse III]. Consulté le 6 mai 2019, à l'adresse [http://fse.studenttheses.ub.rug.nl/15102/1/thesis\\_btusters.pdf](http://fse.studenttheses.ub.rug.nl/15102/1/thesis_btusters.pdf)
- Porter, M. E. et Heppelmann, J. E. (2017, novembre) Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy. *Harvard Business Review* 95, no. 6. pp. 46–57. Consulté le 10 février 2020, à l'adresse <https://hbr.org/2017/11/a-managers-guide-to-augmented-reality>
- Rancurel, B. (2019, mai 31). [INFOGRAPHIE] BIM, jumeau numérique et Asset Management industriel (3/5). Consulté le 20 mars 2020, à l'adresse [l'adresse https://www.energystream-wavestone.com/2019/05/infographie-bim-jumeau-numerique-et-asset-management-industriel-2-5/](https://www.energystream-wavestone.com/2019/05/infographie-bim-jumeau-numerique-et-asset-management-industriel-2-5/)
- Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Pakkanen, J., Vanhatalo, M. & Riitahuhta, A. (2008, août). *Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study*. Consulté le 21

janvier 2020, à l'adresse <https://pdfs.semanticscholar.org/12d2/b08eabcaad8585a76594a58079111e7e9069.pdf>

Schmoll, P. (2005). *L'interrogation du réel par le virtuel*. Revue des Sciences sociales. Presses Universitaires de Strasbourg, "Le rapport à l'image", p. 132-145. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01300518/document>

Şener, S. (2017). *Determining shipboard integration requirements of maintenance 4.0 concept in marine engineering*. Présenté à Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. Mai 12-14, Istanbul, Turquie. Consulté le 28 avril 2019, à l'adresse <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.568>

Shubber, Y. (1998). *Les réalités virtuelles et la présence : de la conceptualisation à l'opérationnalisation*. Dans Recherches en communication n° 10, Image(s) et cognition, Université Catholique de Louvain, Département de communication.

Trente Glorieuses. (2020, janvier 5). *Wikipédia*. Consulté le 05 janvier 2020, à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/wiki/Trente\\_Glorieuses](https://fr.wikipedia.org/wiki/Trente_Glorieuses)

Tsyktor, V. (2019, mars 27). What is non-immersive virtual reality? - Definition & Examples. Consulté le 14 novembre 2019, à l'adresse <https://cyberpulse.info/what-is-non-immersive-virtual-reality-definition-examples/>

Virsabi. (s.a.). MAN Energy Solutions "Valve Adjustment" Prototype. Consulté le 20 février 2020, à l'adresse <https://virsabi.com/man-energy-solutions/>

Von Lukas, U. F. (2010). *Virtual and augmented reality for the maritime sector – Applications and requirements*. Présenté à 8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Rostock-Warnemünde, Allemagne. [https://doi.org/10.3182/20100915-3-DE-3008.00045\(1-s2.0-S1474667016334619-main.pdf\)](https://doi.org/10.3182/20100915-3-DE-3008.00045(1-s2.0-S1474667016334619-main.pdf))

Von Lukas, U. F., Vahl, M. & Mesing, B. (2014). *Maritime Applications of Augmented Reality – Experiences and Challenges*. Présenté à Virtual, Augmented and Mixed Reality.

Présenté à Applications of Virtual and Augmented Reality - 6th International Conference, VAMR 2014, Held as Part of HCI International 2014. Crète, Grèce. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_43)

Wärtsilä. (2020). *Remote guidance*. Consulté à l'adresse <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/aut-nav-dp/remote-guidance.pdf>

Wiki des smartphones et tablettes. (s.a.). Consulté le 15 mars 2020, à l'adresse <https://sites.google.com/site/wikismartphone/techno/acclromtresgyroscopesmagntomtresgps>



## Liste d'annexes

- A. Enquête concernant l'utilisation de la réalité augmentée dans un contexte maritime. 59**



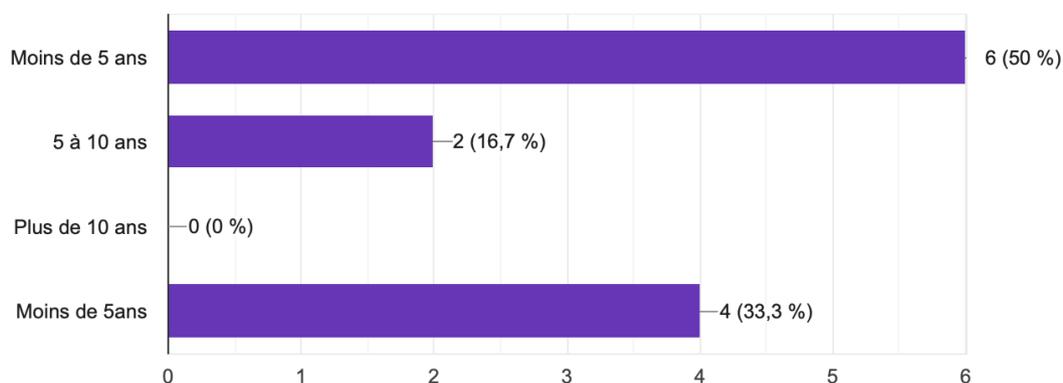
## Annexe A

### A. Enquête concernant l'utilisation de la réalité augmentée dans un contexte maritime.

Nous avons mené une enquête concernant l'utilisation potentielle de la réalité augmentée auprès de 12 officiers mécanicien de la marine marchande.

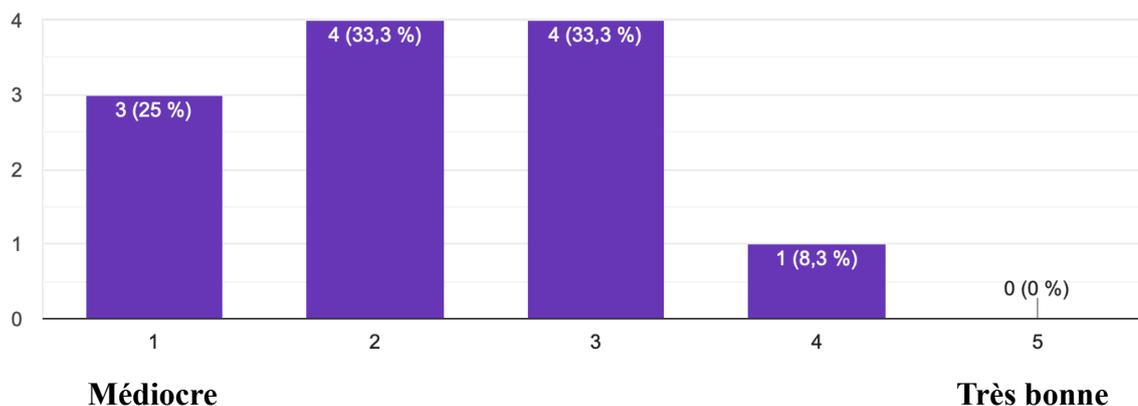
Depuis quand travaillez-vous à bord d'un navire:

12 réponses



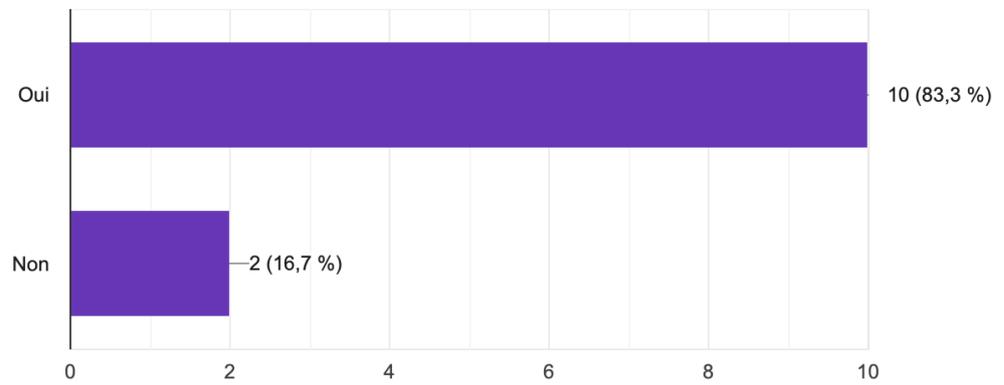
Quelle est la qualité de votre réseau internet à bord ?

12 réponses



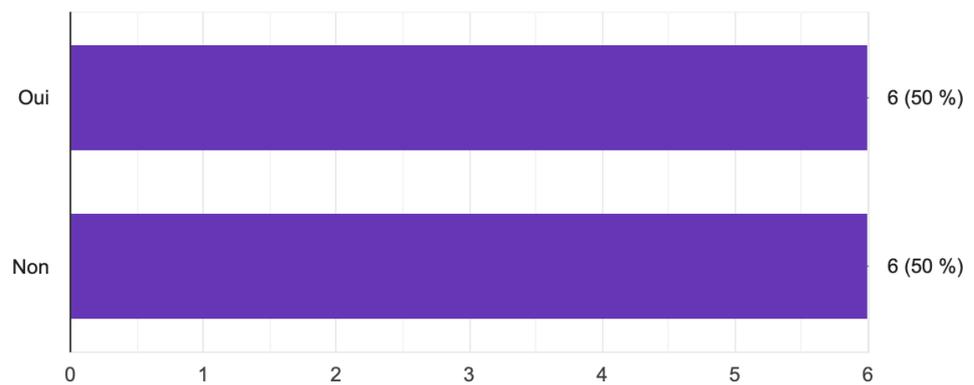
Avez-vous déjà entendu parler de la réalité augmentée ?

12 réponses



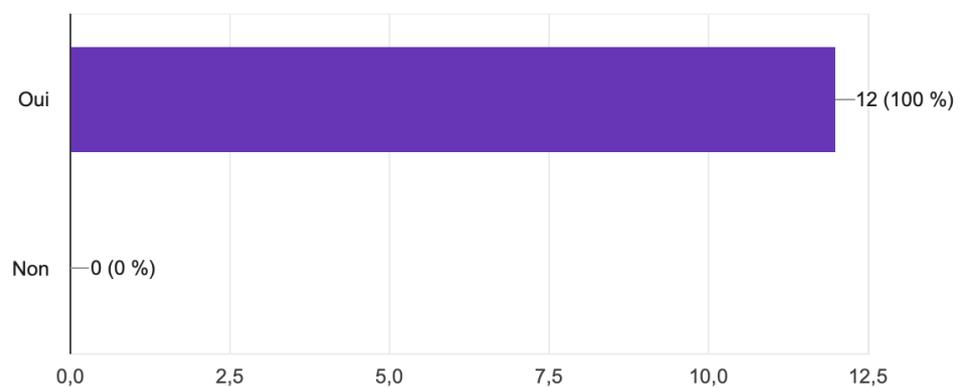
Avez-vous déjà eu l'occasion de participer à une expérience en réalité augmentée ?

12 réponses



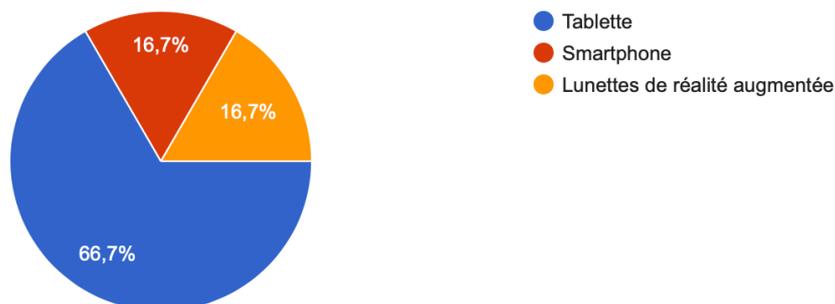
Seriez-vous prêt à travailler avec cette technologie à bord des navires ?

12 réponses



### Si oui, avec quel type de périphérique ?

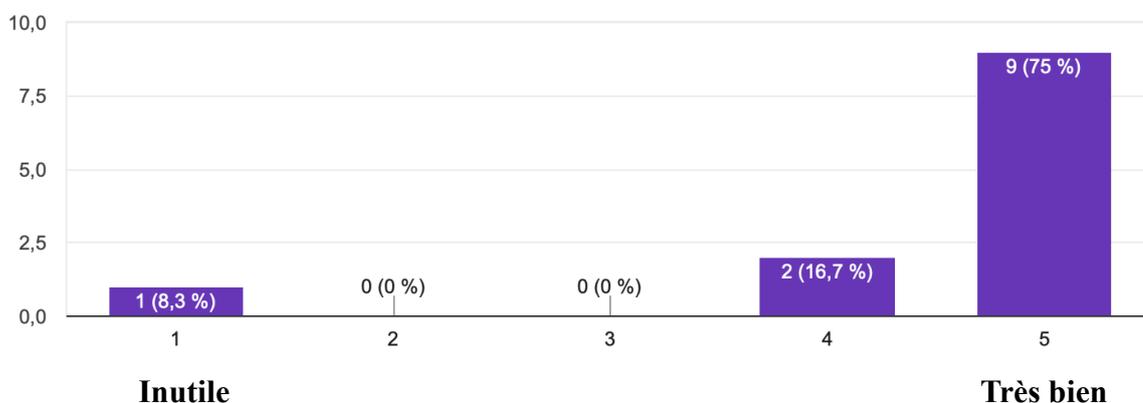
12 réponses



Voici une liste des cas d'usages possible, évaluez les sur une échelle de 1 à 5

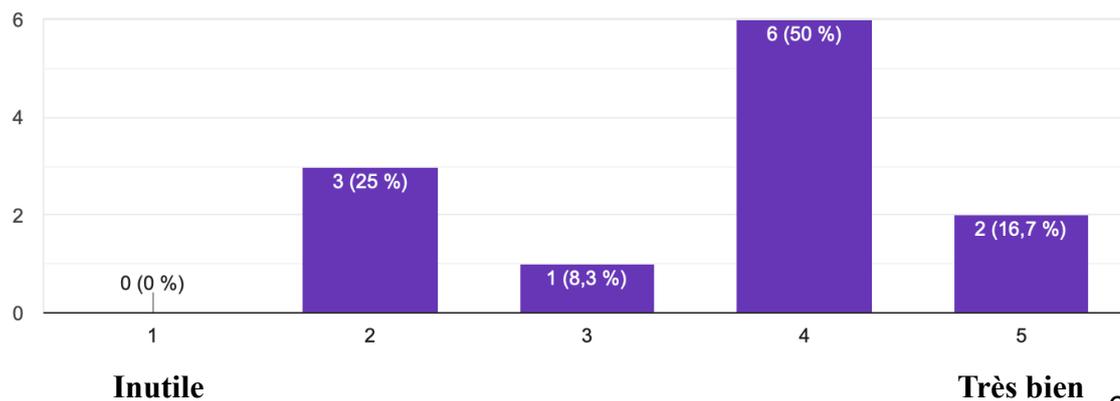
Instructions de maintenance étape par étape pour des procédures de maintenance complexes ou d'assemblage

12 réponses



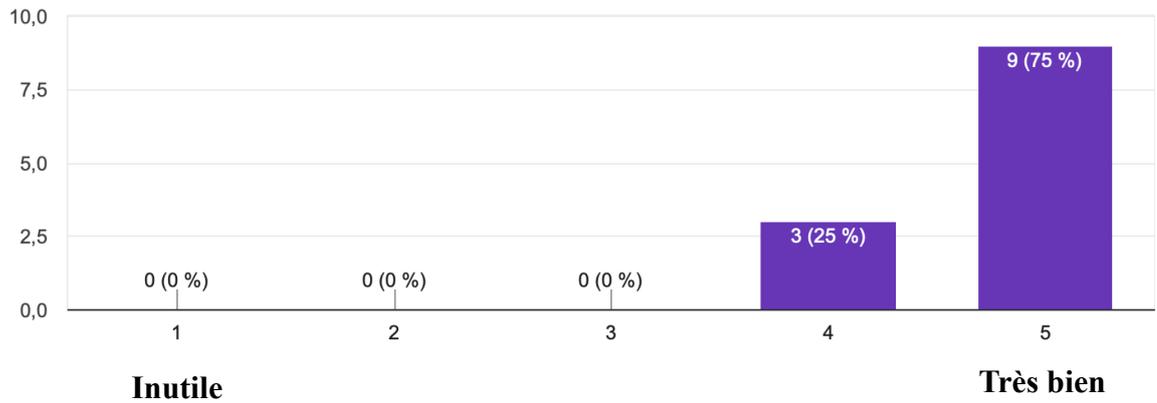
Vidéoconférence avec un expert pour la réalisation de tâches complexes.

12 réponses



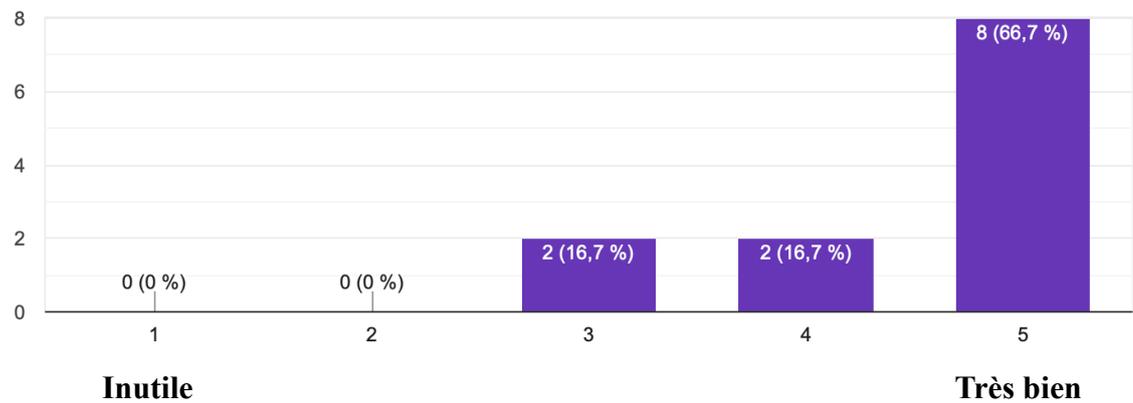
### Visualiser des éléments cachés.

12 réponses



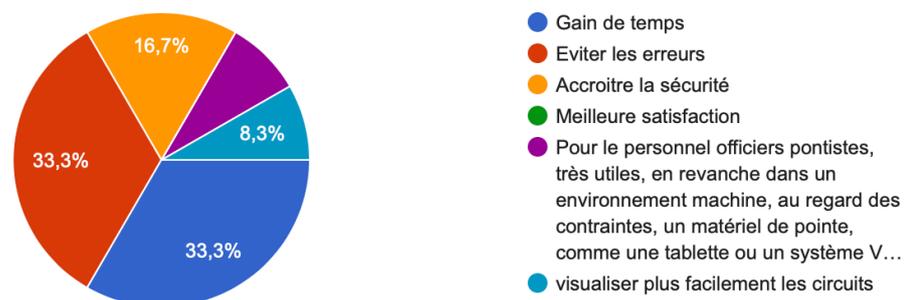
### Avoir à disposition de la documentatio tels que des manuels utilisateurs, des photos, ou des notes, directement sur l'écran du périphérique en visant un équipement avec la camera.

12 réponses



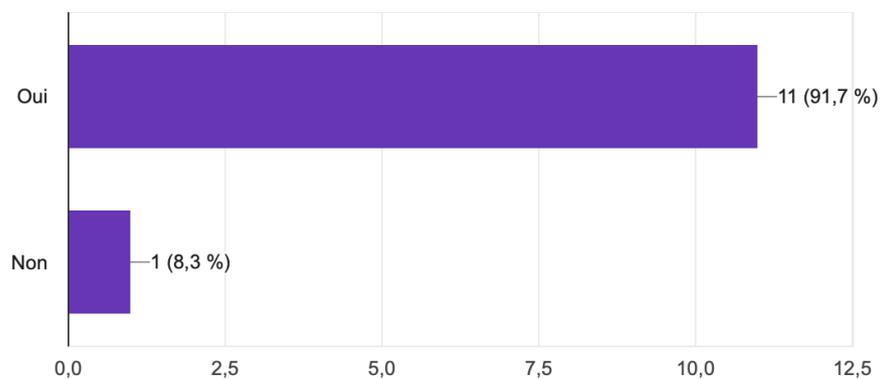
### Quelle est selon vous, l'intérêt d'un système de réalité augmentée ?

12 réponses



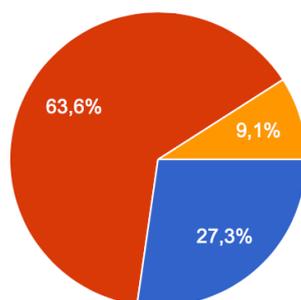
### Auriez-vous aimé utiliser cette technologie ?

12 réponses



### Si oui, dans quelle situation ?

11 réponses



- Outil complémentaire lors des simulateurs.
- Manuel augmentée (par exemple: visionner une photo dans un manuel et voir une représentation en 3D d'un équipement, pouvoir interagir avec celui-ci)
- Lors des laboratoires de travaux pratique (par exemple recevoir un diagnostic lors de l'apprentissage à la soudure)