



**HAL**  
open science

# Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives : Effet sur la vigilance, la charge mentale, la conscience de la situation et les performances

Hugo Nguma

## ► To cite this version:

Hugo Nguma. Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives : Effet sur la vigilance, la charge mentale, la conscience de la situation et les performances. Psychologie. Université Côte d'Azur, 2020. Français. NNT: . tel-02933514v2

**HAL Id: tel-02933514**

**<https://theses.hal.science/tel-02933514v2>**

Submitted on 1 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives :

Effet sur la vigilance, la charge mentale, la conscience  
de la situation et les performances

**Hugo NGUMA**

LABORATOIRE D'ANTHROPOLOGIE ET DE PSYCHOLOGIE  
CLINIQUES, COGNITIVES ET SOCIALES - LAPCOS

**Présentée en vue de l'obtention  
du grade de docteur en psychologie**  
d'Université Côte d'Azur  
**Dirigée par :** Édith Galy  
**Co-encadrée par :** Chantal MAÏS  
**Soutenue le :** 11/05/2020

**Devant le jury, composé de :**  
Jerôme Dinet, PU, Université de Lorraine  
Cécile van de Leemput, PU, Université  
Libre de Bruxelles  
Julie Albentosa, DR, IRBA  
Pierre Théroutane, MCF, Université Côte



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

d'Azur  
Chantal Mais, DR, NAVAL GROUP



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774



NAVAL GROUP  
**RESEARCH**



---

# Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives :

Effet sur la vigilance, la charge mentale, la conscience  
de la situation et les performances.

*Manuscrit de thèse au titre de l'accord de collaboration  
NAVAL GROUP /LAPCOS n° #6458774*

Par Hugo NGUMA

(Sous la direction de Edith Galy, Directrice de thèse)

---





Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

© Naval Group SA (2020) tous droits réservés. Ce document/logiciel dans son contenu et dans sa forme est la propriété de Naval Group SA. Toute utilisation, reproduction, modification, traduction, communication ou représentation intégrale ou partielle du présent document/logiciel qui n'a pas été préalablement autorisée par écrit par Naval Group SA est formellement interdite. Une telle utilisation, reproduction, modification, traduction, communication ou représentation intégrale ou partielle non autorisée, par quelque moyen que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par la loi aux plans pénal et civil et, d'une manière générale, une atteinte aux droits de Naval Group SA.

# Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives :

Effet sur la vigilance, la charge mentale, la conscience  
de la situation et les performances.

Jury :

Rapporteurs

Jérôme Dinet, Professeur des Universités, Université de  
Lorraine

Cécile van de Leemput, Professeur des Universités,  
Université libre de Bruxelles

Examineurs

Julie Albentosa, Docteur, IRBA

Pierre Thérouanne, Maître de conférences, Université  
Côte d'Azur

Invités

Chantal Maïs, Docteur, NAVAL GROUP

## Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives

### Résumé

Le domaine des Interactions Homme Machine (IHM) s'intéresse dès ses débuts aux différences interindividuelles et à leurs effets sur la performance. Pour répondre aux difficultés posées par ces variabilités pour la conception, 3 grands types d'IHM sont catégorisés :

Les IHM adaptées, les IHM adaptables et les IHM adaptatives prenant en compte des particularités propres à l'utilisateur courant.

L'implémentation de cette dernière catégorie nécessite le concours de plusieurs disciplines pour déterminer les facteurs à prendre en considération par rapport à la tâche et à l'activité en cours et proposer des modèles utilisateurs de l'état de l'opérateur afin de modifier l'IHM. Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés aux variabilités inter et intra-individuelles grâce à l'étude des effets de synchronie (moment de la journée optimal ou non en fonction du chronotype de l'individu considéré (matinal/intermédiaire/vespéral)) et du niveau de vigilance sur les performances. Les effets de synchronie ont été étudiés dans des domaines comme le marketing, mais sont peu étudiés en IHM. Une expérimentation a été réalisée auprès de 62 participants et a permis d'étudier les effets du moment de la journée, du chronotype et de la difficulté de la tâche sur les performances à une tâche de simulation de navigation. Les résultats obtenus montrent des effets significatifs de ces facteurs sur la performance et l'état fonctionnel de l'opérateur avec des sensibilités différentes en fonction de l'indicateur considéré. Cela permet d'envisager des possibilités de recommandations pour la prise en considération de ces facteurs lors de la conception d'IHM adaptatives.

**Mots clé :** Effet de synchronie, Vigilance, IHM adaptative, Charge mentale, Conscience de la situation, Performances.

## Étude de l'effet de synchronie pour la conception d'IHM adaptatives

### Abstract

The field of Human-Machine Interaction (HMI) has been interested in interindividual differences and its effect on performance since the beginning. To address the challenges posed by these variabilities in the design process, 3 types of HMI have been categorized:

User-adapted HMIs, adaptable HMIs, and adaptive HMIs taking into account the current user's characteristics. The implementation of this last category needs the support of several disciplines in order to determine the factors to take into consideration in relation to the current task and activity and products user models of the operator's state so as to adjust the HMI accordingly. In this thesis, we were interested in interindividual and intraindividual variabilities via the study of synchrony effects (optimal or suboptimal time of day according to the considered individual's chronotype (morning type/intermediary type/evening type)) and the level of alertness on performances. The synchrony effects have been studied in other fields such as marketing but are very understudied in the HMI field. An experiment has been conducted with 62 participants in order to study the effect of time-of-day, chronotype and task difficulty on performances during a navigational simulation task. The results show significative effect of these factors on performance and operator's functional state with different sensibilities depending on the indicator used, which allows possible recommendations on the consideration of those factors in adaptive HMI design.

**Key words:** Synchrony effects, Alertness, adaptative HMI, Workload, Situation Awareness, Performances.

## Remerciements

Le travail de thèse m'a parfois été présenté comme une aventure solitaire, et même si dans ses moments les plus difficiles elle a semblé un face-à-face permanent à moi-même, sans filtre, face à mes forces et mes faiblesses. La réalité fait écho au monomythe de Joseph Campbell, qui nous rappelle qu'il n'y a pas de héros, au sens de personnage principal, sans mentors. Ces personnes sans qui rien n'aurait été possible. Il s'agit donc en réalité d'un travail collectif et il est rarement donné l'occasion de poser dans le marbre sa reconnaissance pour l'impact que les autres ont eu sur soi.

Il est des personnes que l'on rencontre en période de doute et qui par quelques actions et quelques échanges changent notre monde, du tout au tout. Je ne te remercierai jamais assez, Chantal, pour ta confiance, ton écoute, tes conseils, ta patience, ta bonne humeur et ton accompagnement du stage à la réalisation de ce travail. Ces 4 dernières années, ont été très enrichissantes autant au niveau personnel que professionnel, et je sais que cela n'aurait été possible sans ta confiance.

Merci beaucoup, Édith. Pour m'avoir guidé et empêché de naviguer à vue. Pour ta confiance également, pour ton accompagnement, pour ta direction de la thèse. Pour ton ouverture d'esprit qui a été déterminante dans le choix de ce sujet passionnant. Je n'ai cessé d'apprendre et je sais que j'ai encore beaucoup à apprendre de toi.

Merci à mes parents, Anastasie et Jean-Pierre NGUMA, d'avoir toujours été un moteur et un soutien. Pour n'avoir jamais étouffé ma curiosité, mais au contraire l'avoir fait fleurir en le nourrissant autant que possible. Pour avoir accompagné et fait confiance aux décisions de cet éternel étudiant. Rien de tout ça n'aurait été possible sans vous deux. Nayebi ke ezalaka facil te kolanda nzela na ngai mais ke botiaka mitema et que bozalaka na ntembe te.

Merci à cet oncle qui n'a pas eu peur d'offrir à cet enfant de 8 ans, une biographie d'Abraham Lincoln et pour avoir modelé et nourri ma curiosité dès mon plus jeune âge.

Merci à mes frères et sœurs, merci à Kevin d'avoir accepté ces coups de fil hebdomadaire qui duraient parfois plus de 3 heures.

Merci à toute l'équipe du CEMIS, pour votre accueil, pour m'avoir si facilement inclus comme membre à part entière. Pour tant de bons moments. Merci à Rozenn, pour les conseils, pour avoir si souvent débloqué des situations qui semblaient sans issues, pour avoir parfois joué le rôle d'une seconde encadrante pour moi. Merci à Frédérique pour tous ces moments d'échanges qui m'ont touché au plus profond, pour tous ces conseils, pour m'avoir encouragé à me diversifier, m'avoir fait découvrir la peinture.

Merci à Jason, pour avoir toujours été là pendant plus de 16 ans d'amitié, pour avoir supporté mes plaintes et avoir toujours su me dire les choses en toute honnêteté. Merci à Kelly d'avoir toujours eu le bon mot lorsque le doute ou l'anxiété me gagne. Te agradezco para esas lindas palabras cuales, cada vez, eran suficiente para devolver la confianza y la motivación.

Merci au laboratoire LAPCOS, notamment à Pierre et Andrea pour avoir accepté de former mon comité de thèse, pour les conseils et le suivi prodigués.



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Il serait impossible de nommer et remercier toutes les personnes qui de près ou de loin ont participé à rendre ce travail possible. Pour ceux dont les noms n'apparaîtraient pas ici, je ne vous oublie pas et je vous remercie également.



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

## Table des matières

<b>CADRE THÉORIQUE</b> .....	28
1.1. Les IHM adaptatives .....	30
1.1.1 Les différences individuelles dans l’interaction Homme-Machine .....	30
1.1.2 L’apport des IHM adaptatives .....	32
1.1.3 Les types d’IHM adaptatives .....	34
1.1.3.1 L’affective computing .....	34
1.1.3.2 Les « Context-Aware Systems » .....	35
1.1.3.3 Les interfaces plastiques .....	36
1.1.4 L’architecture d’une IHM adaptative .....	37
1.1.4.1 Adaptation et niveau d’abstraction .....	38
1.1.4.2 Les types d’adaptation.....	39
1.1.5 La conception des IHMs adaptatives.....	44
1.2. L’effet de synchronie et la vigilance.....	47
1.2.1 Définitions de la vigilance.....	47
1.2.1.1 La vigilance comme composante de l’attention.....	48
1.2.1.2 Approches physiologiques de la vigilance.....	49
1.2.1.3 Approche neurophysiologique .....	51
1.2.1.4 Le domaine d’étude des affects.....	52
1.2.2. Effets du niveau de vigilance sur la performance .....	55
1.2.2.1 Le rythme circadien et le niveau de vigilance .....	55
1.2.2.2 Modélisation du rythme circadien.....	58
1.2.2.3 Niveau de vigilance et caractéristiques de la tâche .....	61
1.2.3. Différences individuelles et vigilance .....	64
1.2.4. Effet de synchronie.....	66
1.2.4.1 Effet de synchronie et performance .....	66
1.3. La Performance en IHM.....	68
1.3.1. Charge mentale .....	68
1.3.1.2 Cas particulier de la sous-charge.....	70
1.3.2. Conscience de la situation.....	72
1.3.2.1 Traitement de l’information et action .....	72
1.3.2.2 Les modèles de la conscience de la situation .....	75



1.3.3	Charge mentale et conscience de la situation .....	83
1.3.4	Charge mentale et vigilance .....	88
1.3.5	Conscience de la situation et vigilance.....	90
<b>PROBLÉMATIQUE</b>	.....	<b>91</b>
2.1	Effet de synchronie dans le domaine des IHM.....	93
2.1.1	Intégration des effets de synchronie pour une IHM adaptative .....	93
2.1.2	Hypothèses générales .....	102
<b>MÉTHODOLOGIE</b>	.....	<b>104</b>
3.1	La conception du support d'expérimentation.....	106
3.1.1	Caractéristiques du support d'expérimentation .....	106
3.1.2	Variations de la charge mentale.....	106
3.1.2.1	Complexité de la tâche et niveaux de difficulté .....	106
3.1.3	Prise en compte de la conscience de la situation dans la conception .....	107
3.1.4	Choix du langage et de l'environnement de développement.....	111
3.1.4.1	AXURE .....	112
3.1.4.2	TORQUE 3D.....	113
3.1.4.3	UNITY .....	114
3.1.4.4	VISUAL STUDIO .....	115
3.1.5	Application des caractéristiques dans le support. ....	116
3.1.5.1	Complexité de la tâche .....	116
3.1.5.2	Information pour la conscience de la situation .....	125
3.1.5.3	Éléments complémentaires .....	130
3.2	Les outils de mesures .....	141
3.2.1	L'Eye-tracker.....	141
3.2.2	L'Échelle de Thayer [The Activation-Deactivation Adjective Check List] .....	142
3.2.3	Le questionnaire SAGAT et son évolution.....	142
3.2.4	Le questionnaire de Horne et Ostberg.....	143
3.2.5	Noldus uLog.....	144
3.2.6	OBS Studio.....	145
<b>PROCÉDURE</b>	.....	<b>146</b>
4.1	Disposition du laboratoire.....	148
4.2	Description des tâches .....	148
4.3	Population .....	149
4.4	Exploitation des données .....	150

4.4.1	Récupération des données .....	151
4.4.1.1	Les données issues de l'Eye-tracker .....	151
4.4.1.2	Les données de Noldus uLog .....	152
4.4.1.3	Les données de l'Échelle de Thayer .....	152
4.4.1.4	Le questionnaire de Horne et Östberg .....	153
4.4.1.5	Les données de OBS Studio .....	153
4.5	Traitement des données et analyses statistiques .....	155
<b>RÉSULTATS</b> .....		158
5.1	Le modèle opérationnel .....	159
5.1.1	Signification des variables du modèle opérationnel .....	161
5.2	Résultats préliminaires .....	163
5.2.1	Répartition des scores de typologie circadienne des répondants .....	163
5.2.2	Répartition de la population des participants .....	166
5.2.3	Données eye-tracker .....	167
5.3	Étude des effets de synchronie .....	168
5.3.1	Effet de synchronie et score de conscience de la situation .....	168
5.4	Effet de synchronie et détail de la conscience de la situation .....	169
5.4.1	Priorité entre évitement et destruction .....	169
5.4.2	Ouverture de la fenêtre d'information .....	170
5.4.3	Prise en compte de la trajectoire .....	171
5.4.4	Choix entre collision et distance en tâche difficile .....	171
5.4.5	Restitution du comportement des navires environnants .....	172
5.4.6	Réponse à la question du nombre de missiles restants .....	173
5.4.7	Indice de conformité entre les verbatims et le comportement réel .....	174
5.5	Effet de synchronie et diamètre pupillaire .....	175
5.6	Effet de synchronie et indicateurs de performance .....	176
5.6.1	Temps de réaction .....	176
5.6.2	Nombre de collisions .....	177
5.6.3	Nombre de navires sélectionnés après 150 m .....	179
5.6.4	Nombre de destructions avant 150 mètres .....	182
5.7	Test des effets internes du modèle opérationnel .....	185
5.7.1	Moment de la journée, typologie circadienne et niveau de difficulté sur le niveau de vigilance après la tâche .....	185

5.7.2	Moment de la journée, typologie circadienne, niveau de difficulté et évolution du niveau de vigilance.....	189
5.7.3	Niveau de difficulté, niveau de vigilance et diamètre pupillaire.....	192
5.7.4	Diamètre pupillaire et Conscience de la situation .....	194
5.7.4.1	Diamètre pupillaire et Conscience de la situation détaillée .....	194
5.8	La performance .....	198
5.8.1	Le temps de réaction.....	198
5.8.1.1	Effet du score SA global, du diamètre pupillaire et de la vigilance .....	198
5.8.1.2	Les médiations .....	202
5.8.2	Nombre de collisions.....	203
5.8.2.1	Effet du score SA global, du diamètre pupillaire et de la vigilance .....	203
5.8.2.2	Effet des différentes composantes de la SA, de la vigilance et du diamètre pupillaire.....	205
5.8.2.3	Les médiations .....	210
5.8.3	Nombre de navires sélectionnés après 150 m.....	214
5.8.3.1	Effet du score global de SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance .....	214
5.8.3.2	Effet des composantes de la SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance.....	217
5.8.3.3	Les médiations .....	219
5.8.4	Nombre de destructions avant 150 m.....	221
5.8.4.1	Effet du score global de SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance .....	221
5.8.4.2	Effet des composantes de la SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance.....	222
5.8.5	Relation entre les indicateurs de performance.....	229
	<b>DISCUSSION</b> .....	231
6.1	Vérification des hypothèses.....	232
6.1.1	Les effets internes du modèle théorique .....	232
6.1.1.1	Effet de synchronie sur le niveau de vigilance .....	232
6.1.1.2	Niveau de difficulté et niveau différentiel de vigilance entre le début et la fin de la tâche ..	233
6.1.1.3	La pertinence du diamètre pupillaire comme indicateur de charge mentale.....	234
6.1.1.4	Niveau de vigilance avant la tâche et diamètre pupillaire .....	234
6.1.1.5	Conscience de la situation et charge mentale comme prédicteurs de l'efficacité.....	235
6.1.2	Les effets directs du modèle théorique.....	236
6.1.2.1	Effets de synchronie et indicateurs de performance .....	236
6.1.2.2	Effets de synchronie et conscience de la situation.....	237
6.1.2.3	Modèles prédictifs de la performance .....	239
6.2	Interprétation des résultats .....	250
6.2.1	Les rôles du niveau de vigilance.....	250

6.2.2	Les effets de la charge mentale.....	250
6.2.3	Les effets de la conscience de la situation .....	251
6.2.4	Les effets de la typologie circadienne .....	251
6.3	Recommandations pour la conception des IHMs adaptatives.....	253
6.4	Limites de l'étude.....	255
6.5	Perspectives.....	256
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	257
	<b>ANNEXES</b> .....	277
	<b>Annexe 1.</b> Résultats des médiations sur le Temps de réaction.....	279
	<b>Annexe 2.</b> Résultats des médiations sur le Nombre de collision.....	281
	Version score SA.....	281
	Version SA détaillée.....	283
	<b>Annexe 3.</b> Résultats des médiations sur le Niveau de vigilance.....	284
	<b>Annexe 4.</b> Résultats des médiations sur le Nombre de destructions avant 150 m.....	285
	<b>Annexe 5.</b> Mail de recrutement des participants.....	288
	<b>Annexe 6.</b> Affiche pour le recrutement de participants.....	289
	<b>Annexe 7.</b> Exemple de premier contact avec les potentiels participants .....	291
	<b>Annexe 8.</b> Questionnaire de Horne et Östberg .....	292
	<b>Annexe 9.</b> Echelle de Thayer.....	307

## Liste des figures

Figure 1. Cadre permettant d'atténuer les risques liés à la fatigue. Issue des directives sur la fatigue de l'OMI, 2019. ....	26
Figure 2.Cadre de recherche de Lim et Turk (1999).....	31
Figure 3.Modèle primitif d'un système interactif. Issue de Dragicevic (2005).....	37
Figure 4.Les composants du modèle Arch.....	37
Figure 5.Adaptation des IHM selon ARCH. Issue de Thevenin (2001).....	38
Figure 6.Espace problème pour la plasticité des IHM. Issue de Coutaz, Calvary, Demeure et Balme (2012) .....	39
Figure 7.Taxonomies des technologies hypermédia adaptatives. Issue de Brusilovsky(2001).....	40
Figure 8.Schéma général d'un système adaptatif à l'utilisateur. Traduit d'Alshammari (2016) .....	41
Figure 9.Modèle d'interface adaptative généralisé. Issue de Rothrock, Koubek, Fuchs, Haas et Salvendy (2002) .....	42
Figure 10. Modèle d'interface adaptative généralisé. Issue de Rothrock, Koubek, Fuchs, Haas et Salvendy (2002) .....	42
Figure 11.Modèle simplifié d'une IHM adaptative. ....	43
Figure 12.Simplification du modèle d'interface adaptative de Rothrock et al.(2002). ....	44
Figure 13. Modèle utilisateur pour un système e-learning adaptatif de Brusilovsky (2001). Issue de Kim, Lee, et Ryu (2013).....	45
Figure 14. Modèle utilisateur pour un système e-learning adaptatif proposé par Kim, Lee, et Ryu (2013) .....	46
Figure 15. Résultat de la recherche de la définition du terme vigilance sur google.com.....	47
Figure 16. Illustration du modèle des composantes attentionnelles issue de Quistrebent-Davanne, Labat et Nizard, J. (2016).....	48
Figure 17. Le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994) issue de Dejonghe et Greco (2015) .....	48
Figure 18. Tracés EEG pour différents états physiques. Issue de Yu (2007).....	50
Figure 19.Quelques structures impliquées dans la gestion du cycle veille-sommeil .....	51
Figure 20. Modèle du circumplex de Lisa Feldman-Barrett et Russell (Feldman Barrett et Russell, 1998; Russell et Barrett, 1999).....	52
Figure 21. Différentes dimensions affectives placées sur le circumplex. Issue de From Barrett et Russell (1999) .....	53
Figure 22.L'échelle AC-ADL et le regroupement des adjectifs .....	54
Figure 23.Échelle du temps de la rythmicité biologique avec exemples. Traduit de Lamont et Amir (2010) .....	55
Figure 24.Rythmes circadiens typiques chez l'humain. Issue de Koch (2009) .....	55
Figure 25. Variation du niveau de vigilance en fonction des différents processus. Issue de Akersted et Folkard (1996). ....	56
Figure 26. Effet de la lumière sur la sécrétion de la mélatonine. Issue de Haffen (2009) .....	56
Figure 27.Le modèle SAFTE. Issue de Hursh et al. (2004) .....	58
Figure 28. La principale horloge circadienne dans le cerveau humain. Issue de Hickie, Naismith, Robillard, Scott & Hermens (2013).....	60
Figure 29. Le niveau de vigilance est plus élevé après une situation très complexe pour les participants expérimentés.....	61
Figure 30. L'influence du niveau de vigilance sur la performance dépend du niveau de complexité. ..	62
Figure 31. L'influence du niveau de vigilance sur la performance de rappel dépend de l'encodage de l'information. ....	62
Figure 32.Effets de l'interaction entre le moment de la journée et la modalité de présentation sur la performance .....	63

Figure 33. Différents facteurs impliqués dans le rythme circadien. Issue de Koch, Nagtegaal, Kerkhof, et Ter Wee (2009). ..... 64

Figure 34. Scores de niveau de vigilance en fonction du moment de la journée pour l'échelle composite de matinalité (composite scale of morningness, CSM). Issue de Diaz-Morales et Sanchez-Lopez (2005) ..... 65

Figure 35. Relation entre le rythme circadien, le niveau de complexité et la performance. .... 67

Figure 36. Relation entre les demandes de la tâche et la performance dans le modèle des ressources attentionnelles fixes (gauche) et des ressources malléables (droite). Traduit de Young et Stanton (2002) ..... 70

Figure 37. Les régions composant le réseau du mode par défaut (DMN). Issue de Baselli et al., (2015). ..... 71

Figure 38. Modèle de la théorie l'action. Issue de Norman (1988). ..... 73

Figure 39. Modèle de Rasmussen (1986). Issue de Marmaras et Kontogiannis (2001) ..... 74

Figure 40. Modèle du traitement d'information de Wickens (1992)..... 74

Figure 41. Les théories de conscience de la situation. Issue de Salmon et al. (2009)..... 76

Figure 42. Cycle perception-Action de Neisser. Issue de Adam et al. (1995). ..... 77

Figure 43. Conscience de la situation et introspection. Issue de Smith et Hancock (1995) ..... 77

Figure 44. Les éléments contraignant la conscience de la situation. Issue de Smith et Hancock (1995) ..... 78

Figure 45. Modèle de la conscience de la situation. Issue de Salmon et al. (2007) ..... 79

Figure 46. Modèle de la conscience de la situation d'Endsley (1995) ..... 80

Figure 47. Relation entre la charge mentale et la conscience de la situation. Issue d'Endsley (1993) 83

Figure 48. Modèle A-SA pour la prédiction d'erreur en phase de roulage. Issue de Wickens et Allion (2007). ..... 84

Figure 49. Cadre théorique illustrant la relation entre la charge mentale et la conscience de la situation. Issue de Tsang et Vidulich (2006) ..... 84

Figure 50. Relation entre Charge mentale et Conscience de la situation ..... 85

Figure 51. Relation entre charge mentale et conscience de la situation, au travers de l'évaluation de la situation. .... 86

Figure 52. Relation entre charge mentale, conscience de la situation et la conscience de la situation. .... 87

Figure 53. Relation entre la charge mentale et le niveau de vigilance. Inspiré des résultats de Paxion (2014) ..... 88

Figure 54. Modèle des capacités pour l'attention. Issue de Kahneman (1973) ..... 89

Figure 55. Représentation graphique des relations supposées entre les facteurs de charge cognitive et les types de charges cognitives. Issue de Galy et Mélan (2015). ..... 90

Figure 56. Modèle simplifié d'une IHM adaptative. .... 93

Figure 57. Relation entre les composants chronobiologiques et la performance ..... 94

Figure 58. Exemple d'un modèle pour les effets de synchronie ..... 94

Figure 59. Relation entre Moment de la journée, Typologie circadienne et capacités individuelles..... 94

Figure 60. Relation entre Moment de la journée, Typologie circadienne et Performance ..... 95

Figure 61. Représentation des fonctions d'un système adaptatif prenant en compte la chronobiologie ..... 95

Figure 62. Les caractéristiques de la tâche [Détail de la figure 65] ..... 96

Figure 63. Les caractéristiques de l'utilisateur [Détail de la figure 65] ..... 96

Figure 64. Les caractéristiques de l'environnement [Détail de la figure 65]..... 97

Figure 65. Domaine d'étude des effets de synchronie comprenant les caractéristiques de la tâche, les caractéristiques de l'environnement et les caractéristiques de l'utilisateur/opérateur. .... 98

Figure 66. Modèle théorique proposé pour expliquer les effets de synchronie en IHM..... 100

Figure 67. Modèle intégratif de la charge mentale de travail. Issue de Galy et Mélan (2015)..... 101

Figure 68. Interaction entre caractéristiques de la tâche et état fonctionnelle..... 102

Figure 69. Capture d'écran d'une tâche WCT issue de Izzetoglu, M & al. (2007).....	107
Figure 70. Goal-directed task analysis: Engager l'avion ennemi. Traduit d'Endsley (1993).....	108
Figure 71. SAGAT dans un contexte d'évitement de collision en mer. Issue de Chauvin, Clostermann et Hoc (2008).....	109
Figure 72. Exemple de GDTA pour le contrôle du trafic aérien. Issue d'Endsley (2017) .....	110
Figure 73. Représentation de la tâche .....	111
Figure 74. Interface de conception d'AXURE.....	112
Figure 75. Exemple de support d'expérimentation conçu avec AXURE .....	112
Figure 76. Affichage des informations sur un navire, dont la distance, et échelle de mesure de la charge de travail .....	113
Figure 77. Interface de création de Torque 3D .....	114
Figure 78. Interface de conception de Unity.....	114
Figure 79. Exemple d'un site d'entraide sur le langage VB.NET .....	115
Figure 80. Vidéo YouTube tutoriel de programmation de jeu de collision entre voitures. ....	116
Figure 81. Première version du support d'expérimentation. ....	116
Figure 82. Nombre de navires par vague en fonction du niveau de difficulté .....	117
Figure 83. Nombre de navires à moins de 150 m, par vague en fonction du niveau de difficulté .....	118
Figure 84. Nombre de navires en voie de collision, par vague en fonction du niveau de difficulté ....	118
Figure 85. Les différents risques de collisions pour un navire .....	119
Figure 86. Manœuvre d'évitement de collision entre 2 navires.....	119
Figure 87. Évitement de collision et navire ennemi à moins de 150 mètres.....	121
Figure 88. Capture d'écran de la tâche difficile .....	121
Figure 89. Exemple des informations incomplètes sur un navire.....	122
Figure 90. Fenêtre d'information sur un navire sur MarineTraffic.com .....	123
Figure 91. Extrait du code d'affichage des informations par navires. ....	125
Figure 92. Capture d'écran de l'interface de l'application support lors d'un double-clic sur un navire	126
Figure 93. Capture d'écran d'une manœuvre de destruction d'une piste hostile.....	126
Figure 94. Informations sur l'état du porteur en début de tâche .....	127
Figure 95. Informations sur l'état du porteur après évènements.....	127
Figure 96. Extrait de code pour un déplacement du porteur à droite.....	127
Figure 97. Possibilité de modifier l'affectation du navire sélectionné.....	128
Figure 98. Navire allié et navire ennemi .....	128
Figure 99. Interface du support de l'expérimentation dans l'outil de conception. ....	129
Figure 100. Capture d'écran montrant un navire sélectionné .....	129
Figure 101. Récupération d'une information de distance sur le site vesselfinder.com .....	130
Figure 102. Affichage de la distance au porteur d'une piste .....	130
Figure 103. Évolution de l'état du porteur durant une tâche .....	131
Figure 104. Capture d'écran d'un évènement de collision .....	131
Figure 105. Capture d'écran de la confirmation de destruction d'une piste hostile .....	132
Figure 106. Capture indiquant un navire détruit .....	132
Figure 107. Capture d'écran d'une version antérieure du support d'expérimentation .....	133
Figure 108. Lignes encadrant le porteur .....	134
Figure 109. Capture d'écran de la sélection de deux navires .....	135
Figure 110. Interface de gestion de missile dans le concepteur .....	136
Figure 111. Missiles disponibles en début de tâche .....	137
Figure 112. Exemple de situation en fin de la tâche difficile .....	138
Figure 113. Version antérieure de l'interface permettant le contrôle de l'application .....	138
Figure 114. Version définitive de l'interface de contrôle .....	139
Figure 115. Répartition des touches citées sur un clavier AZERTY .....	140
Figure 116. Relation entre les mesures physiologiques oculaires et la charge mentale du conducteur. Issue de Marquart, Cabrall et Winter (2015). ....	141



Figure 117. Extrait du questionnaire de Hörne et Östberg (1976) présenté sur Google Forms .....	144
Figure 118. Capture d'écran du logiciel OBS Studio. Issue de (OBS Studio, s. d.).....	145
Figure 119. Disposition du matériel d'expérimentation .....	148
Figure 120. Déroulement de l'expérimentation après installation du matériel .....	149
Figure 121. Nombre de participants par Chronotype .....	150
Figure 122. Nombre de participants par tranche d'âge .....	150
Figure 123. Exemple de données recueillies depuis l'eye-tracker .....	151
Figure 124. Exemple des résultats de uLog .....	152
Figure 125. Capture d'écran du logiciel permettant les calculs de l'échelle de Thayer .....	153
Figure 126. Exemple d'analyse de données sur Observer XT 11. Issue de Noldus, s. d.....	154
Figure 127. Exemple de phase d'encodage de la vidéo d'une tâche pour un participant .....	155
Figure 128. Exemple de données issues d'une analyse Observer XT .....	155
Figure 129. Modèle théorique proposé .....	159
Figure 130. Modèle opérationnel.....	160
Figure 131. Modèle opérationnel détaillé .....	161
Figure 132. Répartition des scores de typologie circadienne parmi les répondants.....	164
Figure 133. Nombre de participants par typologie circadienne.....	164
Figure 134. Répartition des typologies circadiennes par tranche d'âge .....	165
Figure 135. Distribution des répondants modérément du matin .....	165
Figure 136. Distribution des répondants modérément du soir .....	166
Figure 137. Répartition des participants pris en compte dans les analyses. ....	167
Figure 138. Effet du chronotype sur le choix de priorité.....	170
Figure 139. La qualité de la restitution du comportement des navires environnants en fonction du moment de la journée et du chronotype .....	173
Figure 140. Effet du chronotype sur la qualité de la connaissance du nombre de missiles restants. ....	174
Figure 141. Effets du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire.....	176
Figure 142. Effet du niveau de difficulté sur le temps de réaction .....	177
Figure 143. Effets du niveau de difficulté sur le nombre de collisions .....	179
Figure 144. Effet du niveau de difficulté sur le nombre de navires sélectionné après 150 m.....	180
Figure 145. Effet du moment de la journée sur le nombre de navires sélectionnés après les 150 mètres.....	181
Figure 146. Effets du moment de la journée et du niveau de difficulté sur le nombre de destructions avant 150 mètres.....	183
Figure 147. Effet du chronotype sur le niveau de vigilance après la tâche.....	187
Figure 148. Effet de l'interaction niveau de difficulté*chronotype sur le niveau de vigilance après la tâche .....	187
Figure 149. Effet du moment de la journée sur la vigilance en fonction du chronotype .....	189
Figure 150. Écart du niveau de vigilance en fonction du niveau de difficulté .....	191
Figure 151. Influence du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance en fonction du chronotype ..	192
Figure 152. Écart de diamètre pupillaire moyen en fonction du niveau de difficulté .....	194
Figure 153. Effet du diamètre pupillaire sur le temps de réaction.....	199
Figure 154. Effets du diamètre pupillaire sur le temps de réaction en fonction du niveau de vigilance .....	200
Figure 155. Effets du niveau de vigilance sur le temps de réaction en fonction du diamètre pupillaire .....	201
Figure 156. Diagramme du modèle des effets sur le temps de réaction .....	202
Figure 157. Effet du niveau de vigilance sur le nombre de collisions .....	204
Figure 158. Effets du score de SA sur le nombre de collisions en fonction du diamètre pupillaire ....	205
Figure 159. Le nombre de collisions en fonction de la qualité de restitution du comportement des navires environnants .....	207
Figure 160. Le nombre de collisions en fonction de la qualité de restitution du nombre de missiles. ....	208



Figure 161. Nombre moyen de collision en fonction de la prise en compte ou non de la trajectoire..	208
Figure 162. Effet du niveau de vigilance sur le nombre de collisions .....	209
Figure 163. Diagramme du modèle des effets sur le nombre de collisions .....	210
Figure 164. Diagramme du modèle des effets sur le nombre de collisions .....	212
Figure 165. Effet du diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionné après 150 mètres .....	215
Figure 166. Effet du diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionnés après 150 mètres, en fonction du score de SA. ....	216
Figure 167. Effet du score de SA sur le nombre de navires sélectionnés après 150 mètres, en fonction du diamètre pupillaire. ....	216
Figure 168. Nombre de sélections tardives moyen en fonction du nombre d'ouverture de la fenêtre d'information .....	218
Figure 169. Diagramme du modèle des effets de médiation sur le nombre de sélections tardives ...	219
Figure 170. Moyenne du nombre de sélections tardives en fonction du niveau de difficulté .....	220
Figure 171. Nombre de destruction précoces en fonction de la priorité des sous-tâches .....	223
Figure 172. Nombre de destruction précoces en fonction de la prise en compte de la trajectoire. ....	224
Figure 173. Nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de la restitution du comportement des navires environnants. ....	225
Figure 174. Nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de restitution du nombre de missiles .....	226
Figure 175. Nombre de destruction précoces en fonction du niveau de vigilance différentiel .....	226
Figure 176. Effet de la priorisation sur le nombre de destruction précoces en fonction de la qualité de restitution .....	228
Figure 177. Effet de la qualité de la restitution du comportement des navires environnants sur le nombre de destructions précoces en fonction de la qualité la qualité de la restitution du nombre de missiles. ....	229
Figure 178. Niveau de vigilance subjectif par le moment de la journée en fonction du chronotype. Adaptée de Diaz-Morales, de Leon, et Sorroche (2007).....	233
Figure 179. Modèle prédictif du niveau de vigilance après la tâche. ....	234
Figure 180. Les quatre indicateurs de performance. ....	236
Figure 181. Modèle prédictif du temps de réaction .....	239
Figure 182. Influence du niveau de difficulté sur le temps de réaction .....	239
Figure 183. Modulation des effets de la charge mentale par le niveau de vigilance. ....	240
Figure 184. Modèle prédictif du nombre de collisions .....	241
Figure 185. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de destructions précoces. ....	241
Figure 186. Influence de la priorisation des sous-tâches sur le nombre de destructions précoces. ..	242
Figure 187. Exemple de situations où la prise en compte de la trajectoire s'avère importante .....	242
Figure 188. Exemple d'une situation nécessitant la prise en compte du risque de collision avec les navires ennemis. ....	243
Figure 189. Exemple de situation très simplifié .....	244
Figure 190. Exemple d'une destruction précoce de la part d'un participant au moment d'un risque de collision .....	245
Figure 191. Modèle prédictif du nombre de collisions .....	245
Figure 192. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de collisions. ....	246
Figure 193. Modulation de la conscience de la situation sur l'effet de la charge mentale sur le nombre de collisions. ....	246
Figure 194. Modèle prédictif du nombre de sélections tardives .....	247
Figure 195. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de collisions. ....	247
Figure 196. Modulation de la conscience de la situation sur l'effet de la charge mentale sur le nombre de sélections tardives. ....	248
Figure 197. Modèle prédictif du nombre de sélections tardives .....	248
Figure 198. Effets du niveau de difficulté sur le nombre de sélections tardives. ....	248



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Figure 199. Représentation des fonctions d'un système adaptatif prenant en compte la chronobiologie  
..... 253

## Liste des tableaux

Tableau 1. Comparaison entre les systèmes adaptatifs et adaptables. Adapté de Fischer(2001).....	34
Tableau 2. Théories de la conscience de la situation pour un individu, issue de Stanton et al. (2017). .....	75
Tableau 3. Répartition des participants en fonction du chronotype et du moment de la journée .....	166
Tableau 4. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	168
Tableau 5. Résultats du test du rapport de vraisemblance après application du principe de parcimonie. .....	168
Tableau 6. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle complet .....	169
Tableau 7. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle parcimonieux .....	169
Tableau 8. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle complet .....	170
Tableau 9. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle simplifié .....	171
Tableau 10. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	171
Tableau 11. Résultats du test du rapport de vraisemblance simplifié .....	171
Tableau 12. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe .....	171
Tableau 13. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle simplifié. ....	172
Tableau 14. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	172
Tableau 15. Résultats du test du rapport de vraisemblance après application du principe de parcimonie .....	172
Tableau 16. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	173
Tableau 17. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle simplifié.....	174
Tableau 18. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle simplifié.....	174
Tableau 19. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	175
Tableau 20. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux .....	175
Tableau 21. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté.....	175
Tableau 22. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	176
Tableau 23. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle parcimonieux .....	177
Tableau 24. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté.....	177
Tableau 25. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	178
Tableau 26. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux .....	178
Tableau 27. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté.....	178
Tableau 28. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	179
Tableau 29. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle simplifié.....	179
Tableau 30. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté.....	180
Tableau 31. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Chronotype*Moment de la journée.....	181

Tableau 32. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie .....	182
Tableau 33. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle simplifié.....	182
Tableau 34. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Moment de la journée*Difficulté .....	182
Tableau 35. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	185
Tableau 36. Résultats du test du rapport de vraisemblance.....	185
Tableau 37. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Chronotype*Niveau de difficulté .....	186
Tableau 38. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Moment de la journée * Chronotype.....	188
Tableau 39. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	189
Tableau 40. Résultats du test du rapport de vraisemblance après parcimonie .....	190
Tableau 41. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni du Niveau de difficulté .....	190
Tableau 42. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Difficulté et Chronotype .....	191
Tableau 43. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	192
Tableau 44. Résultats du test du rapport de vraisemblance après parcimonie .....	193
Tableau 45. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté.....	193
Tableau 46. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	198
Tableau 47. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle parcimonieux .....	198
Tableau 48. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire.....	199
Tableau 49. Résultat des effets simples du niveau de vigilance différentiel .....	200
Tableau 50. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	203
Tableau 51. Résultats du test du rapport de vraisemblance d'un modèle parcimonieux .....	203
Tableau 52. Résultat des effets simples du score de SA.....	204
Tableau 53. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire.....	204
Tableau 54. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	206
Tableau 55. Résultats du test du rapport de vraisemblance d'un modèle parcimonieux .....	206
Tableau 56. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la connaissance du nombre de missiles restants.....	207
Tableau 57. Effets significatifs sur le nombre de collisions.....	210
Tableau 58. Effets significatifs sur le nombre de collisions.....	212
Tableau 59. Modèle prédictif complet du nombre de collisions .....	213
Tableau 60. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie .....	214
Tableau 61. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux .....	214
Tableau 62. Résultat des effets simples du score de conscience de la situation .....	215
Tableau 63. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire.....	215
Tableau 64. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le nombre de navires sélectionné après les 150 mètres avant parcimonie .....	217
Tableau 65. Résultats du test du rapport de vraisemblance parcimonieux. ....	217
Tableau 66. Effets significatifs sur le nombre de collisions.....	219
Tableau 67. Modèle complet de prédiction du nombre de sélections tardives .....	220
Tableau 68. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces.....	221
Tableau 69. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces sur le modèle parcimonieux .....	221
Tableau 70. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces.....	222
Tableau 71. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle simplifié pour les destructions précoces .....	222

Tableau 72. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la priorité entre l'évitement et la destruction.....	223
Tableau 73. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la qualité de la restitution du comportement des navires environnants.....	224
Tableau 74. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la qualité de la restitution du nombre de missiles restants.....	225
Tableau 75. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction de la priorisation des sous tâches et la qualité de restitution du comportement des navires.....	227
Tableau 76. Résultats significatifs du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction de la qualité de restitution du nombre de missiles restants et la qualité de restitution du comportement des navires.....	228
Tableau 77. Matrice de corrélation des indicateurs de performance.....	229

## 1. Introduction

Le domaine maritime, qu'il soit civil ou militaire, est un domaine en profonde évolution avec notamment le développement de l'automatisation qui modifie l'activité des opérateurs et accorde une place prépondérante à l'interaction Homme-Machine. L'interface homme-machine devient la source principale, voire unique dans le cas des sous-marins par exemple, d'information sur l'environnement.

Par ailleurs, comme d'autres systèmes critiques (nucléaire civil par exemple), la permanence de l'activité impose la présence d'opérateurs 24h/24 au travers de rythmes de quart, rendant l'activité particulièrement sensible aux effets de la fatigue. L'Organisation Maritime International (OMI) définit ainsi la notion de fatigue :

*"État qui se caractérise par un affaiblissement des capacités physiques et/ou mentales en raison de facteurs tels que le manque de sommeil, une période de veille prolongée, des conditions de travail et de repos qui ne sont pas synchronisées avec les rythmes circadiens et un effort physique, mental ou affectif, qui peut réduire la vigilance ou la capacité d'exploiter un navire en toute sécurité ou d'effectuer des tâches relatives à la sécurité." (OMI, 2019, p.1)*

L'OMI s'intéresse à la fatigue depuis les années 1993 dans le but de proposer des contre-mesures permettant une gestion et une réduction de celle-ci, car la fatigue est l'un des principaux facteurs d'accident dans le secteur maritime : il est, par exemple, considéré comme contributeur de 82% des accidents d'échouage en mer ayant lieu entre minuit et 6 heures du matin et un facteur déterminant dans les collisions (à Høvdanum, Jensen, Petursdóttir, et Holmen, 2014).

C'est le cas, par exemple, de l'échouage de l'Exxon Valdez en 1989, au large des côtes de l'Alaska (Xhelilaj et Lapa, 2010) ou plus récemment, du cargo « Rhodanus » sur une plage corse le 13 octobre 2019. Dans les deux cas, la fatigue est considérée comme un facteur important de l'accident. Elle est également responsable de chutes d'homme à la mer (Apostol-Mates et Barbu, 2019). Le domaine militaire n'est pas épargné, nous pouvons citer le cas de deux accidents de collision ayant eu lieu à deux mois d'intervalle en 2017. La collision entre USS FITZGERALD (DDG 62) et le navire à moteur ACX CRYSTAL et la collision entre USS JOHN S MCCAIN (DDG 56) et le bateau à moteur ALNIC MC. Dans ces deux cas, l'enquête a indiqué la fatigue de l'équipage comme un des facteurs contributeurs de l'accident. (Via, 2017, October).

L'OMI propose des mesures adéquates face à la problématique de la fatigue, en s'appuyant sur une approche globale et holistique du phénomène et une prise en compte des problématiques de fatigue dès la conception. Comme le montre sa définition, la fatigue est composée de nombreux facteurs. Ceux présentés ci-dessous concernent les marins (OMI, 2019, p.4) :

1. Le sommeil et repos ;
2. L'horloge biologique/ Le rythme circadien ;
3. Les facteurs psychologiques et émotionnels ;
4. La santé et le bien-être ;
5. Le stress ;

6. L'ingestion de médicaments et de substances ;
7. L'âge ;
8. L'aménagement de travail en équipe et les horaires de travail ;
9. La charge de travail ;
10. Le décalage horaire.

Les facteurs chronobiologiques que sont le sommeil et le repos, le rythme circadien ou horloge biologique, le décalage horaire, mais également les horaires de travail représentent une part non négligeable de ces facteurs. Dans une étude sur la place de l'humain et les facteurs organisationnels dans les accidents maritimes, Chauvin, Lardjane, Morel, Clostermann et Langard (2013) citent par ailleurs certains états néfastes parmi les préconditions des actions non sécuritaires dans le secteur maritime. Parmi celles-ci nous retrouvons l'état mental des opérateurs, l'état physiologique, ou encore le niveau de disponibilité de l'opérateur. Si les disruptions du rythme circadien sont incluses dans l'état mental, les facteurs chronobiologiques peuvent également affecter l'état physiologique et la disponibilité de l'opérateur.

Un autre facteur non négligeable dans la sécurité maritime est celui de la conscience de la situation. Comme l'explique Chauvin (2010), l'activité mentale des opérateurs est essentiellement une activité de diagnostic et de prise de décision qui s'appuie sur un « bon » modèle mental. En effet, un modèle mental erroné peut conduire à une décision logique pour l'opérateur, mais inadaptée à la situation réelle et entraîner un accident. Chauvin et al. (2013) expliquent par ailleurs que la perte de conscience de la situation est un facteur déterminant dans les collisions.

Enfin, l'aspect technologique est également inclus dans les facteurs au travers de la présence ou non de certains instruments sur le pont ou d'une mauvaise utilisation des outils disponibles pour l'opérateur.

Les recommandations vont généralement se concentrer sur le rythme de travail, en proposant par exemple une nouvelle gestion des quarts, de nouvelles réglementations, ou des formations visant à sensibiliser à la notion de fatigue [Figure 1].



	Évaluation des risques	Atténuation des risques
Approche fondée sur les risques	A. La compagnie apporte-t-elle un <b>soutien</b> efficace en matière de gestion des risques liés à la fatigue ?	Formation et sensibilisation à la fatigue Ressources suffisantes Environnement à bord sûr
	B. Les marins bénéficient-ils d' <b>occasions</b> suffisantes de <b>pouvoir dormir</b> ? (durée et qualité du sommeil)	Prescriptions relatives aux heures de travail et de repos Calendrier et planification des tâches Gestion de la charge de travail Milieu de travail et de vie
	C. Les marins <b>parviennent-ils à dormir suffisamment</b> ? (durée et qualité du sommeil)	Responsabilité de la compagnie et du marin
	D. Les marins sont-ils en mesure de <b>conserver un niveau de vigilance</b> et de performance suffisant durant leur service ?	Surveillance de la fatigue par le marin et par les pairs S'assurer que l'on est "apte au service"
	E. Les événements liés à la fatigue (accidents et quasi-accidents) ont-ils été <b>notifiés et analysés</b> ?	Notification et analyse de la fatigue

Figure 1. Cadre permettant d'atténuer les risques liés à la fatigue. Issue des directives sur la fatigue de l'OMI, 2019.

Ainsi, l'interaction homme-machine est peu prise en compte (Wu, Miwa et Uchida, 2017). Cependant, comme l'indique Di Nocera et al. (2016), améliorer la performance de l'humain devrait être un des objectifs premiers pour améliorer la sécurité, la sûreté de la navigation et son respect de l'environnement. Or ces auteurs considèrent que l'interaction entre les humains et le système (la technologie, les procédures, l'environnement) est le maillon faible de la sûreté en navigation, mais qu'elle est peu considérée.

Des systèmes automatisés et parfois même adaptatifs sont déjà étudiés pour le domaine maritime (Wu, Miwa et Uchida, 2017), principalement pour une meilleure gestion de la charge mentale, l'idée étant de permettre une optimisation de la charge mentale et ainsi d'éviter les situations de somnolence ou fatigue passive, mais également les situations de surcharge. C'est le cas des *OFS-adaptive automation* que l'on peut traduire par Automatisation adaptative en fonction de l'état fonctionnel de l'opérateur.

En prenant en compte tous les éléments antérieurs, cette thèse se propose d'étudier les facteurs chronobiologiques dans un contexte d'interaction homme-machine, dans le but de proposer des modèles utilisateurs pouvant servir à la conception des IHMs adaptatives à l'état de l'opérateur. Elle intègre une approche pluridisciplinaire en s'intéressant aux facteurs chronobiologiques que sont la vigilance, la typologie circadienne, le moment de la journée et les effets de synchronie pour comprendre leur interaction avec des concepts étudiés en facteurs humains telle que la charge mentale et la conscience de la situation dans une tâche d'interaction homme-machine.



En effet, les paramètres chronobiologiques, source de variabilité intra individuelle, affectent le fonctionnement cognitif de l'individu (Bermudez, Klerman, Czeisler, Cohen, Wyatt, et Phillips, 2016). Le rythme circadien variant d'un individu à un autre en fonction de la typologie circadienne va également être source de variabilité interindividuelle (Thayer, 1990, p.78). Ces deux types de variabilités se retrouvent dans les effets de synchronie dû à l'interaction entre le moment de la journée et la typologie circadienne de l'individu. Ainsi, de façon générale, la performance cognitive est meilleure durant les périodes optimales, c'est-à-dire lorsque le moment de la journée correspond aux préférences de l'individu que durant les périodes non optimales. Ces effets de synchronie sont présents également pour le niveau de vigilance.

Les IHMs adaptatives permettent l'implémentation d'une interaction ou des modalités d'interaction différentes en fonction de l'état de l'opérateur (Jameson, 2001) et de sa variabilité dans le but de maintenir la performance de l'opérateur, quel que soit son état. Pour les concevoir, il est nécessaire de disposer, de connaissances sur les caractéristiques individuelles à prendre en compte et des effets de ces paramètres sur la performance.

La finalité de cette thèse est donc de vérifier les effets de synchronie sur la performance en interaction homme-machine et d'en tirer des recommandations et des modèles pour la conception des IHM adaptatives (exemple, Kim, Lee, et Ryu, 2013).

Pour mener à bien cette tâche, cette thèse se divise en 6 parties :

Dans un premier temps, nous allons définir et présenter les notions d'IHM adaptatives, de vigilance et des effets de synchronie, de charge mentale et de conscience de la situation au travers d'un cadre théorique pluridisciplinaire.

Ensuite de ce cadre théorique découlera une problématique permettant de faire le lien entre ces notions et des hypothèses de travail.

La réponse à cette problématique nécessitera la planification d'une expérimentation et la conception d'un support d'expérimentation qui seront présentées dans la méthodologie en troisième partie.

La procédure permettra de présenter le déroulement des expérimentations, et la planification des analyses statistiques.

Les résultats statistiques obtenus seront présentés.

Et enfin, une discussion sera proposée autour des résultats et une conclusion en fera le lien avec les IHMs adaptatives et sera suivie d'une conclusion générale. La discussion intégrera également les limites de l'étude et les perspectives.

# CADRE THÉORIQUE

---



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Le principe d'adaptabilité est un critère important en ergonomie (Bastien et Scapin, 1993). Bach et Scapin (2005) le définissant ainsi : « *L'adaptabilité d'un système concerne sa capacité à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs* ». Il s'agit, principalement, de prendre en compte la diversité des utilisateurs et les stratégies différentes qui en découlent dans la réalisation d'une tâche. Par conséquent, le système se doit d'être flexible, de proposer différentes options pour atteindre un même objectif et de prendre en compte l'expérience de l'utilisateur en étant personnalisable. La personnalisation se traduit, par exemple, par le fait de permettre qu'un utilisateur puisse modifier des éléments de l'interface pour l'adapter à son niveau d'expertise face au système. La variabilité des utilisateurs est une problématique essentielle à prendre en compte dans la conception. Dans le cadre des critères de Bach et Scapin (2005), cette variabilité concerne principalement les stratégies et le niveau d'expérience, mais d'autres paramètres de variabilité peuvent intervenir dans le contexte de réalisation d'une tâche et avoir une influence sur la performance de l'opérateur. C'est le cas, par exemple, des paramètres chronobiologiques tel que le niveau de vigilance. Peu ou pas étudié dans le contexte d'Interaction Homme-Machine, ces paramètres sont pourtant connus pour affecter la performance dans différents domaines comme la conduite (Lenné, Triggs, et Redman, 1997) ainsi que les performances cognitives, par exemple la mémorisation (May, Hasher, et Stoltzfus, 1993). Ce cadre théorique va présenter les concepts liés à la problématique de la prise en compte des variabilités individuelles dans le domaine des IHM. La première partie sera consacrée aux IHM adaptatives, solutions permettant la prise en compte des variabilités individuelles en automatisant l'adaptation des systèmes. Ensuite, nous traiterons des différences individuelles en chronobiologie avec les notions de vigilance et d'effet de synchronie. Et enfin, nous traiterons de leurs relations avec la charge mentale et la conscience de la situation, deux concepts fondamentaux pour l'Interaction Homme-Machine.

## 1.1. Les IHM adaptatives

### 1.1.1 Les différences individuelles dans l'interaction Homme-Machine

L'intérêt pour la variabilité humaine dans le domaine des IHM n'est pas nouveau. À ses débuts, cet intérêt s'est porté principalement sur les différences de niveau d'expertise et ses effets sur la performance (ex. Roberts et Moran, 1983). En effet, dès ses débuts, le domaine des IHM est influencé par la psychologie classique (Newell et Card, 1985 ; Myers, Hollan et Cruz, 1996). Certains auteurs, cependant, appellent à un élargissement de l'influence de la psychologie et un rapprochement avec la psychologie différentielle (Dillon et Watson, 1996). Cela permettrait une meilleure prise en compte des différences interindividuelles et une meilleure compréhension de leurs impacts sur la performance.

L'engouement pour les différences interindividuelles en IHM apparaît à partir de la démocratisation des systèmes informatiques. Il faut créer des systèmes de plus en plus complexes qui devront être utilisés par une multitude de profils utilisateurs différents. Ce qui demande de pouvoir catégoriser les sources de différences individuelles ayant une influence importante sur la performance dans un contexte IHM.

En partant de la différence d'expertise (expérience), le nombre de facteurs s'élargira, allant des caractéristiques démographiques aux traits de personnalité ou capacités cognitives (O'Brien, Dickinson, et Askin, 2017 ; Williams, Morgan, et Joinson, 2017 ; Walkowiak, Foulsham, et Eardley, 2015). C'est ainsi qu'en étudiant les effets des différences interindividuelles sur les préférences de style d'interface et de système d'exploitation, Lim et Turk (1999) vont proposer une catégorisation des différences interindividuelles [Figure 2] ayant le plus d'influence sur l'Interaction Homme-Machine. Les caractéristiques individuelles prises en considération dans le cadre de cette thèse se retrouvent dans ces catégories. Il est à noter cependant, que de manière générale, les caractéristiques intra-individuelles, ayant pourtant également un impact sur la performance, sont peu étudiées (ex. Blatter et Cajochen, 2007).

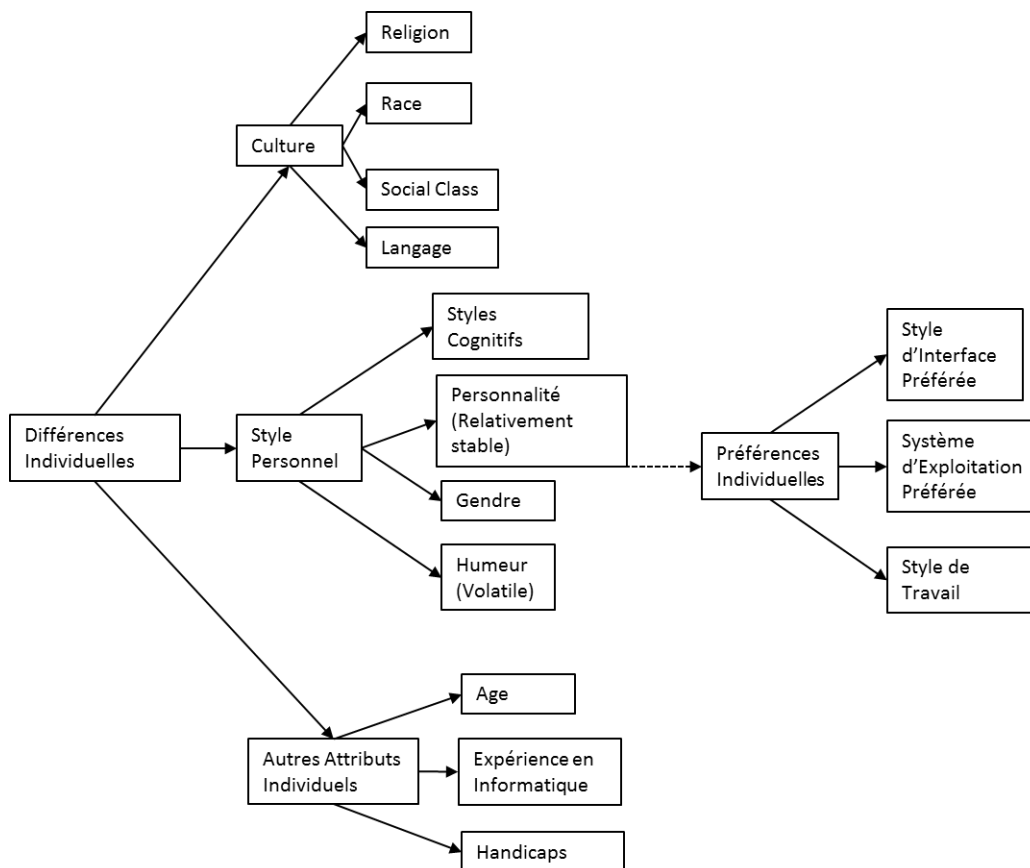


Figure 2. Cadre de recherche de Lim et Turk (1999)

Les études sur les différences individuelles dans le domaine des IHM se centrent donc principalement sur les différences interindividuelles et peu sur les différences intra-individuelles qui pourraient affecter l'interaction avec un système. C'est le cas des variations du niveau de vigilance dues aux horaires ou à la durée du travail, à la charge mentale ou aux affects tels que le stress. À noter cependant que les affects, en général, et les émotions, en particulier, vont donner naissance au champ d'études de l'informatique affective.

Lors de la phase de conception, la variabilité individuelle des profils utilisateurs place le concepteur devant différents choix : concevoir un produit pour un groupe d'**utilisateurs uniformes**, concevoir **différentes versions** pour différents groupes d'utilisateurs ou enfin concevoir des produits capables de s'**adapter** à l'utilisateur.

Ces différents choix se déclinent sous forme de différents niveaux d'adaptation, pouvant être catégorisés en fonction de l'agent déclencheur de l'adaptation implémentée (Camara, Calvary, Demumieux, et Ganneau., 2014) :

- Le premier niveau est celui des IHM adaptées. L'adaptation est mise en place par le concepteur au moment de la conception et reste statique lors de l'utilisation. C'est-à-dire que nous sommes face à un système qui est destiné à un public précis dès la conception. Il se rapproche des « *systèmes câblés* » ou « *designed system* » décrits par Totterdell et Rautenbach (1990).
- Le second niveau est celui des IHM adaptables. Les possibilités d'adaptation sont mises en place lors de la conception, mais c'est l'utilisateur qui est à l'origine des modifications pour obtenir l'adaptation de l'IHM. Le système est donc statique, mais non rigide. Ce niveau hiérarchique correspond au « système adaptable » de Totterdell et Rautenbach (1990).
- Le dernier niveau est celui des IHM adaptatives. Dans ce cas, le système est à l'origine des modifications à mettre en place pour obtenir une IHM adaptée. Chez Totterdell et Rautenbach (1990), les systèmes adaptatifs sont à leur tour divisés en 3 niveaux de complexité :
  - Le premier niveau de système adaptatif est le système « *autorégulateur* ». Le système adaptatif est alors capable d'analyser les résultats produits par ses modifications antérieures sur l'interface.
  - Le second est le système « *automédiateur* ». Il est capable d'anticiper et donc de prévoir en amont le résultat sur la performance que produira le choix de modifications sur l'interface.
  - Enfin, le système « *automodificateur* ». Intégrant des métaconnaissances, le système est capable d'apprentissage et de produire de nouveaux déclencheurs et de nouvelles modifications d'interface.

Ainsi, les différences individuelles sont prises en compte dans le domaine IHM, et cette prise en compte influence les possibilités de conception. Notamment à travers les IHM adaptatives qui apparaissent comme un système automatisé, avec un niveau de complexité variable, dans lequel l'utilisateur interagit avec un système qui prend en compte ses particularités.

### 1.1.2 L'apport des IHM adaptatives

Les raisons motivant l'implémentation des IHM adaptatives comme moyen d'interaction sont nombreuses dans la littérature.

En premier lieu, nous retrouvons l'idée que celles-ci permettraient de répondre à des problématiques causées par la grande diversité des utilisateurs et des situations d'utilisation des systèmes (Simonin et Carbonell, 2003 ; Camara, Calvary, Demumieux, et Ganneau, 2010; Herder., 2003).

Le changement de rôle des systèmes informatiques est vu également comme une explication à l'appel aux IHM adaptatives. En effet, les systèmes informatiques sont passés du rôle de

calculateurs à des outils plus personnels, se rapprochant parfois du rôle de collaborateurs (Rothrock, Koubek, Fuchs, Haas, et Salvendy, 2002).

Une autre source de motivation est l'idée selon laquelle les systèmes informatiques augmentent en complexité et que, dans ce contexte, la création d'IHM adaptatives permettrait de faciliter l'interaction entre le système et l'utilisateur (Mostafa, Crick, Calderon, et Oatley, 2016)

Certains auteurs considèrent que l'interaction Homme-machine gagnerait à s'inspirer de l'interaction Homme-Homme dont l'une des particularités serait l'adaptation du propos à l'interlocuteur (Mairesse et Walker, 2010). Les IHM adaptatives seraient alors un moyen d'enrichir les interactions Homme-Machine.

Enfin, l'implémentation des IHM adaptatives peut permettre également de prendre en compte les changements internes à l'utilisateur, autrement dit les différences intra-individuelles. Cependant, comme indiqué précédemment, le domaine semble se focaliser principalement sur les différences interindividuelles, pour lesquelles Aykin et Aykin (1990) expliquent que les différences interindividuelles auraient un impact plus important sur la performance de l'individu que la conception (*design*) de l'interface ou la formation de l'individu.

Plus concrètement, les systèmes automatisés adaptatifs permettraient, par exemple, une allocation dynamique des tâches et des fonctions basée sur un suivi en temps réel de l'état de l'opérateur (*user monitoring*) ; cette allocation dynamique serait gérée par le système informatique et n'incomberait plus aux opérateurs (Kaber et Prinzel III, 2006). La délégation des tâches et des fonctions entre le système et les opérateurs est en effet considérée comme une charge de travail supplémentaire et un facteur de dégradation de la conscience de la situation. Par ailleurs, Kaber et Prinzel III (2006) font remarquer qu'en comparaison des systèmes adaptatifs, les systèmes adaptables sont considérés comme limités en efficacité, et produiraient des performances proches de celles d'une commande manuelle dans plusieurs contextes.

Il existe également quelques exemples des apports de systèmes adaptatifs sur la performance. Freeman, Mikulka, Prinzel et Serbo (1999) indiquent, par exemple, une meilleure performance sur des tâches de suivi oculaire pour lesquelles un système adaptatif permettait de compenser le suivi oculaire en détectant l'engagement du participant à partir du signal EEG.

Les aides adaptatives permettraient également d'améliorer la performance sur une variété de tâches, incluant les tâches de tracking (Freeman et al., 1999) et les simulations de drones aériens (UAV pour Unmanned Aerial Vehicle) (Parasuraman, Cosenzo, et De Visser, 2009 ; Wilson et Russell, 2007).

Si les IHM adaptatives doivent apporter différents bénéfices aux interactions avec les systèmes dans lesquels ils sont implémentés, il ne faut néanmoins pas nier les difficultés que ce type de système pourrait impliquer. Ainsi, Fischer (2001), dans une comparaison entre les systèmes adaptables et adaptatifs, va mettre en avant les forces, mais également les faiblesses de ces deux types d'IHM.



Tableau 1. Comparaison entre les systèmes adaptatifs et adaptables. Adapté de Fischer(2001)

	Adaptative	Adaptable
Définition	Adaptation dynamique par le système lui-même à la tâche courante et à l'utilisateur courant.	L'utilisateur change (avec une aide substantiel du système) la fonctionnalité du système.
Connaissances	Contenu dans le système; projeté de différentes manières	La connaissance est étendue
Forces	Peu (ou pas) d'effort par l'utilisateur; pas de connaissance spécifique requis de la part de l'utilisateur	L'utilisateur a le contrôle; l'utilisateur est celui qui connaît mieux sa/ses tâches; la connaissance du système sera mieux adaptée; des modèles de succès existent
Faiblesses	L'utilisateur a des difficultés à développer un modèle cohérent du système; perte de contrôle; peu (ou pas) de modèles de succès existent (sauf humains)	Les systèmes deviennent incompatibles; l'utilisateur a plus d'effort à fournir; la complexité augmente (l'utilisateur doit apprendre le composant d'adaptation)
Mécanismes requis	Modèles utilisateurs, de tâches, et de dialogues; connaissances sur les buts et les plans; capacité de correspondance puissante; amélioration incrémentale des modèles.	Architecture par couches; modèles de domaine et orientation sur le domaine; feedback du système; <i>design rationale</i>
Domaines d'application	Systèmes d'aide active, <i>critiquing systems</i> , <i>differential descriptions</i> , <i>user interface customization</i> , <i>information retrieval</i>	Recherche d'information, <i>end-user modifiability</i> , <i>tailorability</i> , <i>filtering</i> , <i>design in use</i>

Dans ce tableau [Tableau 1], nous pouvons remarquer que les faiblesses des systèmes adaptatifs proviennent principalement du fait qu'un système adaptatif est un système automatisé, il hérite donc des limites et problématiques d'un tel système.

Les IHM adaptatives sont vues, en général, comme un moyen d'améliorer la performance de l'opérateur, en améliorant d'une manière ou d'une autre son interaction avec le système. Le terme "IHM adaptative" rassemble cependant différents types d'interaction Homme Machine qu'il faut définir pour mieux l'encadrer.

### 1.1.3 Les types d'IHM adaptatives

Dans la littérature, plusieurs types d'interfaces ou d'interaction pourraient hériter du terme d'IHM adaptatives, si l'on considère qu'une IHM adaptative est « *un système interactif qui adapte son comportement à l'utilisateur en tant qu'individu sur la base de processus de l'acquisition d'un modèle utilisateur et de son application qui implique une forme d'apprentissage, d'inférence, ou de prise de décision.* ». Traduit de Jameson (2001, p.1).

Voici quelques exemples de champs d'études sur les interactions intégrant l'idée d'adaptativité.

#### 1.1.3.1 L'affective computing

Proposé par Picard (1995), le but de l'*affective computing* est d'améliorer l'Interaction Homme-Machine en permettant aux systèmes informatiques de « comprendre » l'état émotionnel de l'utilisateur pour permettre d'améliorer la prise de décision, mais également de faciliter la transmission des émotions dans le cadre des communications médiées par ordinateur (CMC).



En fin de compte, le système doit être capable de « ressentir » des émotions, de les comprendre et d’y répondre en influençant l’état émotionnel de l’utilisateur.

Picard (1997) exprime les choses de la manière suivante : *“Affective Computing is computing that relates to, arises from, or deliberately influences emotion or other affective phenomena.”* (Massachusetts Institute of Technology, s. d.).

Un système issu des travaux de l’*affective computing*, en prenant en compte les définitions antérieures, pourrait donc être considéré comme un système adaptatif dont l’état émotionnel de l’utilisateur et ses variations sont les principaux déclencheurs d’adaptation.

### 1.1.3.2 Les « Context-Aware Systems »

Byun et Cheverst (2004) définissent ainsi les systèmes *Context-Aware* :

*« Un système est « Context-Aware » s’il est capable d’extraire, interpréter et utiliser l’information du contexte et d’adapter ses fonctionnalités au contexte d’utilisation courant ». Ainsi, en récupérant des informations sur le contexte d’utilisation courant, le système est capable de fournir des services appropriés à la personne, au lieu, au temps, à la situation.*

La récupération des informations est rendue possible avec les outils informatiques de plus en plus intelligents et dotés de plus de capteurs.

Dey (2001) définit le contexte comme *« toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d’une entité. Une entité est une personne, un lieu ou un objet qui est considéré comme pertinent pour l’interaction entre un utilisateur et une application, incluant l’utilisateur et les applications elles-mêmes... Y compris l’environnement. ».*

Ce type d’interaction s’inscrit dans l’approche de l’informatique dite *« ubiquitaire »*, *« pervasive »*, ou *« diffuse »*. Son but est d’*« offrir des services aux utilisateurs humains interagissant avec leur environnement (y compris les objets et autres humains qui l’occupent.) »* (Euzenat, Pierson, et Ramparany, 2006, p.1).

*« Les applications dans ce domaine doivent être capables de considérer le contexte dans lequel les utilisateurs évoluent (qu’il s’agisse de leur localisation physique, leur position sociale ou hiérarchique ou leurs tâches courantes ainsi que des informations qui y sont liées). Ces applications doivent gérer dynamiquement l’irruption dans la scène de nouveaux éléments (utilisateurs ou appareils) même inconnus et produire de l’information de contexte utile à des applications non envisagées »* (Euzenat, Pierson, et Ramparany, 2006, p.1). La problématique principale de l’informatique diffuse est justement la diffusion, l’ubiquité et la pervasivité des systèmes informatiques, c’est-à-dire la présence de dispositifs informatiques dans des lieux et contextes d’utilisation variés (métro, domicile, rue ...). L’utilisateur est inclus dans ce contexte, mais sa variabilité propre n’est pas nécessairement le point de départ des travaux de ce domaine. Même si la notion de contexte peut intégrer l’état de l’utilisateur (Rosenberg et Gerhard, 2018).

Un autre champ d’études inscrit dans l’informatique diffuse est celui des interfaces plastiques.

### 1.1.3.3 Les interfaces plastiques

Par définition, une interface plastique n'est pas nécessairement une interface adaptative. Celle-ci pouvant être adaptable ou adaptative, ou s'inscrire dans un continuum entre les deux niveaux d'interaction.

Les interfaces plastiques sont des interfaces capables de s'adapter au contexte d'usage.

La plasticité des interfaces a été mise en avant par Thevenin et Coutaz (1999) et est issue du courant de l'informatique ubiquitaire. Dans ce cas, le contexte d'usage est défini par le triplet <utilisateur, plate-forme, environnement>. Cependant, certains auteurs y ajoutent des éléments complémentaires tels que « l'activité de l'utilisateur » ou encore « les objectifs utilisateurs latents » (Tarpin-Bernard, 2006 ; 2008).

Pour composer le triplet du contexte d'usage, l'utilisateur est pris en compte au travers de ses capacités (perceptuelles, motrices et cognitives), de ses préférences et de ses caractéristiques culturelles (ex. la langue maternelle).

La plate-forme est « *l'ensemble des ressources d'interaction disponibles* ». Le terme s'applique principalement aux dispositifs qui soutiennent l'interaction. Enfin, l'environnement comprend les caractéristiques du lieu où se déroule l'interaction, autant en termes de caractéristiques physiques que de caractéristiques sociales.

Les travaux sur les IHM plastiques se sont principalement centrés sur l'adaptation en fonction de la plate-forme (Simonin et Carbonell, 2007) puis peu à peu à l'adaptation en fonction de l'environnement, mais moins à l'adaptation à l'utilisateur.

Le terme « *IHM adaptative* » est parfois confondu avec celui d'interfaces plastiques. Or une IHM plastique n'est pas nécessairement adaptative, elle peut être adaptable.

Thevenin, Calvary, et Coutaz (1999, p.1) différencie ainsi les deux propriétés d'adaptation des interfaces : « *L'adaptabilité est la capacité d'une interface à être modifiée par l'utilisateur, et l'adaptativité est la capacité d'une interface à se modifier automatiquement, sans action explicite de l'utilisateur.* »

Dans le même temps, la plasticité est ainsi expliquée : « *La plasticité d'une matière est sa capacité à se déformer suivant des contraintes, sans se casser. De la même manière, nous définissons la plasticité d'une interface, comme sa capacité à s'adapter (se déformer) aux contraintes du matériel ou de l'environnement, en restant utilisable (sans se casser). De ce fait, une interface spécifiée pour s'adapter aux variations du matériel, permet de minimiser le coût de développement et de maintenance.* ».

Ainsi la plasticité d'une interface n'est pas synonyme de son adaptativité. La plasticité est une propriété de l'interface qui permet à celle-ci d'être adaptable ou adaptative.

### 1.1.4 L'architecture d'une IHM adaptative

La conception d'une IHM adaptative demande l'intégration de certains composants permettant d'obtenir un système automatisé [Tableau 1]. Cependant avant d'être un type particulier d'IHM, l'IHM adaptative intègre en premier lieu les mêmes composants qu'une IHM classique.

Ainsi au niveau primitif, toute IHM permet une interaction entre un utilisateur et le noyau fonctionnel d'un système interactif au travers d'une interface [Figure 3].

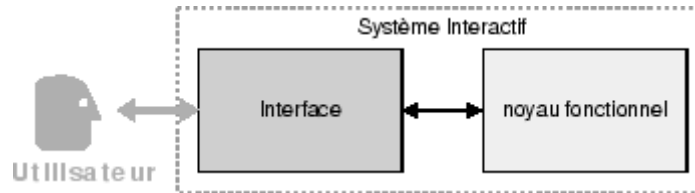


Figure 3. Modèle primitif d'un système interactif. Issue de Dragicevic (2005)

Le modèle ARCH (Bass, Faneuf, Little, Mayer, Pellegrino, et Reed, 1992) est le modèle de l'architecture d'un système interactif le plus répandu.

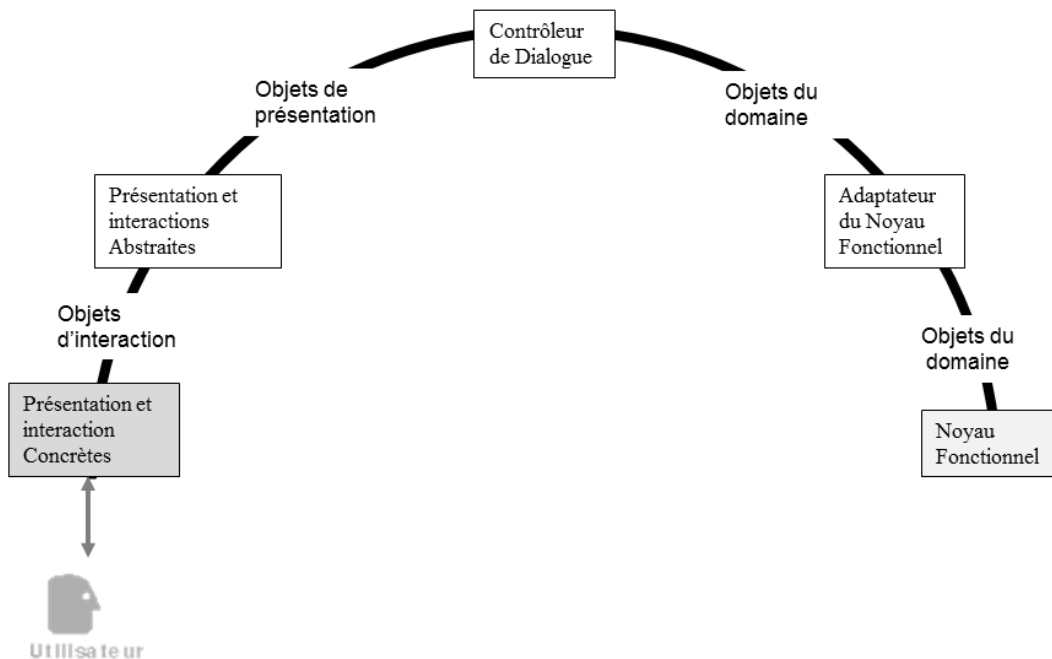


Figure 4. Les composants du modèle Arch.

Dans le modèle ARCH [Figure 4], nous retrouvons donc le noyau fonctionnel du système, cependant les étapes entre l'utilisateur et le noyau fonctionnel sont plus détaillées. L'utilisateur interagit directement avec les composants de « Présentation et interaction concrètes », ils contiennent les différents éléments de l'interface et les liens avec les périphériques physiques. Ils dépendent de la plateforme et contiennent les composants d'interaction de bas niveau.

Le composant de présentation intègre les objets interactifs de plus haut niveau.

Le composant du dialogue fait le lien entre les éléments dirigés vers l'utilisateur et les éléments du noyau, l'adaptateur du noyau fonctionnel et enfin le noyau fonctionnel.

Le modèle ARCH est à la base de différentes taxonomies permettant la réflexion sur les composants essentiels d'une IHM adaptative. C'est le cas de la description de Thevenin (2001).

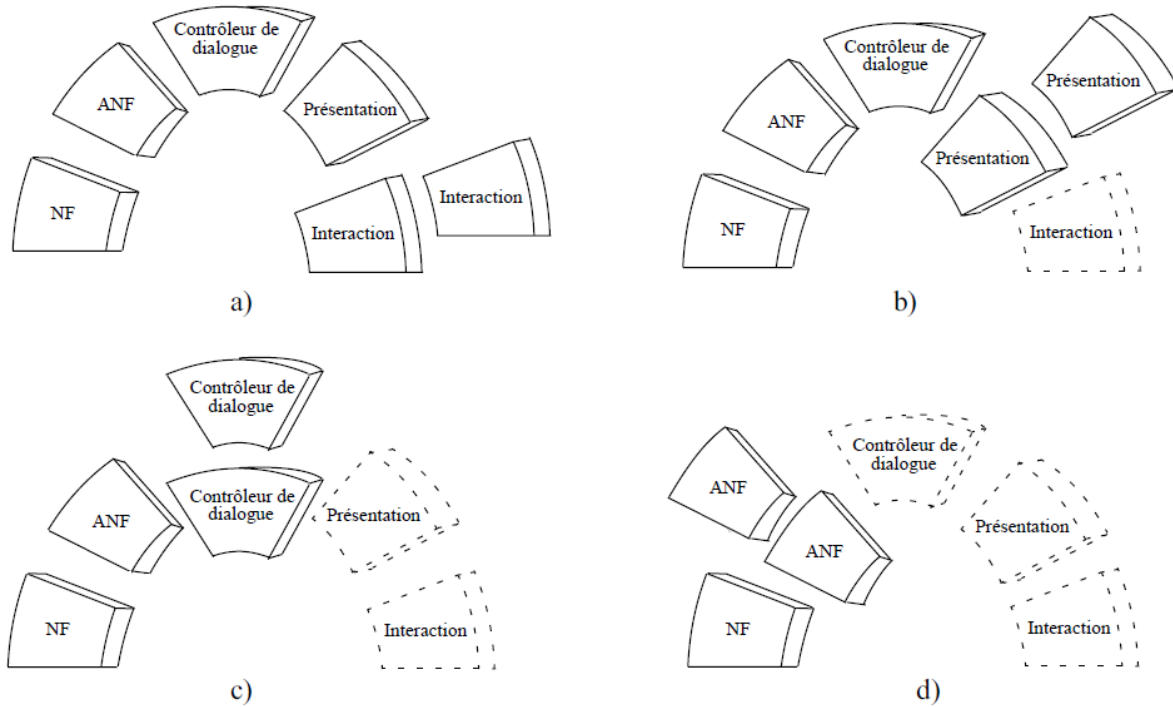


Figure 5. Adaptation des IHM selon ARCH. Issue de Thevenin (2001)

### 1.1.4.1 Adaptation et niveau d'abstraction

La figure 5 montre que l'adaptation concerne les différents niveaux d'abstraction du système, sauf le dernier niveau qui est celui du noyau fonctionnel. On retrouve chez Thevenin (2001) une classification équivalente à celle de Coutaz et Calvary (2012) :

- L'adaptation des interacteurs physiques :  
À ce niveau d'abstraction, l'IHM s'adapte en modifiant les interacteurs physiques sans changer leur nature. L'apparence d'un bouton peut ainsi changer d'une plate-forme à une autre, mais la fonction du bouton, elle, ne change pas. C'est ce que Coutaz et Calvary (2012) appellent les aspects cosmétiques de l'interaction.
- L'adaptation des interacteurs logiques :  
L'adaptation change le type d'interacteur, mais garde les mêmes capacités représentationnelles et fonctionnelles.
- L'adaptation du contrôleur de dialogue :

L'action est réalisée sur la tâche, cependant la tâche en elle-même n'est pas modifiée. C'est le style de manipulation qui est modifié, et celui-ci impacte l'ordonnancement de certaines tâches.

- L'adaptation de l'adaptateur du Noyau Fonctionnel (ANF) :  
L'adaptation va modifier la nature des tâches et des concepts manipulés. Il s'agit du niveau d'adaptation le plus profond sur le système d'interaction.

La modification d'une composante sur un niveau d'abstraction affecte les niveaux d'abstraction inférieurs.

L'adaptation peut avoir lieu sur différents niveaux d'abstraction de l'IHM adaptative. Différents types d'adaptation existent.

### 1.1.4.2 Les types d'adaptation

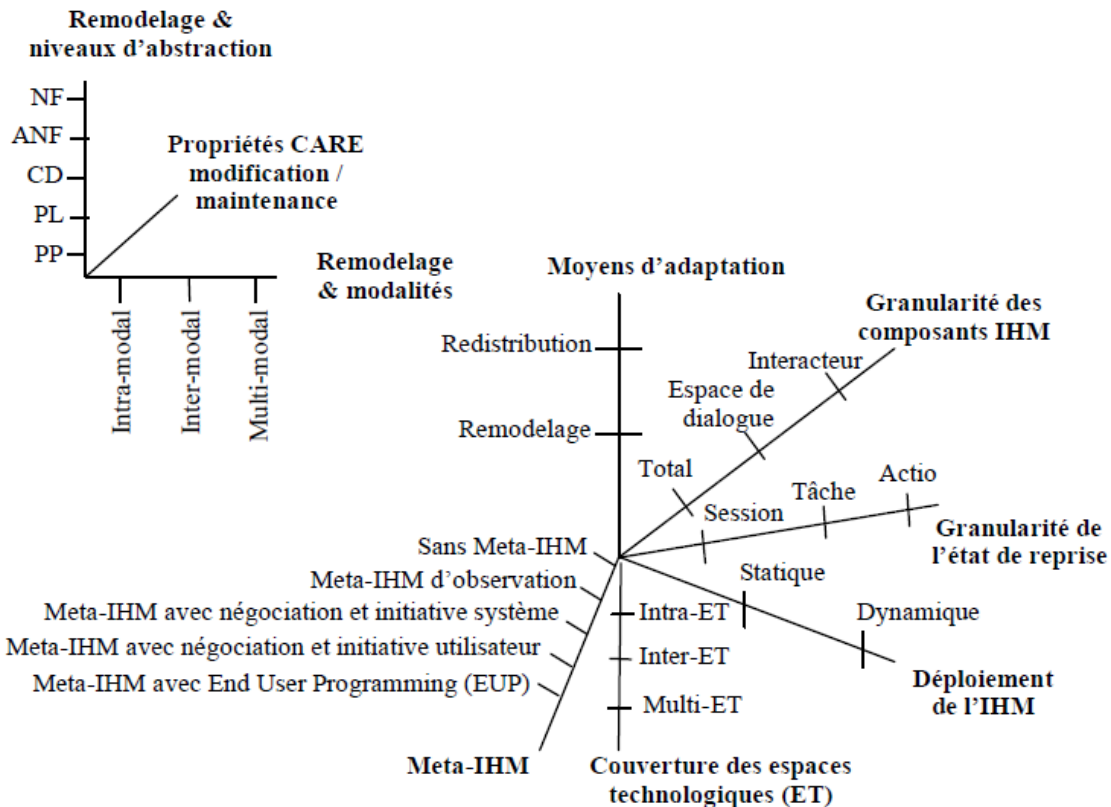


Figure 6. Espace problème pour la plasticité des IHM. Issue de Coutaz, Calvary, Demeure et Balme (2012)

La figure 6 présente les différents types d'adaptation. Dans le contexte de la plasticité, Calvary et Coutaz (2002) reconnaissent principalement deux types d'adaptation :

- Le remodelage :  
Ce type d'adaptation concerne l'interface et n'affecte pas les ressources d'interaction. (Coutaz et Calvary, 2012) :

- Suppression de certains composants de l’IHM jugés non pertinents par rapport au nouveau contexte d’usage.
  - Ajout des composants permettant l’accès à de nouvelles fonctionnalités, plus adaptées au contexte d’usage présent.
  - Substitution de nouveaux composants d’interaction plus adaptés au contexte.
  - Réorganisation des composants au niveau de leur position spatiale et/ou des dépendances temporelles.
- La redistribution : elle concerne la réallocation des composants de l’interface utilisateur à travers différentes plateformes et sur plusieurs niveaux de granularités.

Brusilovsky (2001) dans le domaine des hypermédias adaptatifs propose une taxonomie différente.

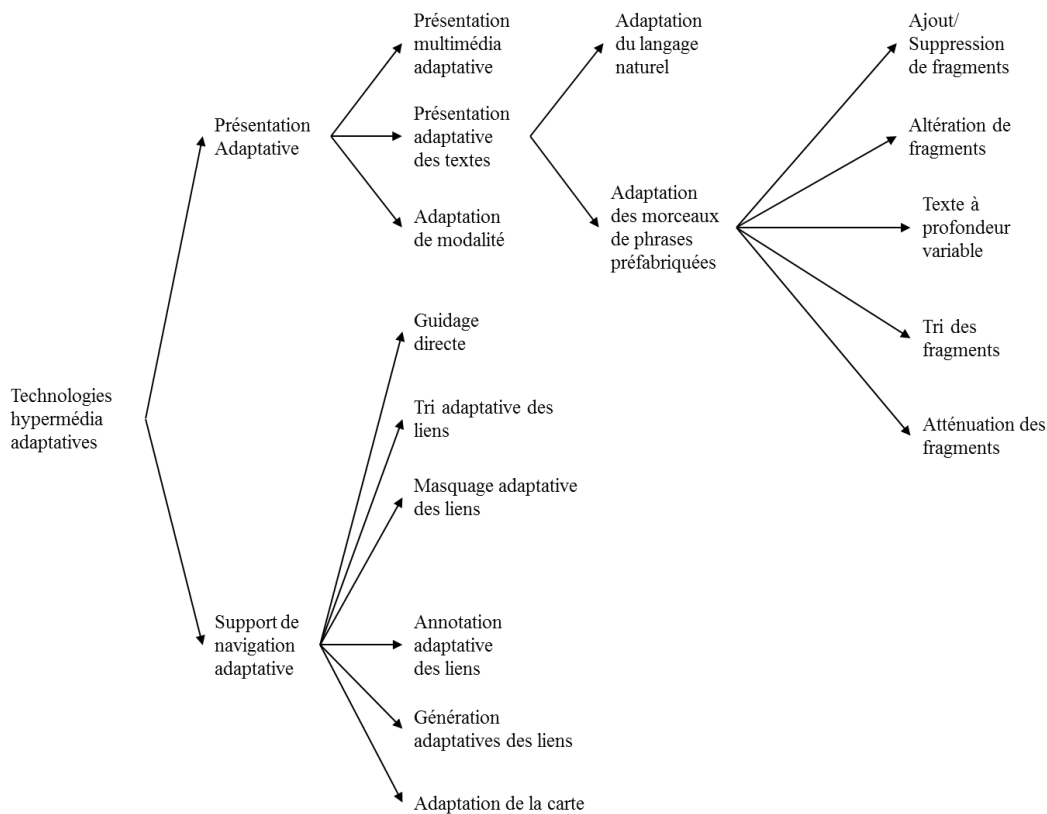


Figure 7. Taxonomies des technologies hypermédia adaptatives. Issue de Brusilovsky(2001)

Celui-ci divise le système en deux grands modes d’adaptativité : la présentation adaptative et le support de navigation adaptatif. Bien qu’il existe des similarités aux types d’adaptation précédemment cités, une des particularités ici est la place donnée à la navigation. Celle-ci s’explique par le fait que nous sommes face à un système hypermédia et donc présent sur le web. Cependant, ce modèle peut apporter des réflexions sur d’autres types de systèmes adaptatifs. La navigation et le guidage sont des problématiques d’ergonomie que l’on ne trouve



pas seulement dans les hypermédias : un lien sur le web peut être vu comme un bouton de menu dans un autre système.

Le terme de système adaptatif ou IHM adaptative pourrait donc s'appliquer à différents types d'IHM n'ayant pas nécessairement pour but l'adaptation par rapport à l'utilisateur courant. La mise en place de ce type d'adaptation requiert le concours de différents domaines tels que l'intelligence artificielle et les facteurs humains. Les possibilités d'adaptation sont nombreuses, mais la littérature permet de les catégoriser pour faciliter la réflexion.

Une autre manière de comprendre le travail nécessaire à l'implémentation d'une IHM est de comprendre l'architecture d'un tel système.

L'un des schémas généraux de systèmes adaptatifs à l'utilisateur que l'on retrouve dans la littérature a été proposé par Jameson (2002). Celui-ci permet de prendre les processus jugés nécessaires à la mise en place d'un système adaptatif.

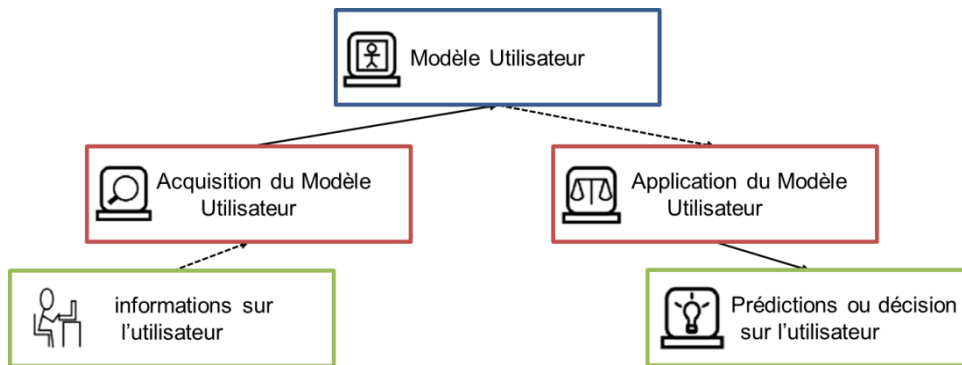


Figure 8. Schéma général d'un système adaptatif à l'utilisateur. Traduit d'Alshammari (2016)

Dans ce modèle, les éléments de couleurs vertes représentent des entrées ou sorties, les éléments en rouge représentent des processus de traitement et les éléments en bleu représentent l'information stockée. Les flèches en pointillés représentent l'utilisation de l'information tandis que les flèches pleines représentent la production de résultats.

De manière générale, un système adaptatif doit donc prendre en compte des informations sur l'utilisateur qui vont permettre de construire un modèle utilisateur de l'utilisateur courant. Ce modèle est créé au travers des processus d'apprentissage ou d'inférence qui permettront d'arriver à un modèle utilisateur limité aux informations pertinentes. Le modèle obtenu est ensuite appliqué par rapport à la situation en cours et permet au système de prédire ou décider du comportement le plus adapté à l'état de l'utilisateur.

L'intérêt du modèle proposé par Jameson (2009) est son approche générale qui permet de l'appliquer pour la description de différents types de système adaptatif. Il ne permet cependant pas une vision claire du rôle des facteurs humains dans la conception d'un tel système et se limite à l'intégration du modèle utilisateur.

En se basant sur différents modèles, dont celui de Jameson (1999), Rothrock et al. (2002) proposent un modèle général plus conséquent [Figure 9].



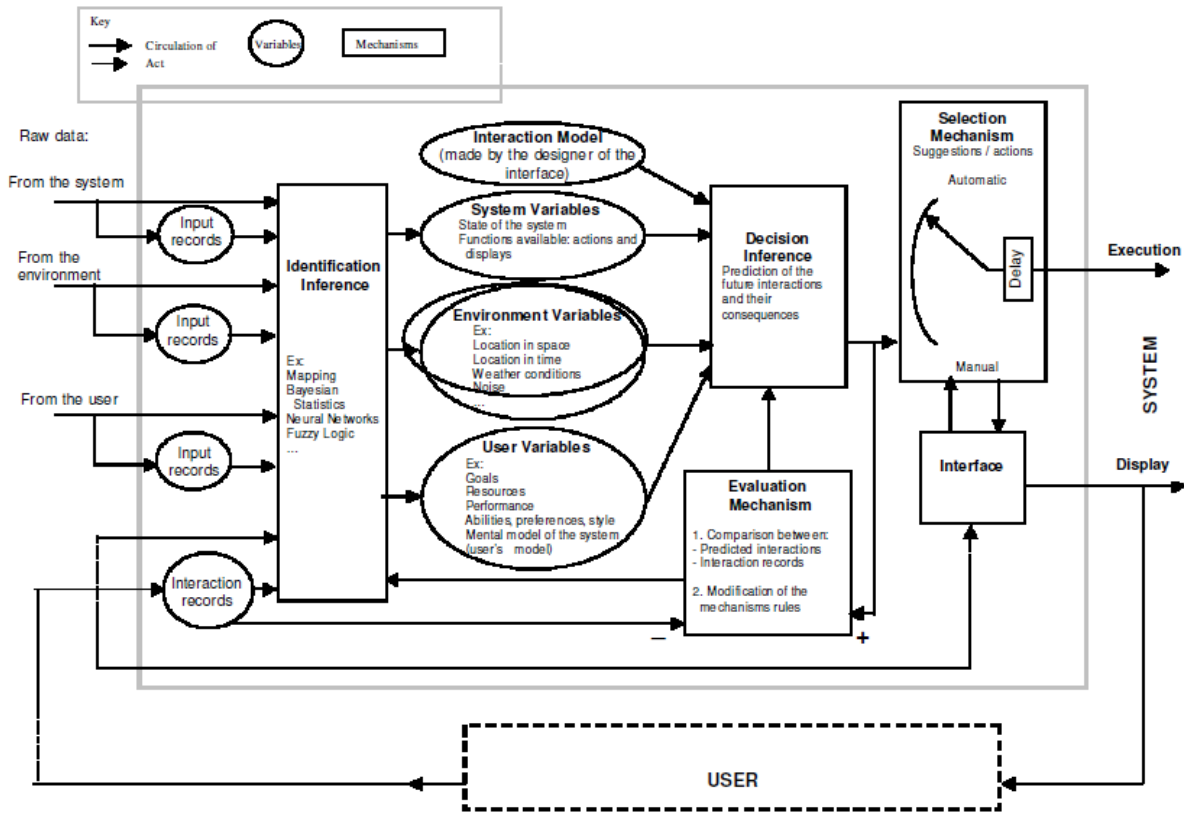
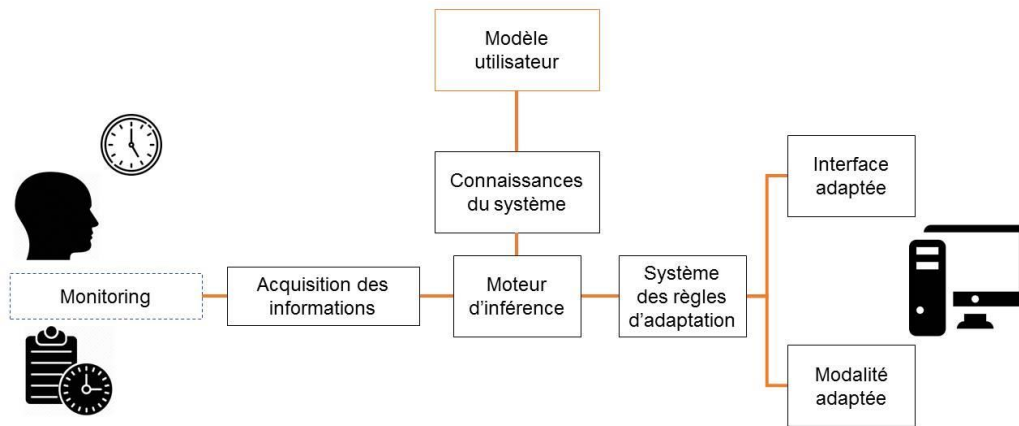


Figure 9. Modèle d'interface adaptative généralisé. Issue de Rothrock, Koubek, Fuchs, Haas et Salvendy (2002)

Le modèle de Rothrock et al. (2002) intègre les sources de données autres que celles issues de l'utilisateur. Il fait ainsi apparaître également des informations issues du système, de l'environnement, et de l'interaction de l'utilisateur avec le système. Une première couche d'Intelligence Artificielle permet d'identifier par inférence les données recueillies pour arriver à des variables catégorisées sur l'utilisateur, l'environnement, le système. En fonction des états des paramètres d'entrée et du modèle d'interaction intégré, le système peut alors décider d'inférer les futures actions, interactions et leurs conséquences. En anticipant, le système peut sélectionner les meilleures actions, qui seront alors mises en exécution.

C'est en prenant en compte les différents modèles dont les modèles généraux que nous avons défini le modèle simplifié suivant [Figure 11] nécessaire et suffisant adapté pour la suite de ce travail puisqu'il s'agit de prendre en compte les informations sur l'utilisateur au travers du monitoring. Si, dans notre cas, il s'agit de monitoring, c'est-à-dire de la prise en compte en temps réel de l'état de l'utilisateur, bien que cela ne soit pas la seule approche possible.



**Figure 11. Modèle simplifié d'une IHM adaptative.**

Pour connaître l'état de l'utilisateur, il faut savoir répondre à des questions telles que : quel état de l'utilisateur mesurer ? Comment le mesurer ?

Une fois la mesure réalisée, il faut être capable de la catégoriser en fonction des nécessités du système sur lequel le travail est effectué. Par conséquent, le système doit être capable de dire que telle ou telle mesure correspond à tel ou tel état.

L'inférence de l'état de l'utilisateur doit ensuite être liée à des règles d'adaptation sur les éléments de l'interaction.

Parmi les éléments composant une IHM adaptative, nous pouvons retenir la présence d'un système d'acquisition d'informations. Il s'agit de la partie de l'IHM que l'on peut rapprocher de la notion de *monitoring*, c'est-à-dire de la surveillance en temps réel de certaines caractéristiques de l'opérateur ou de l'environnement. Les données obtenues vont tendre vers un système d'inférence dont le rôle est de catégoriser l'utilisateur ou l'environnement par rapport à un modèle (des modèles) interne au système. Cette catégorisation permettra à la partie dédiée aux règles d'adaptation de déterminer quelle adaptation mettre en œuvre par rapport au contexte d'usage actuel.

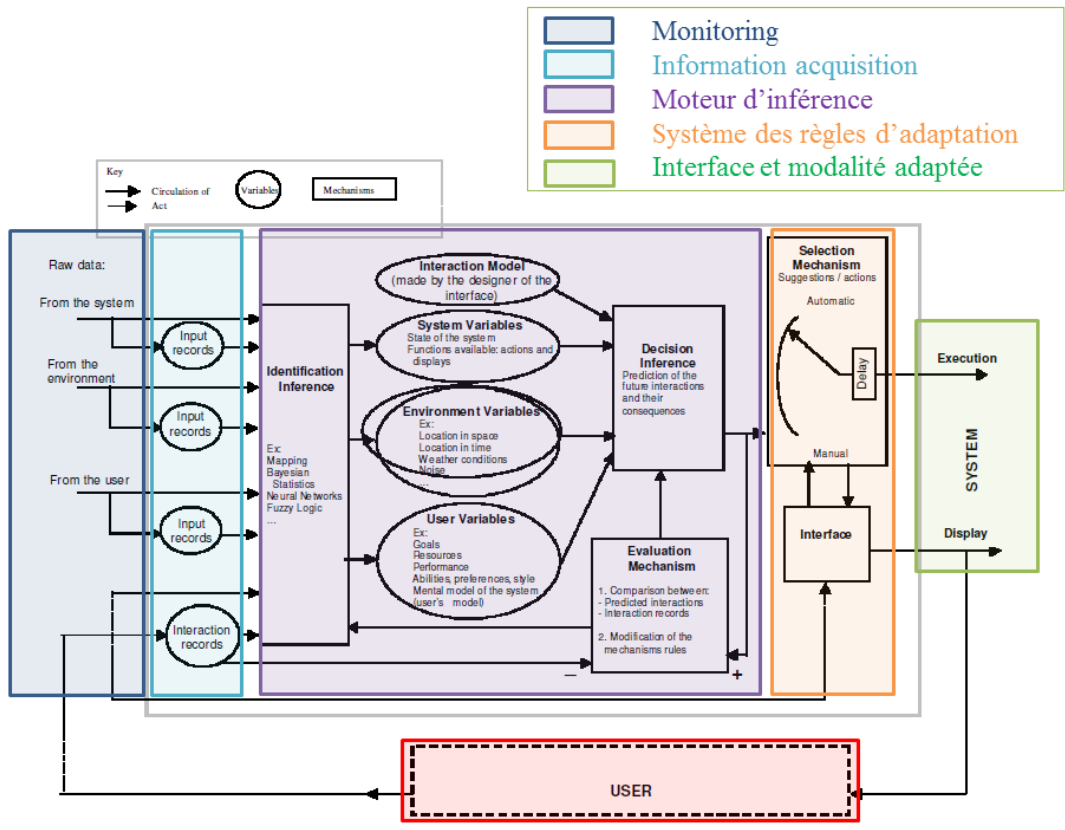


Figure 12. Simplification du modèle d'interface adaptative de Rothrock et al. (2002).

Le modèle de Rothrock et al. (2002), bien que centré sur l'utilisateur également, intègre tout de même d'autres sources de données telles que des informations sur les systèmes pour en inférer l'état, des informations sur l'environnement pour en inférer les paramètres et il différencie les informations en temps réel sur l'utilisateur et les informations issues de l'interaction de l'utilisateur avec le système [Figure 12]. Ce modèle fait également apparaître d'autres modèles en plus du modèle utilisateur, il intègre un modèle du système, un modèle de l'environnement et un modèle de l'interaction.

Tous ces modèles alimentent un moteur d'inférence qui a pour but de décider des actions à réaliser en anticipant les interactions futures. Un mécanisme prend le relais pour la sélection et l'exécution des actions et les effets sur l'interface.

Le modèle intègre également un système d'apprentissage qui permet de vérifier la différence entre l'action anticipée et l'action réelle dans le but de modifier en conséquence les règles d'adaptation.

### 1.1.5 La conception des IHMs adaptatives

La conception des IHM adaptatives à l'utilisateur courant demande une approche pluridisciplinaire et une mise en commun de connaissances issues de différents domaines tels que la psychologie, et en particulier les facteurs humains, mais également l'informatique avec

l'interaction Homme-Machine, ou l'intelligence artificielle (Alvarez-Cortes, Zayas-Perez, Zarate-Silva, et Uresti, 2007 ; Walse, Dharaskar, et Thakare, 2012). Certains ont conceptualisé les éléments à prendre en compte dans la conception d'une IHM adaptative. Ainsi, Miller (1999) explique que, pour concevoir une bonne interface adaptative, il faut commencer par identifier des buts utilisateurs dans une tâche et les informations requises par l'utilisateur pour atteindre son but. En fin de compte, chaque instance de l'interface adaptative devrait être confrontée à ces buts et aux objectifs de la tâche.

En d'autres termes, la conception d'une IHM adaptative devrait commencer par une analyse qui devrait conduire à la réalisation d'un modèle de tâche. Le modèle permettra de mettre en relation l'utilisateur, ses objectifs, ses actions et la tâche.

Pour prendre en compte l'utilisateur dans sa diversité cependant, il est également nécessaire de déterminer lesquelles de ses caractéristiques sont à considérer dans le contexte particulier de l'activité IHM. Ces caractéristiques peuvent inclure les buts de l'utilisateur, les informations requises pour atteindre ses objectifs, ses états émotionnels, ses capacités, ses préférences perceptuelles, etc (Hudlicka et McNeese, 2002). Cependant, elles vont dépendre du domaine de l'activité. Par exemple, Kim, Lee et Ryu (2013), en citant la littérature dans le cadre de la conception d'un outil d'apprentissage adaptatif, énoncent l'attitude de l'apprenant, ses objectifs pédagogiques, ses intérêts, son niveau de connaissance comme des paramètres critiques à la réalisation de systèmes adaptatifs dédiés proposant des contenus d'apprentissage personnalisés. Les cas d'applications des IHMs adaptatives sont variés. Cela inclut les systèmes d'aide à la décision, les systèmes de formations, les environnements de formation en réalité virtuelle, et les agents conversationnels.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la conception d'une IHM adaptative demande le concours de plusieurs domaines et intègre différentes grandes parties. Un des domaines dont les travaux sont importants pour la conception des IHMs adaptatives est celui du « *user modeling* ».

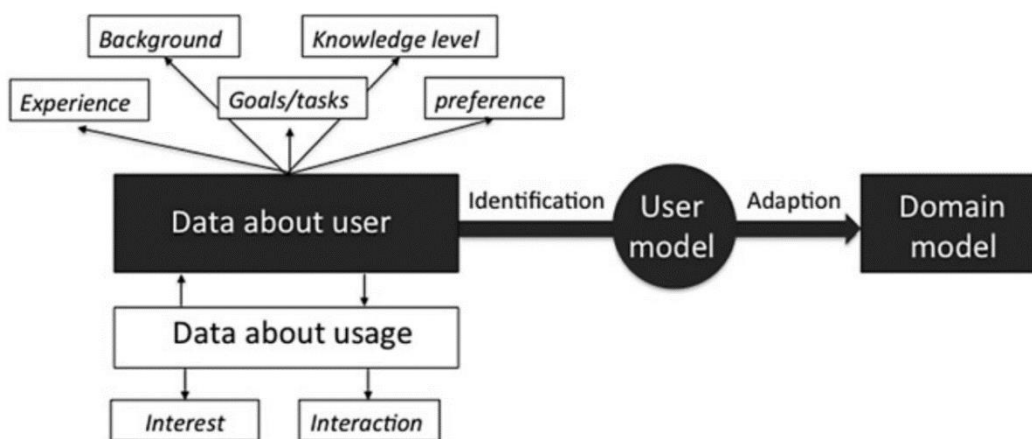


Figure 13. Modèle utilisateur pour un système e-learning adaptatif de Brusilovsky (2001). Issue de Kim, Lee, et Ryu (2013)

Kim, Lee, et Ryu (2013) proposent ainsi un modèle de l'utilisateur présenté auparavant par Brusilovsky (2001) pour les systèmes adaptatifs dans le domaine de l'apprentissage [Figure

13]. Ce modèle inclut comme éléments critiques à connaître sur l'utilisateur, les antécédents de l'apprenant, ses connaissances, ses buts/tâches, l'expérience d'apprentissage précédent, ses préférences, ses intérêts, et son style d'interaction.

Par exemple, dans le but de vérifier l'intérêt d'une prise en compte de la personnalité dans la conception de ce type de système, Kim, Lee, et Ryu (2013) ont réalisé une expérimentation pour déterminer le rôle de la personnalité dans les systèmes e-learning et proposer un nouveau modèle utilisateur.

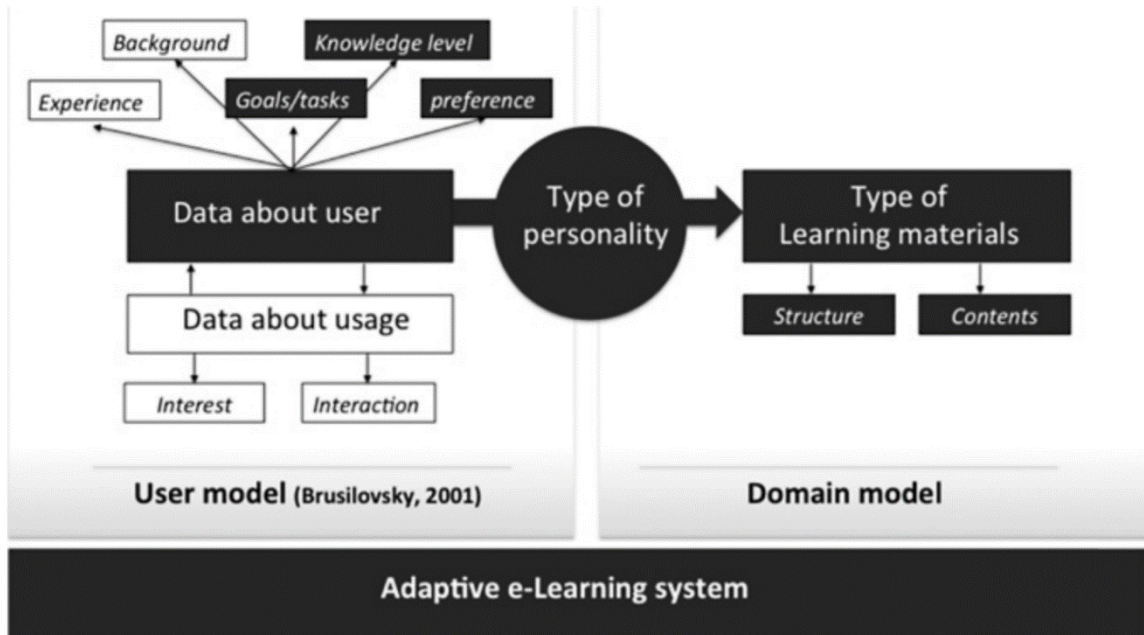


Figure 14. Modèle utilisateur pour un système e-learning adaptatif proposé par Kim, Lee, et Ryu (2013)

Les résultats ont permis de proposer un nouveau modèle [Figure 14] montrant que les traits de personnalité peuvent servir de médiation entre le modèle utilisateur et les instructions de conception.

Le modèle utilisateur est considéré comme un élément central à la conception des systèmes adaptatifs.

Dans le cas de notre étude, il faut tout d'abord déterminer les caractéristiques des paramètres que nous souhaitons prendre en compte dans le système adaptatif, et comprendre l'interaction entre ces caractéristiques et leurs influences sur la performance dans le but de produire un modèle utilisateur approprié.

## 1.2. L'effet de synchronie et la vigilance

### 1.2.1 Définitions de la vigilance

Pour l'institut national du sommeil et de la vigilance, la vigilance est « l'état de réactivité à l'environnement dans lequel on se trouve quand on est éveillé ». Cependant, dans la littérature scientifique, il existe plusieurs approches du terme « vigilance » (Boyer, 2009).



Figure 15. Résultat de la recherche de la définition du terme vigilance sur google.com

Une rapide recherche sur internet [Figure 15] permet de remarquer que la « vigilance » est dans le langage commun proche de la notion de surveillance attentive. En physiologie, elle correspondrait à l'état de réactivité de l'organisme.

C'est principalement ces deux visions que l'on va retrouver dans la littérature. Ainsi, dans le contexte ergonomique, il est courant de parler de « tâches de vigilance » qui vont concerner des activités de surveillance et peuvent également intégrer l'idée de réactivité de l'organisme.

Ce type de tâches est caractérisé par la détection, par l'opérateur, d'un signal à la fois aléatoire et rare, et donc peu prévisible.

Le niveau de vigilance dans ce contexte va être synonyme de l'activité du système nerveux, ou encore de l'éveil. Le degré le plus bas serait le sommeil. Les tâches dites « de vigilance », se rapprochent d'ailleurs des PVT (*Psychomotor Vigilance Task*, tâche de vigilance psychomotrice) qui permettent au travers du temps de réaction et du manque de réaction de l'individu face à un stimulus, dans une tâche d'attention soutenue, de mesurer la « vigilance », dans le sens de niveau de « réactivité de l'organisme » (Dinges et Powell, 1985).

Dans la littérature, nous retrouvons au moins 3 approches différentes de la « vigilance » dont les points communs restent néanmoins l'idée d'indépendance de la vigilance par rapport à l'activité cognitive et sa relation avec le rythme circadien.

Ainsi, dans certains cas, la notion de vigilance est associée à la notion d'attention. Dans d'autres cas, elle est associée à la notion d'*arousal*. Pour ce dernier, il s'agit essentiellement de contextes d'études sur les affects (l'humeur et les émotions notamment). Enfin, elle est parfois considérée



comme synonyme de l'éveil vigile, principalement dans le contexte des études sur la fatigue, le sommeil et les rythmes circadiens.

### 1.2.1.1 La vigilance comme composante de l'attention

Dans ce contexte, les phénomènes attentionnels sont alors considérés comme des phénomènes bidimensionnels intégrant la dimension de sélectivité et celle d'intensité.

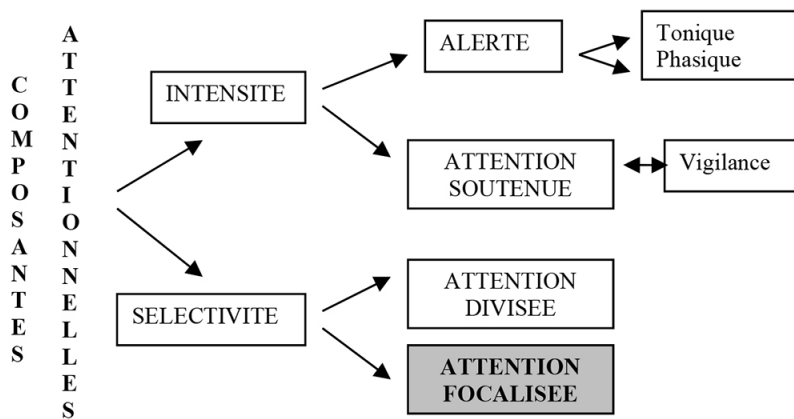


Figure 16. Illustration du modèle des composantes attentionnelles issue de Quistrebert-Davanne, Labat et Nizard, J. (2016)

L'intensité et la sélectivité sont également chacune bidimensionnelle. L'intensité est composée de deux dimensions que sont l'alerte et l'attention soutenue. Dans ce contexte, l'alerte est la capacité à répondre à des signaux sur des périodes plus ou moins longues et serait considérée comme un équivalent cognitif de la notion d'*arousal* (Debroise, 2010).

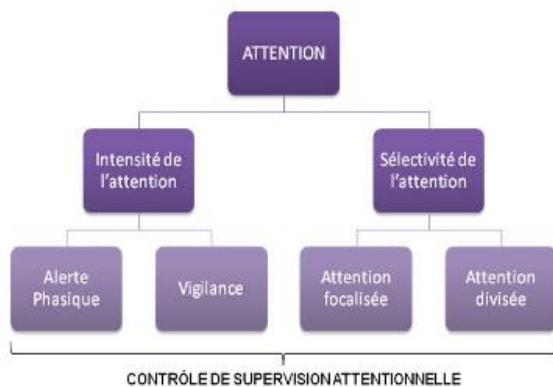


Figure 17. Le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994) issue de Dejonghe et Greco (2015)

L'*arousal* est alors un état d'activation physiologique, indépendant de toute activité cognitive. Tandis que l'alerte serait « un état de préparation à détecter et réagir à certains changements discrets apparaissant à des intervalles de temps variables au sein de l'environnement » (Debroise, 2010, p.35 ; Van Elslande, Jaffard, Fouquet, et Fournier, 2009, p.11).



Elle est à différencier de l'attention soutenue qui correspond au maintien d'un comportement sur la durée.

Ainsi, dans ce contexte, le terme de vigilance serait lié à l'attention soutenue, en tant que synonyme [Figure 17] ou partie de l'attention soutenue [Figure 16].

Et l'idée de « réactivité de l'organisme » serait plutôt intégrée à la notion d'« alerte ».

Nous pouvons citer Rochon (2011) qui concilie deux approches de la notion de vigilance, en précisant que la « vigilance » est un concept plus complexe que l'éveil avec un versant physiologique en relation avec l'activation du système nerveux central et un versant psychologique lié à la capacité à réaliser des tâches d'attention soutenue orientée vers la détection de signaux à faible probabilité d'occurrence.

### 1.2.1.2 Approches physiologiques de la vigilance

Dans cette approche, la notion de vigilance peut être définie comme le « degré d'activité des réseaux cortico-thalamiques sous-tendant l'état de conscience » (Hermitte, 2017). Il s'étend donc au-delà de l'éveil et se compose de 3 niveaux (Peter-Derex, 2016 ; Delannoy, 2016 ; Ramdani Beauvir, 2013) que sont :

- La veille ou l'éveil ;
- Le sommeil lent ou sommeil à ondes lentes (SOL) ;
- Et le sommeil paradoxal (SP).

Dans ce contexte, la vigilance n'est donc pas synonyme de l'état de veille et englobe différents aspects de l'état de conscience de l'individu. Pour expliquer la différence entre la notion de vigilance et l'état de veille, Hermitte (2017) donne l'exemple d'un individu dans le coma. Cette différence se ferait au niveau de l'accès à la conscience. La vigilance se rapprocherait de l'état de veille tout en ayant une variabilité sans lien direct avec cette dernière.

La vigilance est également définie comme « un changement de niveau de l'activité nerveuse, s'accompagnant de modifications comportementales » (Meite, 2009,p.103), renvoyant à « toute une variété d'états physiologiques et comportementaux caractérisés par un niveau d'excitation ou de mobilisation énergétique » Duffy (1962).

La vigilance est donc liée à l'activité cérébrale sans relation directe avec la notion de l'attention, les états de vigilance étant associés à différents tracés sur un EEG [Figure 17].

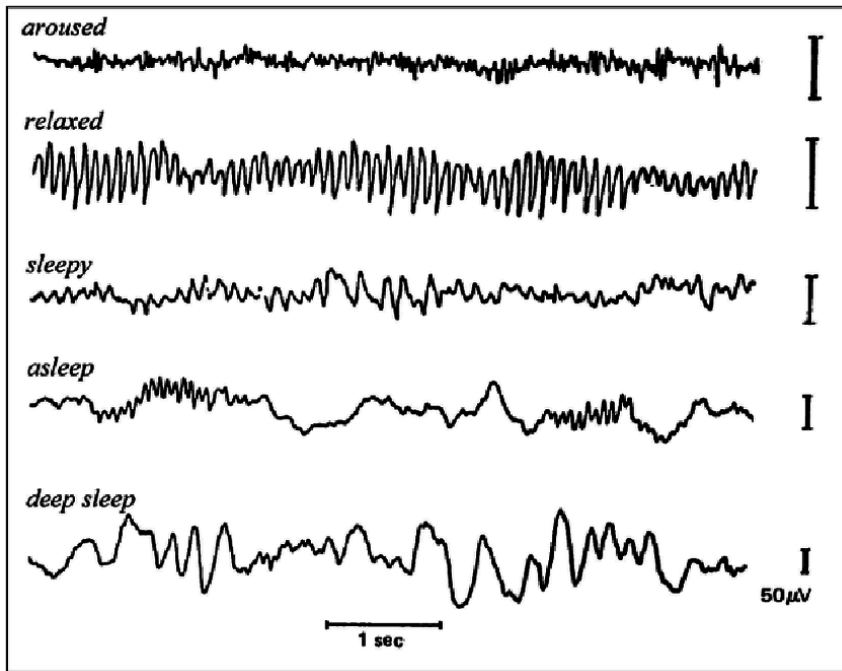


Figure 18. Tracés EEG pour différents états physiques. Issue de Yu (2007)

Les signaux EEG [Figure 18] montrent une variation de fréquence en fonction du niveau d'excitation, ou du niveau de vigilance. Ainsi plus le niveau de vigilance diminue et plus des variations se produisent allant des fréquences hautes (les ondes bêta et alpha) vers des fréquences plus basses (les ondes thêta et delta). Les états vont de l'état d'excitation à un état de sommeil profond.

### 1.2.1.3 Approche neurophysiologique

Du point de vue neurophysiologique, la vigilance est associée à la formation réticulée. Le « tonus cérébral », comme le nomme Bloch (1966) serait le résultat des stimulations intérieures et extérieures à l'individu, agissant sur le système réticulaire activateur ascendant [Figure 19].

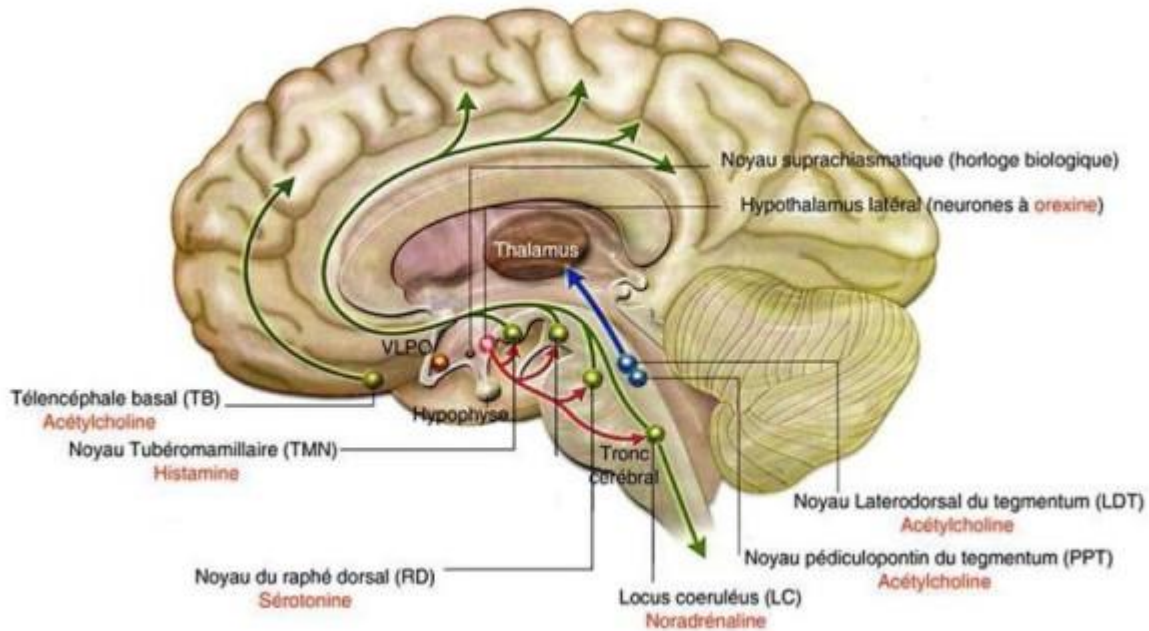


Figure 19. Quelques structures impliquées dans la gestion du cycle veille-sommeil. Issue de Inocente (2015).

Bloch (1996) explique notamment que la formation réticulée peut être considérée comme un véritable accumulateur d'énergie qui récupère les afférences sensorielles et sensitives. Cela expliquerait le comportement du niveau de vigilance face à un environnement monotone, par exemple, signifiant une réduction des influx sensoriels et, par conséquent, une baisse d'activation et une baisse de vigilance.

Les différents niveaux de vigilance seraient alors :

- L'hyperexcitation,
- La veille attentive,
- La veille diffuse,
- La somnolence,
- Le sommeil léger,
- Et le sommeil profond.

Le niveau de vigilance s'étendrait donc au-delà de la notion d'éveil, et serait le fruit de stimulations agissant sur une zone particulière du cerveau.

### 1.2.1.4 Le domaine d'étude des affects

Dans l'étude des affects en psychologie, plusieurs théories existent pour expliquer le fonctionnement des phénomènes affectifs et définir leurs compositions. Parmi celles-ci, les théories bidimensionnelles, faisant partie elles-mêmes des théories multidimensionnelles des émotions, expliquent que seules deux dimensions permettent de décrire les émotions. Les deux dimensions seraient le degré d'activation (*arousal*) et la valence émotionnelle (agréable ou désagréable). Elles sont notamment représentées par le modèle du circumplex [Figure 20].

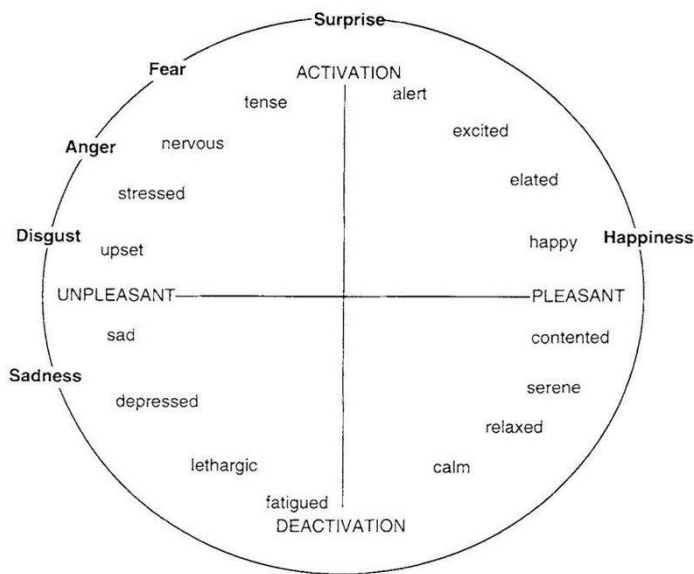


Figure 20. Modèle du circumplex de Lisa Feldman-Barrett et Russell (Feldman Barrett et Russell, 1998; Russell et Barrett, 1999)

Dans ses travaux sur l'humeur, Thayer propose une vision bidimensionnelle de l'activation elle-même, elle serait composée de la tension (*tense arousal*) et de la vigilance (*energetic arousal*) (Schimmack et Reisenzein, 2002). La vigilance est influencée par le rythme circadien et s'inscrit sur un continuum allant de la fatigue et la lassitude (*tiredness*) à un état énergétique (*energy*) et vigoureux. Tandis que la tension est associée à des sentiments allant d'un état de calme et tranquillité (*quietness*) à un état de tension et d'anxiété. Si le modèle de Thayer est parfois confondu avec l'approche de Russell (1980), et les notions de tension et de vigilance avec celles de la valence et de l'activation (Ciaramella et Vettigli, 2013), les deux approches ne sont pas similaires pour autant (Schimmack et Reisenzein, 2002). Il existe, en effet, dans le courant multidimensionnel plusieurs approches des émotions [Figure 21].

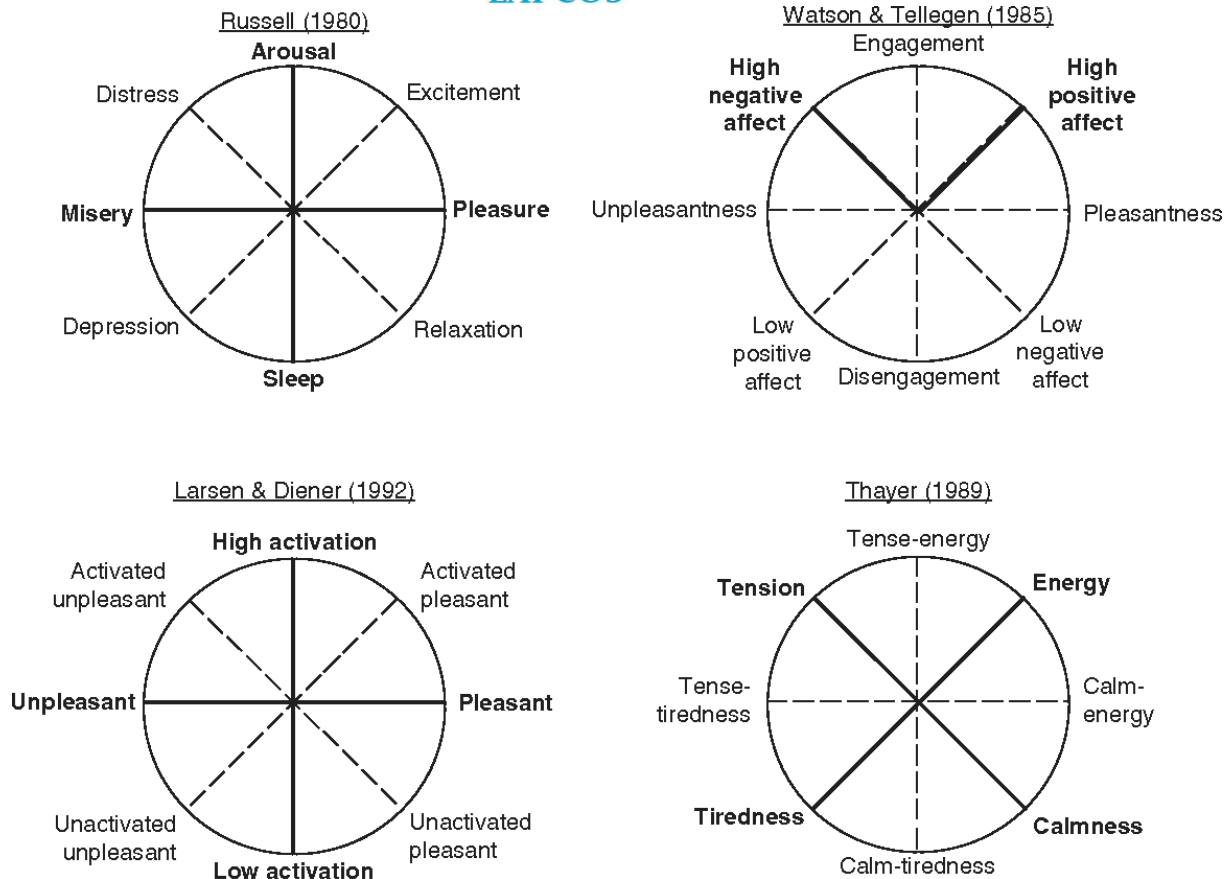


Figure 21. Différentes dimensions affectives placées sur le circumplex. Issue de From Barrett et Russell (1999)

L'approche de Thayer associe le terme « vigilance » à l'éveil vigile, influencé principalement par le rythme circadien et la fatigue (Galy et Gaudin, 2014). En se basant sur cette approche, Thayer (1989) va proposer un moyen de mesure du niveau de vigilance subjectif, l'échelle AD-ACL (*The Activation-Deactivation Adjective Check List*), qui permet également de faire apparaître le continuum des niveaux de vigilance et de tension [Figure 22].

Dans ce contexte, la notion de vigilance peut être définie comme « de l'état d'éveil vigile caractérisé au niveau psychologique par un niveau élevé de réceptivité par rapport aux stimulations de l'environnement ainsi que la capacité d'y répondre et, au niveau physiologique

par un niveau élevé d'activité nerveuse » (Spérando, 1984).

Actif(ve) ++ + ? 0	Somnolent(e) ++ + ? 0
Indifférent(e) ++ + ? 0	Inquiet(e) ++ + ? 0
Endormi(e) ++ + ? 0	« La pêche » ++ + ? 0
Mal à l'aise ++ + ? 0	Tranquille ++ + ? 0
Energique ++ + ? 0	Eveillé(e) ++ + ? 0
Calme ++ + ? 0	Enervé(e) ++ + ? 0
Fatigué(e) ++ + ? 0	Silencieux(se) ++ + ? 0
Dynamique ++ + ? 0	En forme ++ + ? 0
Détendu(e) ++ + ? 0	Tendu(e) ++ + ? 0
Attentif(ve) ++ + ? 0	Crispé(e) ++ + ? 0

- Eveil générale (Energy / General Activation)
- Atonie (Tiredness / Deactivation Sleep)
- Tension ( Tension / High Activation)
- Calme (Calm / General Deactivation)

Figure 22. L'échelle AC-ADL et le regroupement des adjectifs

L'échelle AC-ADL, aussi appelée l'échelle de Thayer [Figure 22], permet d'évaluer le niveau de vigilance et le niveau de tension sur un continuum des quatre dimensions du circumplex [Figure 18]. Le sujet doit indiquer son ressenti sur le moment pour chacun des adjectifs. Les adjectifs permettent ensuite de déterminer les niveaux subjectifs d'éveil général, d'atonie, de tension et de calme de l'individu.

1.2.2. Effets du niveau de vigilance sur la performance

**1.2.2.1 Le rythme circadien et le niveau de vigilance**

La vie des êtres vivants est régie par différents rythmes biologiques [Figure 23].

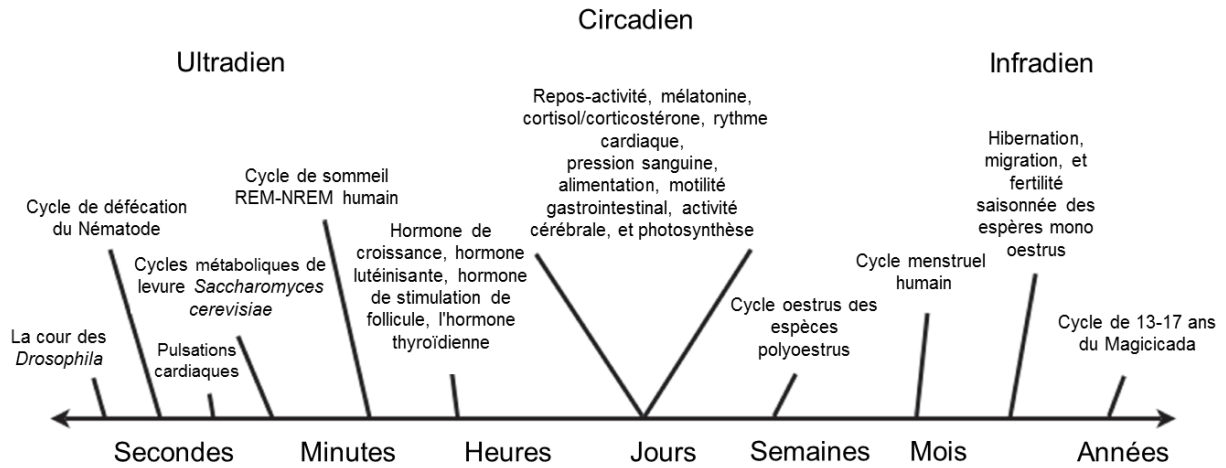


Figure 23.Échelle du temps de la rythmicité biologique avec exemples. Traduit de Lamont et Amir (2010)

Le rythme ultradien est un rythme court allant d’une fraction de seconde à plusieurs heures comme le rythme cardiaque. Le rythme circadien a une durée d’environ 24 heures comme son nom l’indique (*circa* : environ et *diem* : jour), et le rythme infradien est un rythme long qui s’étend au-delà de la durée d’une journée telle que le cycle menstruel.

Ces différents rythmes vont affecter les capacités cognitives et la performance. Par exemple, Testu (1979, 1989) et Beugnet-Lambert (1985) ont mis en évidence un rythme hebdomadaire de l’efficacité en situation scolaire, les meilleures performances étant situées en milieu de semaine, et le lundi étant le jour d’efficacité minimale (Leconte, 1988).

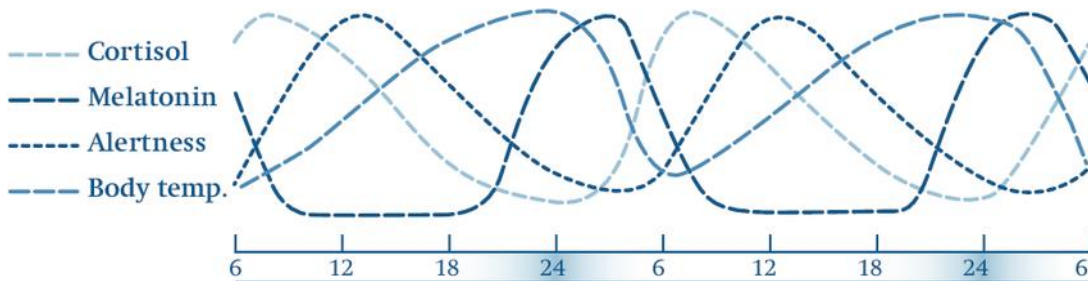


Figure 24.Rythmes circadiens typiques chez l'humain. Issue de Koch (2009)



Le rythme circadien affecte également différents processus, dont le niveau de vigilance, la température corporelle et la sécrétion de certaines hormones [Figure 24].

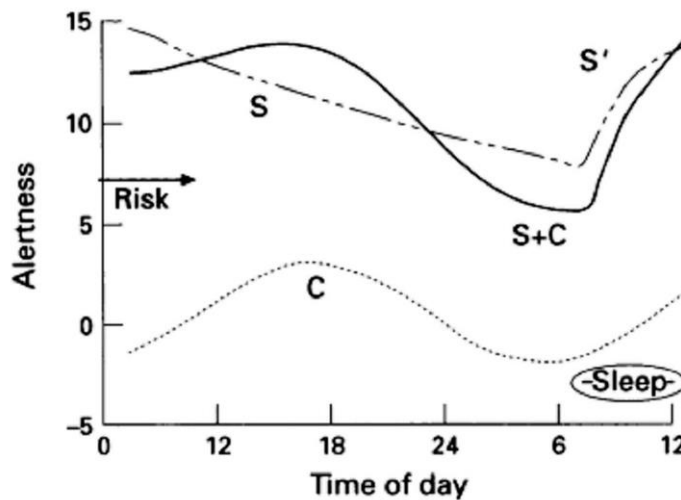


Figure 25. Variation du niveau de vigilance en fonction des différents processus. Issue de Åkerstedt et Folkard (1996).

Au cours du nyctémère, le niveau de vigilance varie en fonction de 3 processus (Åkerstedt et Folkard, 1995) :

- Le processus H, dit processus homéostatique. Il est lié à l'accumulation de fatigue depuis l'éveil. Il comporte un « réservoir » qui se vide tout le long de la journée et provoque une propension à l'endormissement. Ce réservoir se remplit durant la phase de sommeil. L'homéostasie se fait notamment au travers de la sécrétion de la mélatonine qui est elle-même liée au cycle lumière/ obscurité [Figure 25].

Dans une étude sur l'attention vigile et les effets des variations du niveau de vigilance sur la performance cognitive, Bermudez et al. (2016) définissent des périodes de la journée comme optimales et non optimales en fonction de la durée d'éveil. La période optimale se situerait 2 à 10 heures après le réveil et la période non optimale entre 20 et 28 heures après le réveil.

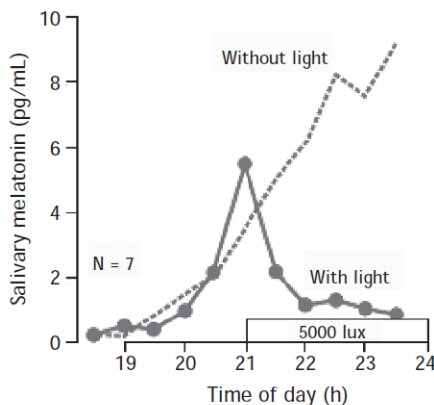


Figure 26. Effet de la lumière sur la sécrétion de la mélatonine. Issue de Haffen (2009)

- Le processus C ou processus circadien est lié aux influences du moment de la journée. Il a un rythme de 24h, d'où le terme « circadien ». Le rythme circadien affecte la physiologie

de l'individu dans son ensemble, du niveau génétique à l'expression des comportements complexes comme la performance. Il est principalement lié au moment de la journée. Son profil dépend du type de variables considérées (Galy et Gaudin, 2014).

Deux chutes de performance sont reconnues sur le nyctémère, la première vers 3-4 heures du matin et la seconde vers 13 heures (Folkard, 1981 ; Gadbois et Queinnee, 1984, Galy, 2013). La chute de 13h correspond au creux postprandial.

Dans le travail de nuit également, la littérature fait état des effets du moment de la journée. Reinberg et al. (2015) parle ainsi de « *black time* » pour expliquer que le risque d'accident devient plus grand à un certain moment de la nuit. Un effet similaire se retrouve dans les études sur la prise d'information dans un contexte de travail posté avec un minimum vers 4 h du matin et un maximum aux environs de 18-20 h (Galy, 2013).

- Le processus W ou inertie hypnique apparaît au moment du réveil. Il est caractérisé par une performance altérée et un état « groggy » qui peut durer d'une à 20 minutes après le réveil. Sa durée dépend des circonstances du réveil. Un réveil abrupt peut renforcer son effet. Cet état s'explique par le fait que le réveil est un processus graduel, qui inclut un désengagement graduel des processus du sommeil (Hilditch, Dorian, et Banks, 2016 ; Hilditch et al., 2015 ; Bruck et Pisani, 1999). Cet état apparaît après un long sommeil, mais également après une simple sieste (Hilditch, Dorrian, Centofanti, Van Dongen, et Banks, 2017). La déficience liée à ce phénomène s'accompagne d'un état de somnolence, de confusion et/ou de désorientation (Bruck et Pisani, 1999). Elle est liée à une tendance ascendante de la vigilance.

### 1.2.2.2 Modélisation du rythme circadien

Il existe plusieurs modèles biomathématiques tentant d'apporter une meilleure compréhension de l'évolution du niveau de vigilance au cours de la journée (Biomathematical Fatigue Models Guidance Document, 2014).

Parmi ces modèles, le plus connu est le modèle SAFTE (Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness), proposé par Hursh et al. (2004).

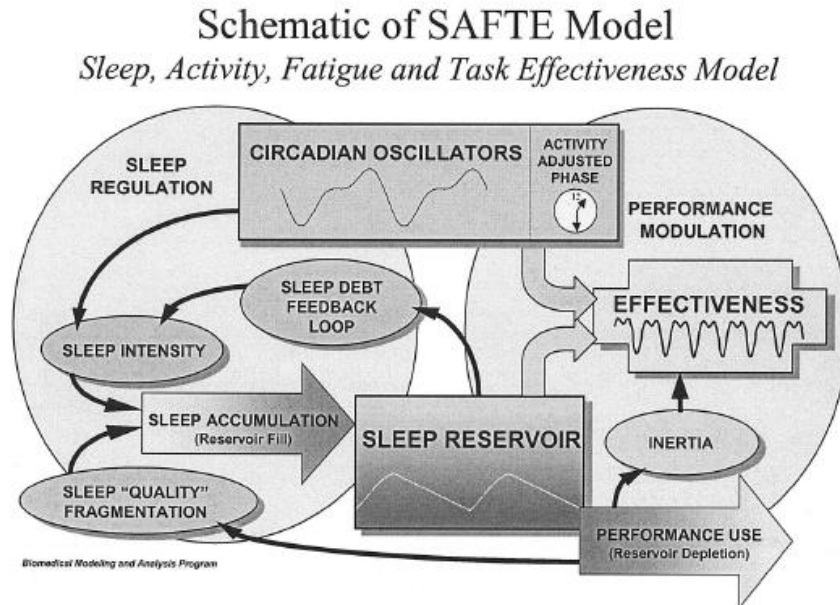


Figure 27. Le modèle SAFTE. Issue de Hursh et al. (2004)

Le modèle SAFTE a pour but la prédiction de l'efficacité et de la performance, principalement, pour les opérateurs militaires. Il se base sur des travaux sur la vigilance en chronobiologie menés par Hursh et al. (2004) auprès de l'armée américaine.

Il comprend les 3 processus, le processus C circadien, le processus H homéostatique, ainsi que l'inertie hypnique (Processus W).

Le processus central est le réservoir du sommeil qui peut s'apparenter au processus homéostatique. Ce processus dépend du sommeil et agit sur la performance durant la journée. Il se remplit durant le sommeil et se « vide » durant l'éveil.

Il se remplit au travers du processus de l'accumulation de sommeil qui selon ce modèle dépend de l'intensité et de la qualité du sommeil.

L'intensité du sommeil dépend elle-même du moment de la journée (processus circadien) et du niveau du réservoir du sommeil (dette de sommeil).

La qualité du sommeil dépend de la continuité et de la fragmentation du sommeil qui dépendent d'éléments extérieurs.

Lors de son utilisation, le modèle prend en compte certaines caractéristiques de l'activité ayant des effets sur le sommeil tels que les horaires du travail posté, l'exposition à la lumière, ou les effets du changement de zone horaire.

Les éléments manquants dans le modèle décrit et les modèles antérieurs sont les liens existants entre le niveau de vigilance et d'autres caractéristiques propres à l'activité, de même que les effets des mécanismes de compensations pouvant être mis en place par les opérateurs pour faire face à leur niveau de fatigue dû à la baisse du niveau de vigilance.

Le rythme circadien est lié à l'interaction entre des éléments exogènes tels que les *zeitgebers* (synchroniseurs) ou indices environnementaux, et des éléments endogènes tels que les horloges internes.

La lumière est le principal synchroniseur. Les centres d'horloge gérant entre autres la physiologie humaine se trouvent dans le noyau suprachiasmatique (NSC) qui est situé près des nerfs optiques, au sein de l'hypothalamus. À cet effet, l'œil des mammifères contient non seulement les cônes et les bâtonnets, mais également de la mélanopsine, un photopigment qui se retrouve dans les cellules ganglionnaires. Les signaux rétiniens sont transmis directement au NSC via les nerfs optiques, permettant de synchroniser les rythmes circadiens sur 24h.

**Setting the 24-hour circadian rhythm**

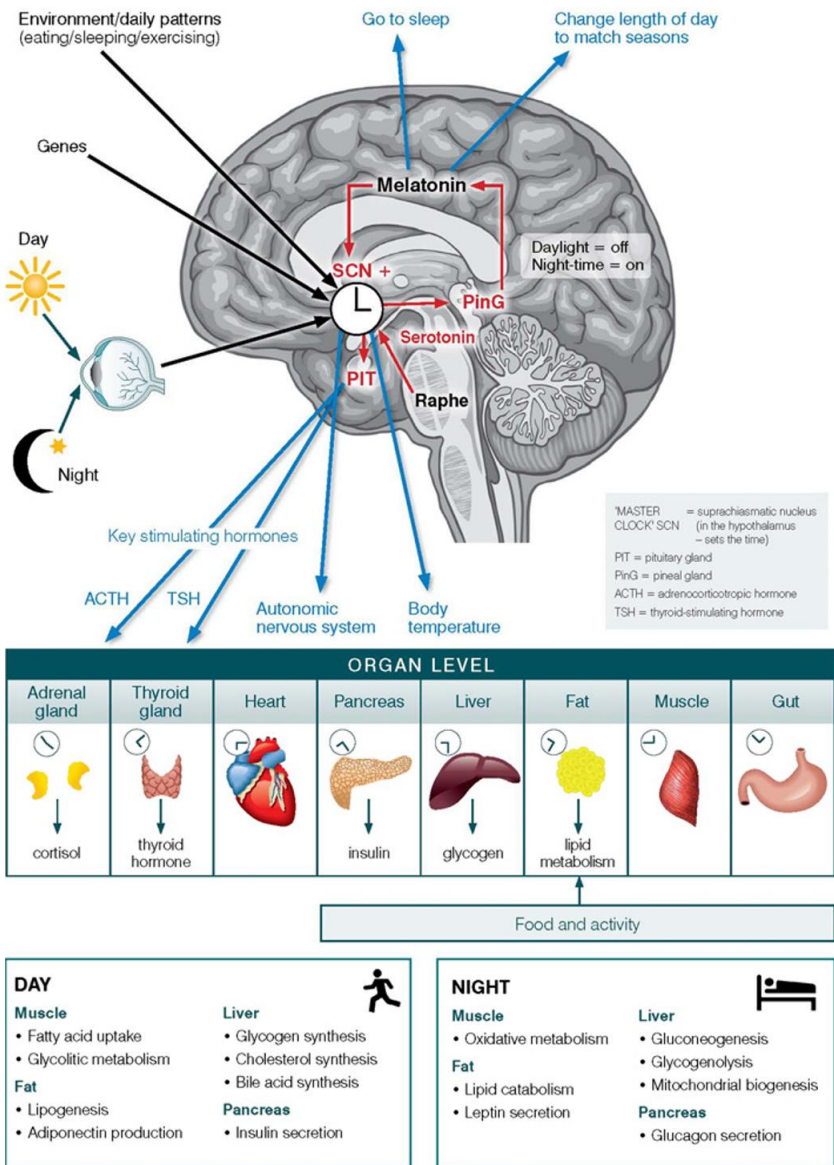


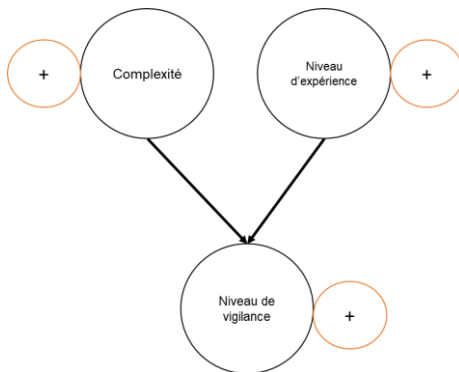
Figure 28. La principale horloge circadienne dans le cerveau humain. Issue de Hickie, Naismith, Robillard, Scott & Hermens (2013).

### 1.2.2.3 Niveau de vigilance et caractéristiques de la tâche

Durant la réalisation d'une tâche, l'évolution du niveau de vigilance est affectée par les caractéristiques de la tâche telles que le temps consacré à la tâche, le niveau de complexité de la tâche, et le type de processus cognitifs impliqués dans la réalisation de la tâche.

Pour le temps consacré à la tâche, communément appelée « *time-on-task* » dans la littérature anglophone, nous pouvons citer l'exemple du travail posté. Dans ce contexte, les postes de 12 heures sont associés à une fatigue accrue, des performances réduites, et des risques d'accident plus élevés particulièrement en fin de poste. Les effets des postes de 12 heures sont accentués lorsque la fin de poste est caractérisée par une activité plus intense ou monotone (MacDonald et Bendak, 2000). Au-delà de la durée de l'activité, le type de rotation affecte également la performance, les rotations rapides étant plus favorables que les rotations lentes, et les rotations « en avant » plus favorables que les rotations en arrière sur le niveau de vigilance, la fatigue et la qualité de sommeil (Galy, 2013).

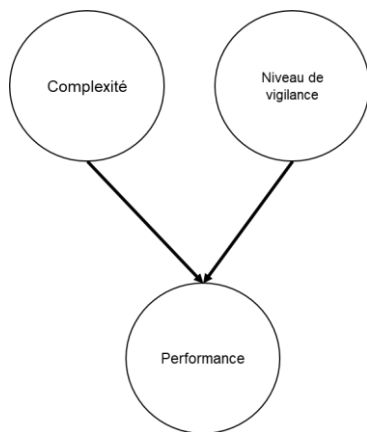
Le niveau de complexité ou de difficulté de la tâche affecte également l'évolution du niveau de vigilance et l'influence du niveau de vigilance sur la performance. Dans une étude sur la conduite automobile, Paxion (2014) remarque, en effet, que le niveau de vigilance est plus élevé après une situation très complexe pour les conducteurs expérimentés.



**Figure 29. Le niveau de vigilance est plus élevé après une situation très complexe pour les participants expérimentés.**

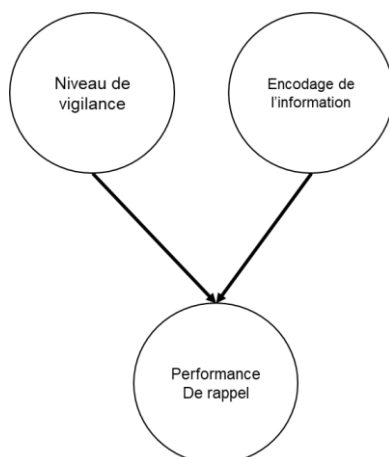
Ces effets de la complexité ou du niveau de difficulté [Figure 29] se retrouvent également dans les études sur les effets du moment de la journée, ou du moment de la journée et de la typologie circadienne. Par exemple, dans les tâches de discrimination, l'impact du moment de la journée sur la performance est important seulement lors des conditions de discrimination les plus difficiles (c.-à-d. peu d'écart entre les 2 items à discriminer). De même dans une tâche de temps de réaction, la performance est plus faible le matin tôt, avec un effet de la complexité et de la difficulté sur la manière dont le niveau de vigilance va affecter la performance (Galy, 2013 ; Maury et Quéinnec, 1992).





**Figure 30.** L'influence du niveau de vigilance sur la performance dépend du niveau de complexité.

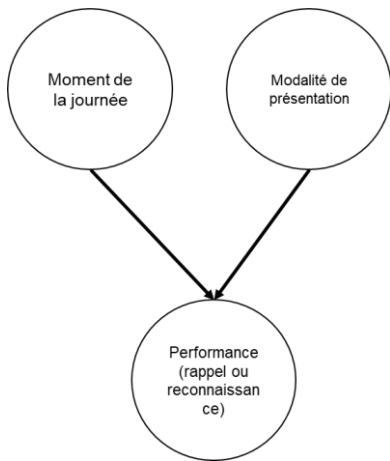
Enfin, les types de processus cognitifs impliqués dans la tâche modulent les effets du niveau de vigilance sur la performance. Dans une tâche de rappel, les performances de rappel de mots étaient plus élevées à 18h00 qu'à 2h00, mais seulement pour un encodage sémantique des mots. Lorsque l'encodage était centré sur les attributs physiques, l'effet observé était inverse (Galy, 2013).



**Figure 31.** L'influence du niveau de vigilance sur la performance de rappel dépend de l'encodage de l'information.

De la même façon, dans une tâche de mémorisation, les effets du moment de la journée étaient modulés par la modalité de présentation de l'information, visuelle ou auditive, et le type de tâches (rappel ou reconnaissance). Ainsi, pour les tâches de reconnaissance, les effets étaient présents seulement lorsque les items étaient présentés visuellement. Une explication proposée est celle du coût de traitement de l'information. En effet, le traitement visuel serait plus coûteux que le traitement auditif et par conséquent serait plus affecté par le niveau de vigilance (Galy, 2002). Cependant, une autre explication pourrait venir de l'influence de la mélanopsine sur le traitement visuel (Allen, Martial, et Lucas, 2019; Allen, Storchi, Martial, Bedford et Lucas, 2017).





**Figure 32. Effets de l'interaction entre le moment de la journée et la modalité de présentation sur la performance**

### 1.2.3. Différences individuelles et vigilance

Au-delà des variations individuelles du niveau de vigilance liées au moment de la journée, le comportement du niveau de vigilance varie également d'un individu à l'autre (Thayer, 1990, p.78). Le chronotype est souvent présenté comme une préférence individuelle sur les périodes d'activité dans une journée. Cependant, cette préférence peut être vue comme une manifestation de paramètres en partie génétiques propre à l'individu. Le chronotype est alors la différence qui survient dans l'interaction entre le rythme interne de l'individu et l'environnement extérieur (Shawa, Rae, et Roden, 2018). Les « *chronotypes* » ou « *typologies circadiennes* » permettent de distinguer trois types : « *matinaux* » ou « *lève-tôt* », les « *neutres* » ou « *intermédiaires* », les « *vespéraux* » ou « *couche-tard* » (Goubet, 2014). Les individus à la typologie circadienne « *du matin* » auront tendance à dormir plus tôt et se lever plus tôt, et à atteindre leur pic de performance mentale et physique le matin. Les individus « *du soir* » vont plutôt se coucher plus tard et se lever plus tard, leur pic de performance sera plutôt situé vers la fin de la journée. Les neutres sont plus flexibles. Les chronotypes sont déterminés principalement grâce à des questionnaires. Les matinaux et vespéraux peuvent être divisés en sous-groupes « *extrêmes* » et « *modérées* » (Martino, Pasetti et Ceolim, 2010). Les extrêmes étant les individus pour lesquels les effets associés à leur chronotype sont plus importants que les autres. Les différences entre les chronotypes apparaissent sur des paramètres biologiques comme l'évolution de la température du corps, la sécrétion de la mélatonine, et le niveau de vigilance, avec des acrophases et des nadirs décalés (Adan, Archer, Hidalgo, Di Milia, Natale et Randler, 2012).

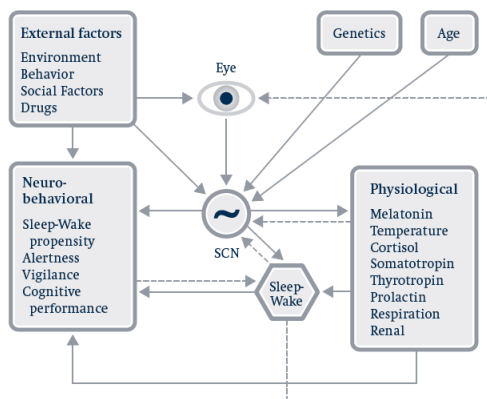


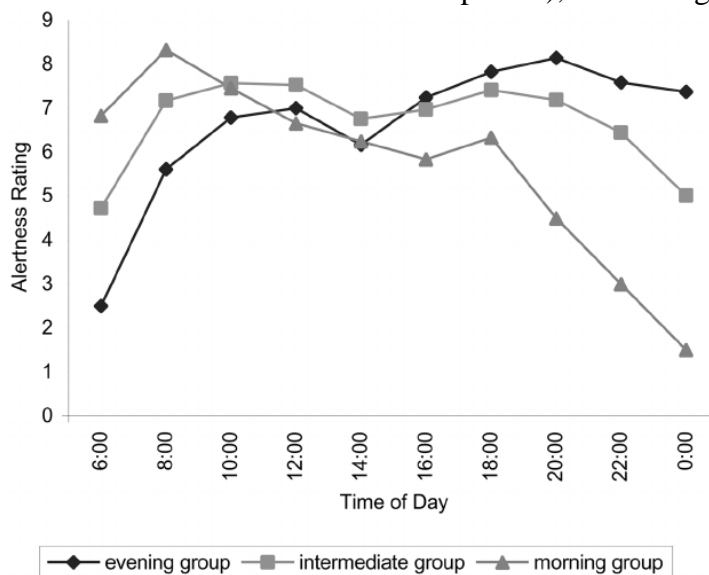
Figure 33. Différents facteurs impliqués dans le rythme circadien. Issue de Koch, Nagtegaal, Kerkhof, et Ter Wee (2009).

Les chronotypes ou typologies circadiennes sont des traits de l'individu présents au niveau génétique et dont les manifestations se retrouvent chez tous les mammifères (Barclay, Eley, Parsons, Willis, et Gregory, 2013). Le chronotype est également lié à l'âge et à des facteurs environnementaux. Ainsi, les jeunes auraient une tendance à être du matin, tendance qui évoluerait jusqu'à la puberté, alors la tendance tendrait vers un chronotype vespéral pour atteindre son maximum autour de 20 ans (Roenneberg et al., 2004) et évoluerait de nouveau vers une tendance du matin (Hasher, Goldstein, et May, 2005 ; May et al., 1993 ; Jankowski,

2015). Bien que relativement stable, le chronotype d'un individu peut varier sous certaines conditions, en fonction de son âge et de certaines caractéristiques du milieu, comme la photopériode (Rae et Roden, 2018). Certaines études font état d'une relation entre le chronotype et la personnalité. Kontrymowicz-Oginska (2012) fait le lien entre le chronotype et les traits de personnalité du Big Five : les étudiants aux chronotypes les plus extrêmes montreraient un haut niveau de névrosisme en comparaison aux modérés.

De façon générale, les différents chronotypes n'ont pas la même répartition dans la population. Barthe, Gadbois, Prunier-Poulmaire, et Quéinnec (2004) expliquent ainsi que les « matinaux et vespéraux vrais », c'est-à-dire « extrêmes » ne représentent qu'environ 5% de la population. Cette répartition varie cependant en fonction de la localisation, milieu urbain ou rural par exemple (Carvalho, Hidalgo et Levandovski, 2014).

Ainsi, le chronotype affecte le rythme du niveau de vigilance durant la journée (notamment par une variation des nadirs et acrophases), et est également lié à la durée du sommeil.



**Figure 34. Scores de niveau de vigilance en fonction du moment de la journée pour l'échelle composite de matinalité (composite scale of morningness, CSM). Issue de Diaz-Morales et Sanchez-Lopez (2005)**

Le rythme circadien dépend entre autres d'une interaction entre les horloges internes et un rythme externe, lié aux synchroniseurs tels que l'activité sociale ou la lumière. La relation entre les horloges et les synchroniseurs est appelée phase d'entraînement. Le chronotype est associé la différence de ces phases d'entraînement en fonction de l'individu (Roenneberg et Mellow, 2007 ; Lee, Rex, Nievergelt, Kelsoe, et Kripke, 2011). Bien qu'ayant une composante génétique, le chronotype est lui aussi lié à la force des synchroniseurs tels que la lumière. Ce qui produit les différences de répartitions de chronotypes en fonction de l'endroit, notamment la ville par rapport à la campagne (Roenneberg et Mellow, 2007 ; Lee et al., 2011).

Les études prenant en compte le chronotype font parfois apparaître des différences significatives dans les comportements entre les périodes optimales et non optimales de l'individu, on parle alors d'effet de synchronie.

#### 1.2.4. Effet de synchronie

La relation entre le chronotype et le rythme circadien est expliquée génétiquement jusqu'au niveau unicellulaire et commune à tous les mammifères. Le *jetlag* social ou décalage horaire social (DHS) provient d'un décalage entre le rythme interne et les rythmicités extérieures, propres aux synchroniseurs environnementaux (Wittmann, Dinich, Mellow, et Roenneberg, 2006).

De façon générale, il existe une tendance des individus à atteindre leur niveau optimal de performance cognitive lorsque la période de réalisation de la tâche coïncide avec la période d'acrophase. Le moment de la journée peut donc être optimal (acrophase) ou non optimal (anaphase). Ce lien entre les variations de performance et les moments optimaux ou non optimaux est appelé « effet de synchronie ».

##### 1.2.4.1 Effet de synchronie et performance

Tout comme pour les études prenant en considération seulement le moment de la journée, les effets de synchronie de la performance sont modérés par le niveau de difficulté de la tâche à réaliser (Pope, 2011). Par exemple, dans une tâche de temps de réaction facile, Ichi et Titlow (1986) ne trouvaient aucun effet du rythme circadien en faisant réaliser la tâche à différents moments de la journée (09h00, 12h00 et 15h00). Dans le contexte de l'éducation, McElroy et Mosteller (2006) montrent que les différences, dues au chronotype, sur la réussite en classe s'observaient principalement lorsque le niveau de difficulté du cours était élevé. Enfin Bennett, Petros, Johnson, et Ferraro (2008), dans une étude sur le fonctionnement cognitif, font état d'un effet de synchronie entre le moment de la journée et le chronotype seulement dans les tâches les plus complexes.

Ainsi, l'existence des effets de synchronie dépend du niveau de difficulté de la tâche. D'autres caractéristiques de la tâche telles que les modalités de présentation ont aussi des effets. Ainsi, Pope (2011) remarque que, pour les stimuli présentés visuellement, le matin, aucun des chronotypes n'avait d'avantage. Le soir, les individus à la typologie circadienne du matin étaient désavantagés. Pour les stimuli auditifs, les individus à la typologie circadienne du soir montraient un avantage le soir.

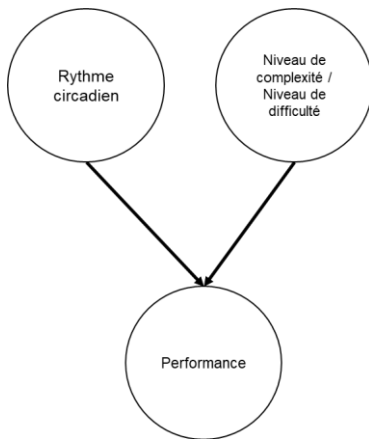


Figure 35. Relation entre le rythme circadien, le niveau de complexité et la performance.

Les effets de synchronie dépendent donc de la complexité de la tâche, des modalités de présentation, et n'affectent pas nécessairement tous les indicateurs de performance de la même manière. Pope (2011), par exemple, ne trouve pas d'effet de synchronie sur la vitesse de traitement de l'information.

Pour May (1999), les effets de synchronie affectent les tâches nécessitant des capacités d'inhibition. Dans le traitement d'information, l'inhibition aurait 3 fonctions (May, 1999) :

- En limitant l'accès à la mémoire de travail, elle permet l'activation soutenue vers les stimuli pertinents et nécessaires à la tâche en cours.
- Elle permet de mettre à jour les informations pertinentes, en permettant de supprimer les informations qui ne sont plus pertinentes par rapport aux objectifs présents.
- Elle permet d'empêcher la production des réponses « fortes ». Et, par conséquent, permet que les réponses produites soient d'abord évaluées afin de savoir si celles-ci sont appropriées. L'évaluation (*appraisal*) va à son tour permettre de rejeter les réponses fortes, mais non désirables.

En situation non optimale, ces 3 fonctions de l'inhibition seraient déficientes, par rapport au contexte optimal. Parmi les conséquences, nous pouvons citer celle de la susceptibilité plus élevée face à la distraction en période non optimale par rapport aux périodes optimales. Ainsi, dans les tâches d'amorçage négatif, c'est-à-dire lorsque l'on présente des stimuli qui devraient être ignorés, cet amorçage diminuerait significativement lorsque les participants sont testés en périodes non optimales par rapport aux périodes optimales.

Les effets de synchronie sur les capacités d'inhibition se traduisent également par une diminution des capacités de discrimination visuelle entre les cibles et les destructeurs en période non optimale, et une augmentation des effets de Stroop.

L'existence des effets de synchronie dépend donc de la modalité de présentation des stimuli, de la complexité de la tâche, et des processus impliqués dans sa réalisation.

## 1.3. La Performance en IHM

### 1.3.1. Charge mentale

La charge mentale est un concept qui est né de l'interaction entre l'environnement de travail et la tâche d'un côté et les capacités, la motivation et l'état de l'opérateur de l'autre. La principale difficulté dans la définition de la charge mentale apparaît dans sa différenciation avec des notions telles que l'effort et le stress. Ces différentes notions naissent de l'interaction entre des éléments internes à l'utilisateur et des contraintes intrinsèques à la tâche notamment.

Leplat (2002) définit l'effort comme la mise en correspondance par l'opérateur des contraintes de la tâche et des ressources dont il dispose. Il s'agirait du coût enduré par l'opérateur, reflétant la demande globale de ressources (Gaillard, 1993 ; Galy, 2016).

Le stress, quant à lui, serait une mise en correspondance entre les demandes externes, l'environnement et les réactions psychophysiologiques de l'opérateur (Luczack et Göbel, 2000 ; Galy et Gaudin, 2014). Ainsi, l'effort serait une conséquence du stress.

Dans la littérature, la grande proximité entre ces 3 notions rend difficile leur séparation. Certaines définitions du stress ou de la charge de travail peuvent s'interchanger et donner l'impression que l'on traite de différents aspects du même phénomène.

Cazabat, Barthe, et Cascino (2008) expliquent que cette proximité se retrouve même dans la façon d'étudier les deux notions. Par exemple, de la même façon qu'il existe l'idée de « coping » dans les études sur le stress, on retrouve la notion de « régulation de la charge de travail » dans les études sur la charge de travail.

La charge mentale va de pair avec l'activité. Elle est souvent décrite comme un construit ayant deux composantes, une composante affective qui se manifeste principalement dans des activités à forte charge émotionnelle et une composante cognitive qui est celle que l'on retrouve le plus fréquemment dans la littérature. Avec la charge physique, la charge mentale est une composante de la charge de travail, dont elle rassemble les aspects mentaux de l'activité non présents dans la charge physique.

Si la littérature s'accorde sur l'aspect multicomponentiel de la charge mentale, les éléments qui la composent peuvent varier. Par exemple, l'ANACT (Agence National pour l'Amélioration des Conditions de Travail) divise la charge de travail en charge de travail prescrite, charge de travail réelle et charge de travail ressentie. Dans cette approche centrée sur le salarié et non l'opérateur, la charge de travail serait due à une interaction entre l'environnement du salarié, les objectifs, la tâche théorique et le travail réel.

La différenciation des différents aspects de la charge est importante puisque Galy (2013), en citant Holden et al. (2011), explique que, sur les demandes mentales des tâches, seules les demandes externes seraient associées à des erreurs et à un niveau de stress important. Les demandes internes, quant à elles, favoriseraient l'exécution de la tâche et augmenteraient le

niveau d'éveil. Les effets des différents aspects de la charge peuvent donc être eux-mêmes différents.

Pour la suite, nous considérerons que la charge mentale de travail est un construit multidimensionnel lié à la notion d'activité, émergeant de l'interaction entre les exigences d'une tâche particulière et les ressources cognitives disponibles pour celles-ci à un temps  $t$ . Elle regroupe une dimension cognitive associée aux ressources allouées à la tâche et une dimension affective qui selon les auteurs peut être liée à l'anxiété, au stress (les deux étant eux-mêmes parfois confondus) ou à la notion de charge émotionnelle qui se manifeste dans certaines activités telles que chez les pompiers (Galy, 2013). Dans le contexte d'activité, nous parlerons de ressources dans un contexte plus généralisé, incluant les ressources humaines, pouvant agir sur la charge mentale de l'opérateur lorsque l'opérateur n'est pas isolé. Dans le cas précis où le terme « *ressource* » concerne la cognition, nous parlerons de ressources cognitives. De plus, nous considérerons que toute activité produit une charge mentale.

Comme pour le domaine de l'éducation et de l'apprentissage en général, la charge mentale sera aussi divisible en charge intrinsèque, charge extrinsèque et charge essentielle. En effet la théorie de la charge cognitive (*CLT pour Cognitive Load Theory*) considère que la charge cognitive intègre en réalité 3 types de charges par rapport à la tâche à réaliser. Il s'agit de la charge intrinsèque, la charge extrinsèque (inutile) et la charge pertinente (*germane*). La charge intrinsèque va dépendre de l'information à traiter, notamment de la quantité des éléments à traiter simultanément, le traitement simultané imposant une forte charge en mémoire de travail (MDT). La charge cognitive inutile vient des paramètres de l'apprentissage ne menant pas à l'acquisition et à l'automatisation des schémas. La charge cognitive pertinente, quant à elle, est utile à l'apprentissage. La CLT consiste à libérer des ressources au sein de la MDT en diminuant notamment la charge inutile afin de les consacrer à la charge pertinente aussi appelée charge essentielle.

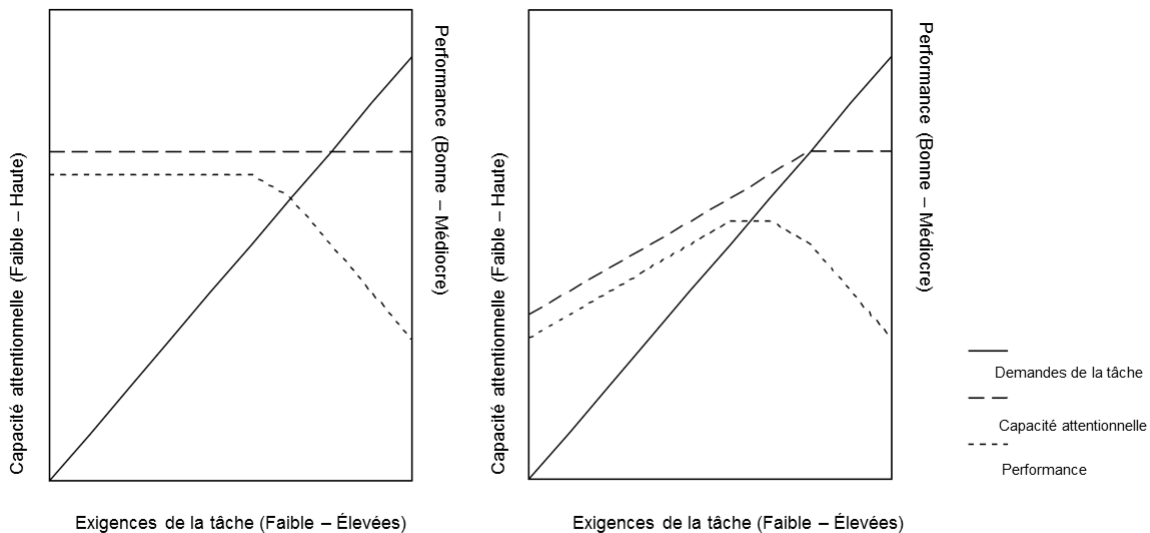
Appliquer cette division à la charge mentale, nous permet de prendre en compte les différents facteurs à l'origine de la charge mentale. La charge intrinsèque est alors la partie de la charge mentale qui est directement liée à la tâche, et la charge extrinsèque aux éléments de l'environnement de réalisation de l'activité, mais aussi aux éléments extérieurs à l'environnement de l'activité. En effet, l'état de l'opérateur hors travail peut avoir une influence sur sa charge mentale en contexte d'activité. L'idée sera donc de chercher à réduire la charge intrinsèque et la charge extrinsèque dans le but de favoriser la charge essentielle. Celle-ci n'apparaît que dans le cas où il existerait des ressources disponibles pouvant y être allouées. Elle permet à l'opérateur de mettre en place des stratégies de régulation en faisant appel à des représentations pour assurer une certaine performance. Elle se rapproche ainsi de la notion de compromis cognitif. En effet, l'opérateur, conscient de ses limites sur le plan des ressources cognitives, est capable d'allouer une certaine quantité de ressources cognitives dans le but d'atteindre un certain niveau de performance, mais aussi de s'adapter à la tâche (Galy, 2017).



### 1.3.1.2 Cas particulier de la sous-charge

La plupart des modèles permettant d'expliquer la charge mentale s'attardent sur la compréhension des cas de surcharge, mais peu sur les cas de sous-charge mentale. L'une des approches expliquant les effets de la sous-charge sur la performance est celle de la théorie des ressources attentionnelles malléables (*Malleable Attentional Resources Theory*) proposée par Young et Stanton (2002). Ces derniers expliquent que les capacités attentionnelles de l'individu diminuent pour s'adapter à la réduction de charge mentale, et que c'est cette diminution qui est à l'origine des effets de la sous-charge sur la performance. Les ressources ne seraient donc pas définies, mais s'adapteraient pour répondre à la demande, d'où la notion de « malléabilité ». Lorsque la demande est faible, comme dans le cas d'une situation monotone, les ressources attentionnelles s'accommoderaient en diminuant. Dans le contexte inverse, l'effort des opérateurs permettrait d'augmenter les ressources disponibles.

Des études montrent que, lorsqu'il est demandé de réagir de façon soudaine à un événement ou de reprendre la main sur un système, les opérateurs en situation de forte demande (et donc avec des capacités attentionnelles accrues) avant l'évènement réussiraient mieux que les opérateurs qui étaient auparavant en sous-charge. L'explication est que, si les ressources attentionnelles ont diminué pour s'adapter à la demande, une augmentation soudaine dans la demande ne pourrait être tenue par les opérateurs. Plus la demande de la tâche augmente et plus la performance serait améliorée lorsque l'individu est auparavant en sous-charge (Young et Stanton, 2002).



**Figure 36. Relation entre les demandes de la tâche et la performance dans le modèle des ressources attentionnelles fixes (gauche) et des ressources malléables (droite). Traduit de Young et Stanton (2002)**

Cette approche permet d'expliquer les effets de la sous-charge sur la performance, par une malléabilité des ressources attentionnelles notamment en situation monotone. Dans le domaine

des neurosciences, il existe un réseau neuronal qui permettrait également une compréhension du phénomène.

En effet, le « réseau du mode par défaut » est un groupe de régions du cerveau spécifiques dont l'activité, prédominante dans un contexte de repos, est atténuée durant les tâches demandant un effort cognitif incluant des informations externes (Greicius et al., 2008).

Ce réseau serait lié au réseau traitant de la mémoire épisodique et des connaissances sémantiques utiles à l'activité mentale générée de manière interne. L'activité du mode par défaut a été liée aux traitements automatiques de l'information (Vatansever, Menon, et Stamatakis, 2017). Il serait ainsi actif, en permettant l'équivalent d'un mode « automatique », lorsque nous faisons face à des contextes routiniers, prévisibles, pour lesquels il est nécessaire d'avoir une réaction rapide et effective...

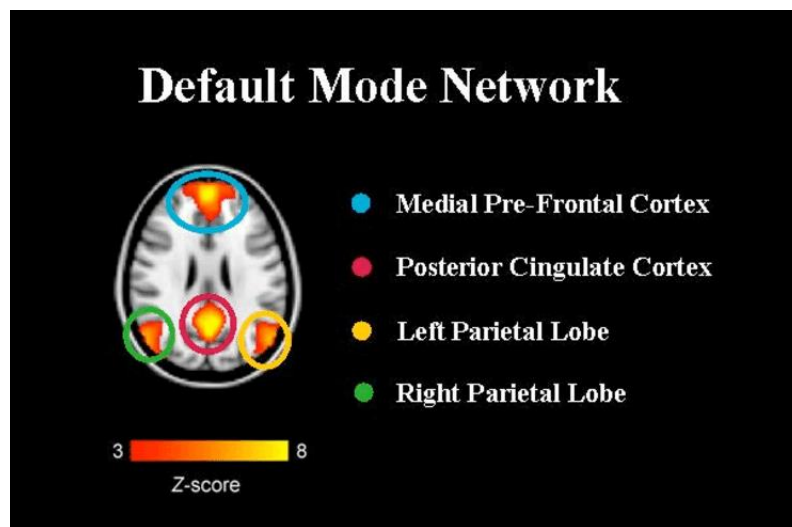


Figure 37. Les régions composant le réseau du mode par défaut (DMN). Issue de Baselli et al., (2015).

Lorsqu'il n'y a pas de tâches extérieures très demandeuses en ressources, ou durant les phases de repos, le mode par défaut montre une augmentation en activité neurologique. Le mode persiste lorsque l'activité n'est pas suffisamment difficile ou stimulante (Greicius et Menon, 2004). L'activité du réseau du mode par défaut s'interrompt lorsque l'individu doit s'atteler à une tâche demandeuse et intégrant des indices externes à l'individu. L'explication fournie par Greicius et Menon (2004) est que les processus cognitifs complexes nécessitent la réallocation des ressources neuronales depuis les régions du mode par défaut aux régions préfrontales latérales. Cette réallocation des ressources augmenterait avec la difficulté de la tâche à réaliser.

Toutes les tâches ne sont pas suffisamment engageantes pour permettre de sortir du mode par défaut. Dans une étude sur simulateur de conduite, par exemple, l'activité du réseau diminue, sauf lorsque les personnes doivent regarder de manière passive.

Dans certains cas, le mode par défaut est persistant durant l'activité. Cependant, Greicius et Menon (2004) trouvent que le degré où le mode par défaut était supprimé durant les tâches avec stimulus était positivement corrélé au niveau d'activation dans les cortex auditifs et visuels. En d'autres termes, plus le niveau d'activation dans les cortex auditifs et visuels est élevé et plus

le réseau du mode par défaut est désactivé. En effet, la réallocation des ressources depuis le réseau du mode par défaut dépend du niveau de difficulté de la tâche à réaliser (Mckiernan, Kaufman, Kucera-Thompson, et Binder, 2003). Le niveau de difficulté nécessaire à la sortie du mode par défaut peut être défini ainsi : « *Les tâches difficiles requièrent des participants de transformer des représentations internes pertinentes pour la performance de la tâche, de manière dissociée des entrées sensorielles actuelles. Ce qui contraste avec les tâches qui peuvent être réalisées sur la base des relations stimulus-réponses relativement directes* ».

Ainsi le réseau du mode par défaut est une piste intéressante qui permettrait d'expliquer et comprendre les situations de sous-charge. Conformément à son interaction avec les notions d'engagement, de difficulté de la tâche et de réallocation des ressources.

De même que la charge mentale est un concept important pour comprendre et prédire la performance en interaction homme-machine, il existe d'autres concepts importants tels que celui de la conscience de la situation.

### 1.3.2. Conscience de la situation

Traduite en français par « Conscience de la Situation », la *Situation Awareness* est une notion née dans le domaine de l'aviation militaire durant la Première Guerre mondiale (Stanton, Chambers, et Piggott, 2001). La popularité actuelle dans le domaine des Facteurs Humains vient principalement d'Endsley (1995a) qui définit la notion ainsi :

« *La conscience de la situation est la perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leurs états dans un futur proche.* »

La notion de conscience de la situation s'inscrit dans la lignée de travaux antérieurs tentant d'expliquer les processus permettant à l'individu d'agir sur son environnement. Il est nécessaire de rappeler une partie de l'historique et du cadre dans lequel s'inscrivent les modèles de conscience de la situation.

#### 1.3.2.1 Traitement de l'information et action

Gibson (1977) s'est intéressé principalement à la perception visuelle : comment un opérateur voit, reconnaît ce qu'il voit et agit sur ce qu'il voit. Il oppose deux visions, celle des « connaissances dans la tête » et celle des « connaissances dans l'environnement », et s'est concentré sur les connaissances dans l'environnement. C'est dans ce cadre qu'il va créer la notion d'affordance, qui est « *une propriété de l'environnement qui permet des possibilités d'action aux organismes équipés de manière appropriée* ». L'affordance va permettre de faire le lien entre l'environnement, l'activité et l'individu agent. La vision de Gibson va donner naissance à l'écologie de la perception qui est un courant de la psychologie écologique.

La notion d'affordance sera reprise par Norman (1998), avec une différence notable à la vision écologique. En effet, l'approche de Gibson (1977) intègre l'idée que l'affordance est indépendante de l'expérience de l'individu, de ses connaissances ou de ses capacités de

perception (Chen, Qian, et Lei, 2016, June). Norman (1998) propose un modèle de l'action en deux phases, une phase d'évaluation des informations issues de l'environnement qui est plutôt cognitive et une phase d'exécution associée à l'action. L'évaluation débute avec la perception de l'environnement, l'information perçue est ensuite interprétée par rapport aux attentes et comparée par rapport aux intentions d'action et aux buts. La phase d'évaluation de l'environnement intègre donc la perception, l'interprétation et l'évaluation.

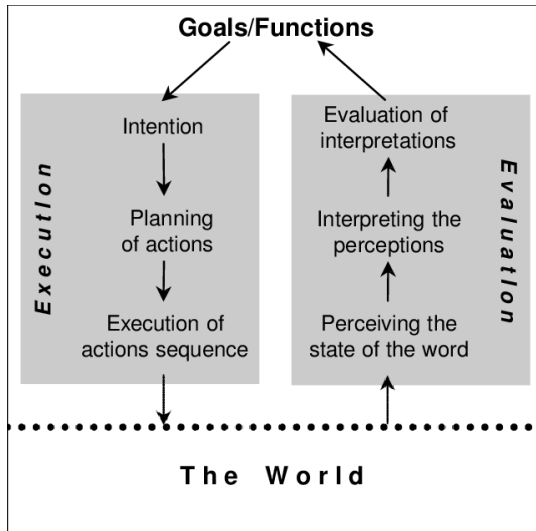


Figure 38. Modèle de la théorie l'action. Issue de Norman (1998).

Un autre modèle important dans le domaine des facteurs humains est celui de Rasmussen (1986). Rasmussen (1986) propose un modèle qui intègre trois niveaux d'activité cognitive, en fonction des tâches à effectuer qui requièrent des traitements plus ou moins automatisés. Au niveau où les comportements sont basés sur les habiletés, qui concernent les activités routinières, l'opérateur met en place un processus automatique ne nécessitant qu'une perception de la situation qui amènera à la production d'une réponse sensorimotrice automatique. Les comportements basés sur les règles nécessitent comme son nom l'indique de faire appel à des règles ou des procédures connues. L'opérateur doit alors reconnaître dans la tâche à réaliser un aspect connu, réaliser une association entre l'état et la tâche avec ce qui est connu pour utiliser des règles stockées en mémoire. Le dernier niveau, celui des comportements basés sur les connaissances est utilisé lorsque l'opérateur fait face à une situation nouvelle. Il est alors nécessaire de faire appel à des processus de haut niveau, de résolution de problème.

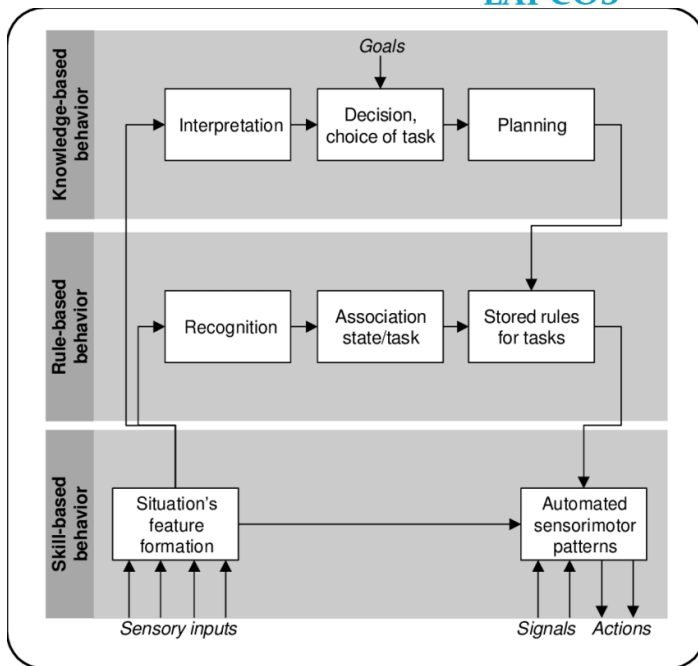


Figure 39. Modèle de Rasmussen (1986). Issue de Marmaras et Kontogiannis (2001)

Le modèle de Rasmussen (1986) montre différents niveaux de traitement d'une tâche qui dépend entre autres du niveau d'expérience de l'opérateur dans la tâche en cours. Si les deux derniers modèles se centrent sur le traitement d'information en activité, il existe également des modèles génériques expliquant le traitement de l'information du point de vue de la psychologie cognitive. C'est le cas du modèle de Wickens (1992).

Dans le modèle du traitement d'information de Wickens (1992), les informations (ou événements) sont d'abord traités par les systèmes sensoriels. Une signification est donnée à l'information après une comparaison avec les informations contenues dans la mémoire à long terme, ce qui donne lieu à la perception. Il est alors possible de répondre directement à l'information perçue par un processus de sélection d'actions. La mémoire de travail permet de stocker l'information le temps de son traitement.

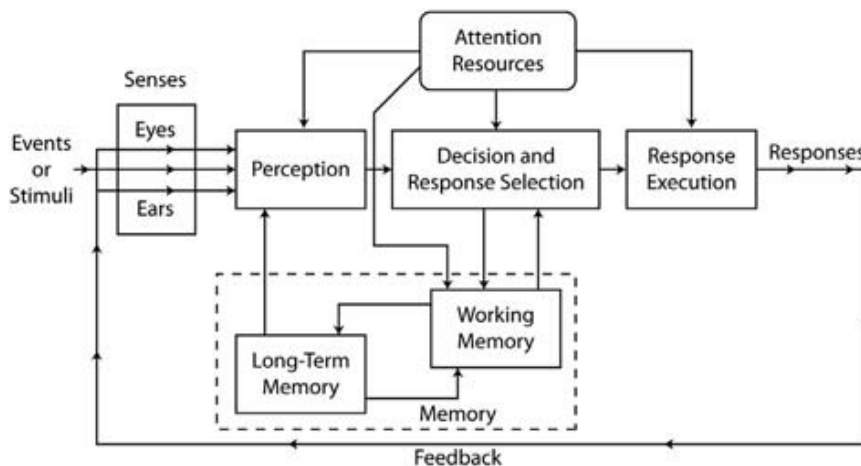


Figure 40. Modèle du traitement d'information de Wickens (1992)

Tous ces modèles expliquent le traitement de l'information en partant des stimuli extérieurs jusqu'aux réponses produites. Les premiers centrés sur l'activité vont mettre en avant la notion de but, qui va guider la décision et le choix des actions à réaliser.

Dans tous ces modèles, nous retrouvons le même cheminement des types de processus cognitifs impliqués. En premier lieu la perception, suivie d'une phase d'évaluation de l'information perçue et finalement la production des réponses. Les différents modèles et visions du traitement de l'information pour agir sur l'environnement vont influencer les modèles de conscience de la situation.

### 1.3.2.2 Les modèles de la conscience de la situation

Il est difficile d'obtenir une définition claire et acceptée de tous, de ce qu'est la conscience de la situation. Le modèle le plus accepté reste cependant celui d'Endsley (Stanners et French, 2005). Dans une étude de revue de littérature sur la conscience de la situation, Stanton et al. (2017) comptabilisent au moins 8 modèles de la conscience de la situation et les définitions associées.

Tableau 2. Théories de la conscience de la situation pour un individu, issue de Stanton et al. (2017).

Définition	Author	Theoretical Underpinning	Origin	Google Scholar Citation
<i>Perception of elements, comprehension of meaning and projection of future status</i>	Endsley (1988)	Three-level model	Started with aviation, later spread to other domains	2253
<i>Situation awareness is based on the integration of knowledge resulting from recurrent situation assessments.</i>	Sarter et Woods (1991)	Working memory, mental models, situation assessment awareness	Aviation	273
<i>SA is the pre-requisite state of knowledge for making adaptive decisions in situations involving uncertainty, i.e. a veridical model of reality.</i>	Taylor (1990)	Theories of attention and cognition	Military, air traffic control and nuclear power	272
<i>Situation awareness is adaptive, externally-directed consciousness that has its products knowledge about a dynamic task environment and directed action within that environment.</i>	Smith et Hancock (1995)	Perceptual cycle model	Air traffic control	204
<i>The conscious dynamic reflection on the situation by an individual, providing dynamic orientation to the situation and an opportunity to reflect on the past,</i>	Bedny and Meister (1999)	Theory of activity	Training, Information Systems and HCI	159



<i>present and future and potential features of the situation.</i>				
<i>SA contributed to good performance; it is not synonymous with it. It is possible to have good SA but still not be a good pilot because of poor motor skills, coordination or attitude problems. Conversely, under automated flight conditions it is possible to have good performance with minimal SA.</i>	Adams, Tenney et Pew (1995)	Perceptual cycle model, working memory	Aviation	33
<i>"...an abstraction that exists within our minds, describing phenomena that we observe in humans performing work in a rich and usually dynamic environment."</i>	Billings (1995)	Information processing theory	Aviation	31
<i>Situation awareness is knowledge of current and near term disposition of both enemy and friendly forces within a volume of airspace.</i>	Hamilton (1987)	Three-level model	Military airspace	6

Parmi ces modèles, les plus connus incluant celui d’Endsley (1988) sont au nombre de 3. Les autres modèles sont le modèle de Smith et Hancock (1995), et celui de Bedny et Meister (1999).

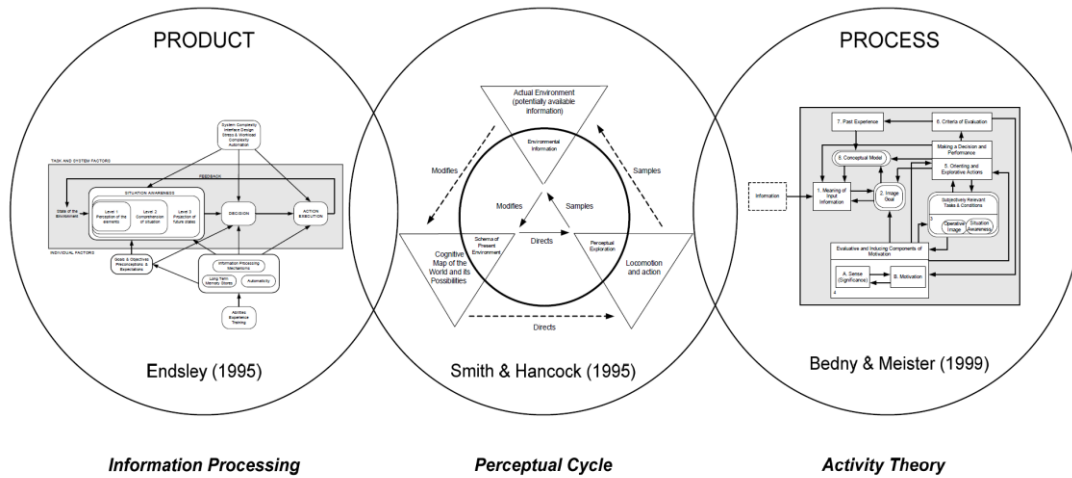


Figure 41. Les théories de conscience de la situation. Issue de Salmon et al. (2009)



1.3.2.2.1 Le modèle de Smith et Hancock (1995)

Le modèle de Smith et Hancock (1995) est issu du courant de la psychologie écologique. Il s'inspire du cycle perceptuel de Neisser (1976) et prend une approche holistique de la conscience de la situation (Salmon et al., 2007).

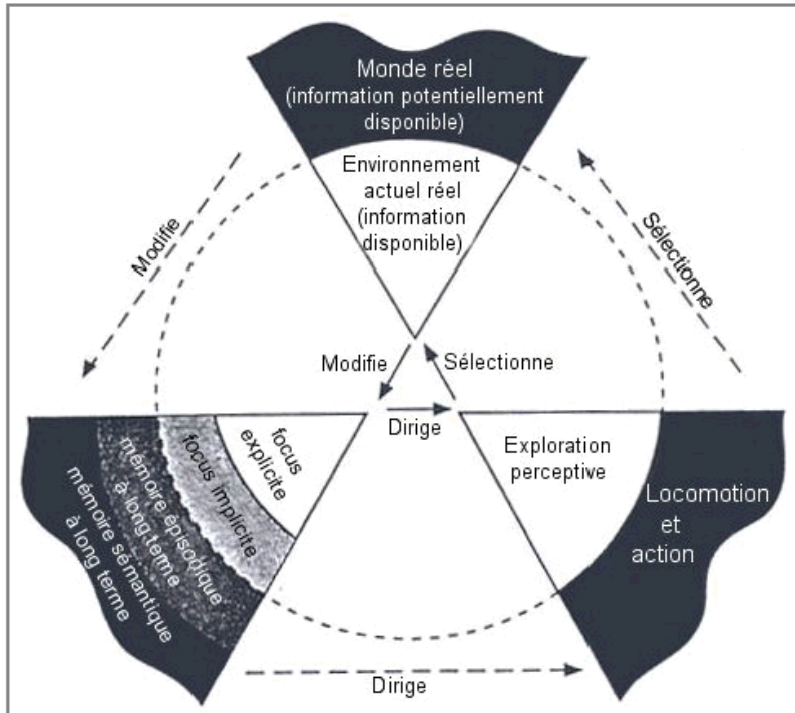


Figure 42. Cycle perception-Action de Neisser. Issue de Adam et al. (1995).

Dans ce modèle, la conscience de la situation est définie comme « *de la conscience adaptative, dirigée vers l'extérieur* ». La conscience de la situation est un état de conscience qui se différencie de « *l'introspection* » en étant dirigé vers l'environnement [Figure 42].

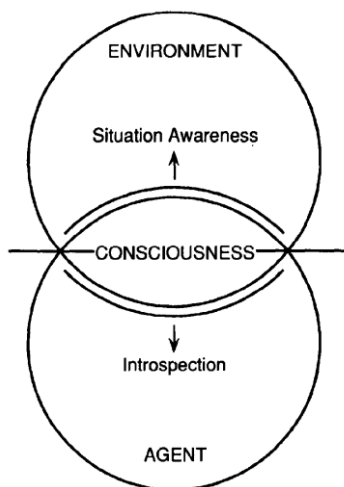


Figure 43. Conscience de la situation et introspection. Issue de Smith et Hancock (1995)

La conscience de la situation permet à l'opérateur/agent une manipulation intentionnelle de son environnement. Les comportements générés sont donc destinés à l'accomplissement des buts. Dans ce cadre, la conscience de la situation serait la capacité de tourner sa conscience vers l'environnement pour produire une performance de qualité face à une situation particulière, en cours.

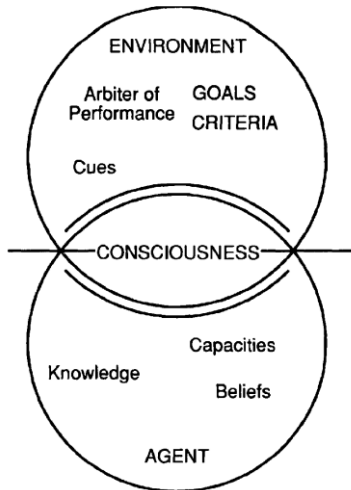


Figure 44. Les éléments contraignant la conscience de la situation. Issue de Smith et Hancock (1995)

La conscience de la situation est issue d'une relation importante entre l'organisme et son environnement. Il s'agit d'un concept dynamique qui est en même temps un produit et des processus. Il intègre des processus de création de connaissances et est lié à la notion d'adaptation. Dans ce contexte, l'adaptation est ainsi définie : « *le processus par lequel l'agent utilise ses connaissances et son comportement pour atteindre des buts avec une prise en compte des conditions et des contraintes imposées par l'environnement de la tâche* ».

La conscience de la situation permet des comportements intentionnels et dépend donc des buts. Elle est atteinte et maintenue grâce à des schémas internes. Notre relation avec l'environnement se fait au travers des explorations, dont la sortie va modifier le schéma original qui va à son tour conduire à plus d'exploration. Il s'agit donc d'un processus qui continue dans un cycle infini.

Ce modèle met l'accent sur l'aspect dynamique de la conscience de la situation. (Salmon et al., 2007)

En d'autres termes, dans ce modèle [Figure 44], l'opérateur arrive dans l'environnement avec ses capacités d'attention (focus explicite, focus implicite) et son expérience (mémoire épisodique, mémoire sémantique), qui vont diriger son exploration de l'environnement et son action sur celui-ci. Et enfin le résultat de ces actions sur l'environnement va à son tour modifier les éléments sur lesquels va se porter l'attention de l'opérateur.



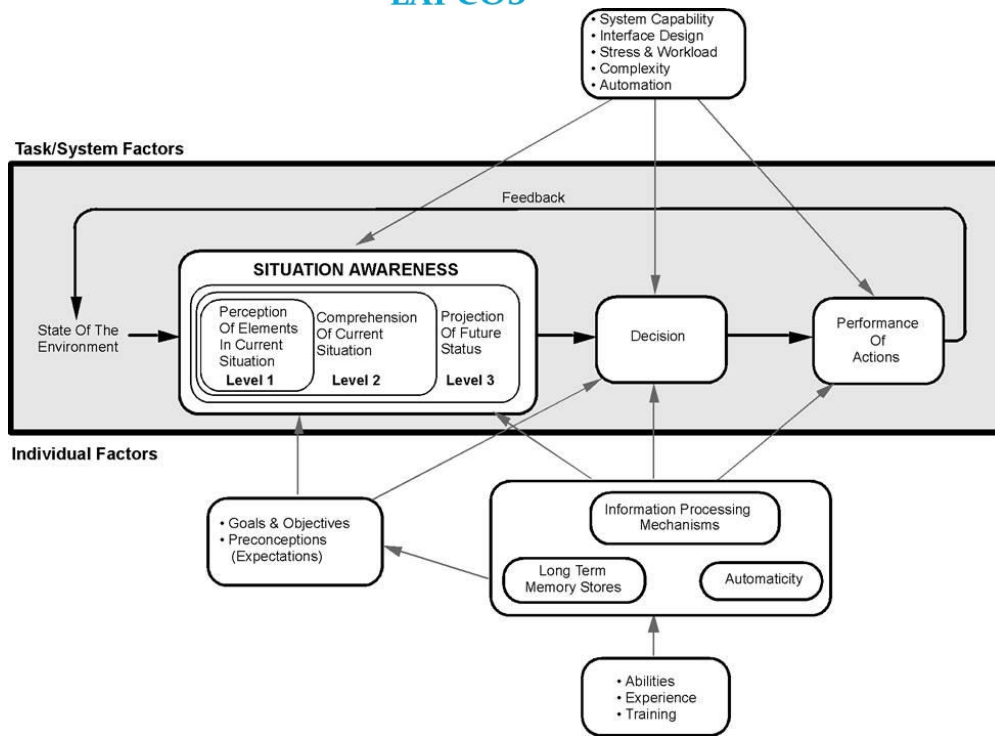


Figure 46. Modèle de la conscience de la situation d’Endsley (1995)

S’il est difficile d’obtenir une définition claire et acceptée par tous, la définition d’Endsley reste la plus acceptée (Stanners et French, 2005). Il s’agit donc d’une notion contextualisée, qui peut s’apparenter à la fois à une suite de processus : Perception – Compréhension – Projection et au produit issu de ces processus. Lorsque la conscience de la situation est évaluée, le terme utilisé est celui de qualité de la conscience de la situation plutôt que de niveau. Les difficultés à séparer le produit des processus qui lui sont liés ont conduit Endsley (1995, p. 36) à faire la différence entre les termes *Situation Assessment*, pour désigner le processus et *Situation Awareness* pour désigner le produit.

Dans son sens le plus basique, la conscience de la situation signifie connaître ce qui se passe autour de soi. La conscience de la situation est principalement associée au contenu informationnel de la mémoire de l’opérateur durant la réalisation de la tâche.

La conscience de la situation est influencée par de multiples facteurs, dont des facteurs individuels et des facteurs associés à la tâche. Les éléments individuels peuvent inclure les capacités de l’individu, la faim, le stress, la fatigue, l’ennui, l’expérience et la formation.

Les facteurs pouvant affecter la prise de décision font que la qualité de la conscience seule ne suffit pas pour obtenir une bonne performance.

Des facteurs exogènes peuvent affecter la conscience de la situation tels que les demandes opérationnelles, la complexité de la situation, et les contraintes du système.

L’expérience de l’opérateur est importante dans la relation entre la conscience de la situation et la charge. Une même demande et un niveau de complexité de la situation similaire vont provoquer un niveau de charge de travail plus ou moins important et une conscience de la situation plus ou moins bonne en fonction de l’expertise de l’opérateur. Les opérateurs ayant le plus de capacité et d’expérience ont effectivement plus de ressources à leur disposition.

Les experts utilisent leurs connaissances spécifiques au domaine, stockées en mémoire à long terme, de façon stratégique pour contourner les fortes limites de capacités et les limites temporelles dans leur mémoire de travail (Vidulich et Tsang, 2015).

Malgré sa reconnaissance, le modèle proposé par Endsley pour représenter la conscience de la situation est souvent critiqué notamment pour son manque de précision ou sa « mollesse » (ex, Chalandon, 1998, 2003). Cependant, comme Endsley (2015) le démontre, la notion de la conscience de la situation, telle qu'elle la développe, couvre bien plus de choses que la définition antérieure.

Au-delà des théories sur la conscience de la situation, il existe des éléments se rapprochant de la conscience de la situation dans d'autres domaines d'étude. C'est le cas notamment de la notion de sensemaking. Le sensemaking est défini comme « *la manière dont les gens donnent du sens à leur expérience dans le monde* ». Ce serait également un « *effort motivé et continu pour comprendre les connexions (entre les personnes, les lieux, les événements) dans le but d'anticiper les trajectoires et agir efficacement.* »

Il serait intéressant d'obtenir une vision globale de la conscience de la situation en la mettant en relation avec les études des domaines des émotions, par exemple, qui intègrent également une réaction aux événements au travers de la notion de l'*appraisal*.

Si, pour la suite, nous gardons le modèle décrit par Endsley(1995a) comme modèle de la conscience de la situation, nous ne rejetons pas les propositions faites par Chalandon (2003). En effet, celui-ci fournit un cadre complémentaire à cette notion en expliquant que :

- La conscience de la situation dépend des attentes et difficultés que rencontre le sujet dans la réalisation de ses objectifs.
- La conscience de la situation est « *un processus dynamique composé de multiples niveaux d'abstraction dont les éléments sont conscientisables sans nécessairement être conscient à tout instant* ».
- La (re)construction de la conscience de la situation est à repenser sous un mode diachronique à cause de l'écart temporel existant entre le comprendre et le réussir.
- La présence de connaissances reréfléchies ou non conscientisées fait qu'une part de l'activité ne peut être intégrée dans la conscience de la situation.

Ainsi, quand nous parlerons de *Situation Awareness*, cela signifiera que la situation s'inscrit dans un cadre comprenant les buts de l'opérateur, ses caractéristiques individuelles, les caractéristiques propres à la tâche qui doit être réalisée, ainsi qu'un environnement dynamique avec prise de décision.

Enfin, nous considérerons que les liens entre les différents processus composant la *Situation Assessment* sont reliés de manière dynamique et non linéaire. En effet, comme l'expliquent Chalandon (2003) et Endsley (1995a), la conscience de la situation doit être acquise, mais également maintenue.

Nous considérerons les différents niveaux de conscience de la situation comme des blocs de processus, ces blocs étant eux-mêmes reliés de manière dynamique et non linéaire. En effet, si l'on applique les connaissances liées notamment à la double échelle de Rasmussen à la structure des processus de la SA, nous voyons que selon le niveau d'expérience de l'opérateur dans la tâche, les liens entre les différents blocs (ou niveaux) seront différents. De plus, l'existence des processus top-down et bottom-up aura une influence directe sur ces liens.

Il serait intéressant de revenir sur les liens entre la *Situation Awareness* et la prise de décision à la lumière des travaux portant exclusivement sur la prise de décision. Il faudrait s'interroger sur la place de l'affect, par exemple, dans un tel modèle, puisque les travaux dans ce domaine nous montrent que la prise de décision n'est pas un processus exclusivement cognitif (Damasio, 1994), mais que l'affect y joue un rôle important. Des questions peuvent être posées également sur la place des heuristiques dans un tel modèle, lorsque ceux-ci sont connus pour être utilisés comme moyen de baisser le coût cognitif d'une prise de décision complexe (Tversky et Kahneman, 1974).

Le modèle d'Endsley peut évoluer pour être adapté au contexte d'étude. Par exemple, Wickens (2002) considère que, dans le domaine de l'aviation, la conscience de la situation peut être divisée en sous-composantes : la conscience spatiale (*spatial awareness*), la conscience du système (*system awareness*) et la conscience de la tâche (*task awareness*). Chacune des composantes a un rôle dans le contexte réel. La conscience spatiale aurait ainsi pour rôle le traitement des affichages des instruments (*instruments displays*), la conscience du système permet à l'opérateur d'être conscient des actions entreprises par le système automatisé, et enfin la conscience de la tâche permet le maintien de l'attention nécessaire à la gestion de la tâche (*task management*).

Parfois le modèle d'Endsley est complété par des processus complémentaires. Ainsi Mcguinness et Ebbage (2002) proposent d'introduire un niveau 4 de conscience de la situation qui est celui de la résolution. Cet élément contient la capacité de « savoir quoi faire ». Le niveau de résolution permet de savoir quel chemin suivre pour obtenir l'état souhaité, quelle décision prendre.



### 1.3.3 Charge mentale et conscience de la situation

Pour Endsley (2003), la charge mentale fait partie des sources de stress les plus importantes de la conscience de la situation, les WAFOS (*Workload, Anxiety, Fatigue, and Other Stressors*). Endsley (1993a, 1995) explique que les deux construits sont indépendants. La relation entre la charge mentale et la conscience de la situation ne serait linéaire que lorsque la charge est très élevée et que le maintien de la conscience de la situation entre en compétition avec d'autres processus [Figure 47].

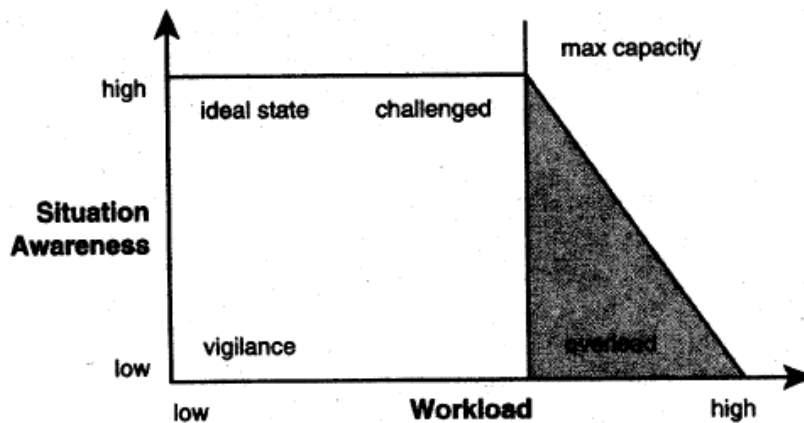


Figure 47. Relation entre la charge mentale et la conscience de la situation. Issue d'Endsley (1993)

Tsang et Vidulich (2006) mettent en avant une différence fondamentale entre les deux construits:

*“ La charge mentale est fondamentalement un construit énergétique, dans lequel les propriétés quantitatives (« combien ») sont dominantes par rapport aux propriétés qualitatives (« de quelle sorte »), comme l'élément le plus important. En contraste, la conscience de la situation est un concept fondamentalement cognitif, dans lequel le problème critique est la précision de la compréhension en temps réel de la situation (c.-à-d., une propriété qualitative)”.*

D'un côté, on mesure la quantité et le type de charge de travail et de l'autre la qualité (*scope, depth, and accuracy*) du contenu de la conscience de la situation.



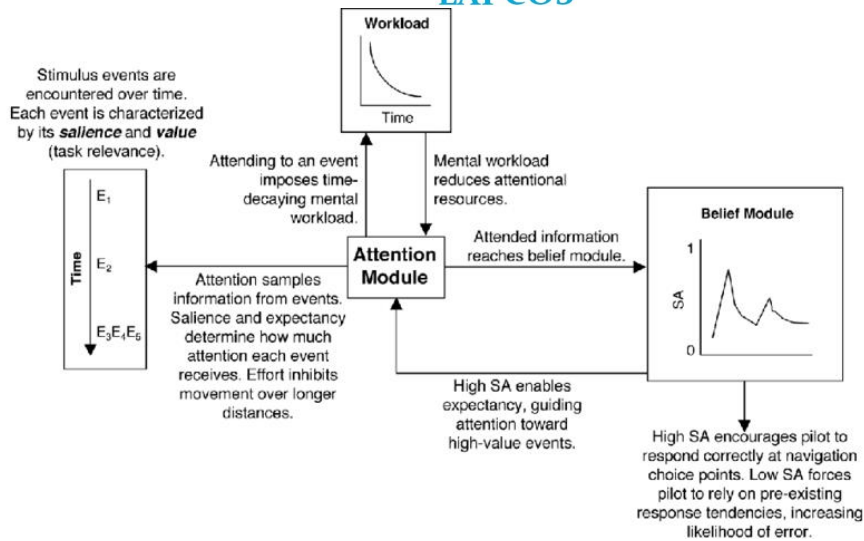


Figure 48. Modèle A-SA pour la prédiction d’erreur en phase de roulage. Issue de Wickens et Allion (2007).

La charge mentale est un des composants du modèle A-SA (*Attention- Situation Awareness*) de Wickens et Allion (2007). Dans ce modèle, la charge mentale affecte la conscience de la situation en interagissant avec les ressources attentionnelles [Figure 48]. Le processus nécessaire à l’acquisition et au maintien de la conscience de la situation crée de la charge et la présence de charge peut réduire la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour la conscience de la situation. Cette approche met donc en exergue l’importance de connaître la source de la charge.

Il suppose l’existence d’un management stratégique (qui correspond à la notion de *executive contrôle*) qui permet de manager les ressources nécessaires à l’acquisition et au maintien de la conscience de la situation tout en minimisant la charge mentale.

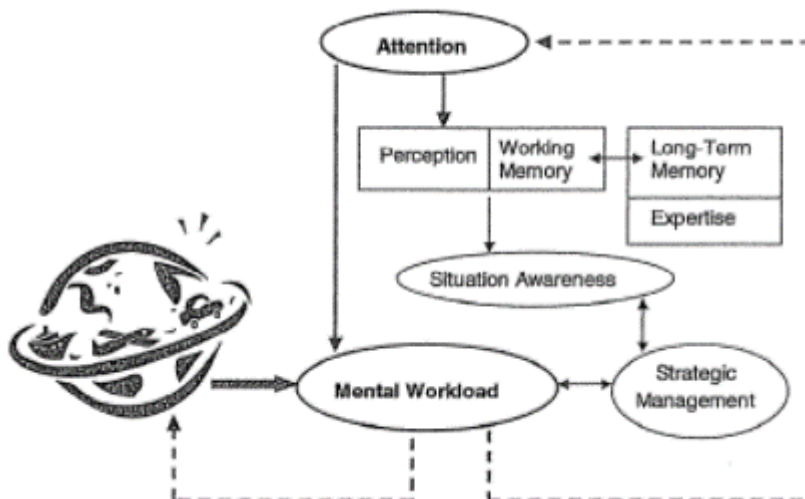


Figure 49. Cadre théorique illustrant la relation entre la charge mentale et la conscience de la situation. Issue de Tsang et Vidulich (2006)

Tsang et Vidulich (2006) proposent un autre schéma théorique, mais l’idée est de nouveau que la relation entre la conscience de la situation et la charge mentale repose sur les ressources

attentionnelles disponibles et les facteurs responsables de la charge mentale (exogène ou endogène) [Figure 49]. En effet, les processus de maintien et d'obtention d'une bonne conscience de la situation entreraient en conflit pour la disponibilité des ressources avec les autres processus nécessaires à la réalisation de la tâche. Le *strategic management* permet la gestion des ressources allouées aux processus de maintien et d'acquisition de la conscience de la situation.

Le lien entre la charge mentale et la conscience de la situation est donc complexe et non linéaire. Pour agir sur la charge dans un contexte nécessitant la conscience de la situation, il est donc important de connaître l'origine de la charge. Dans certaines circonstances, décider d'abaisser le niveau de charge mentale peut être délétère pour le maintien et l'acquisition de la conscience de la situation.

Il faut préciser que, si les différentes études sur les liens entre la conscience de la situation traitent de la notion de charge lorsque celle-ci est élevée, peu d'explications sont fournies quant aux liens entre la charge mentale et la conscience de la situation en situation de sous-charge. Tsang et Vidulich (2006) parlent indirectement du cas de la sous-charge au travers des effets de l'automatisation. Ils expliquent que, dans ce cas, le système serait mal compris et que l'opérateur manquerait d'entraînement pour utiliser le système, mais la raison de ce phénomène n'est pas explicitée autrement que par le phénomène « *human out of the loop* ».

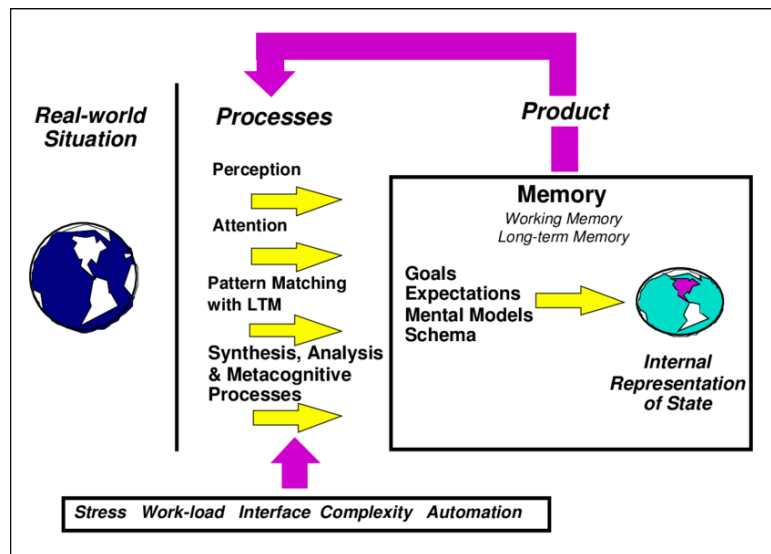


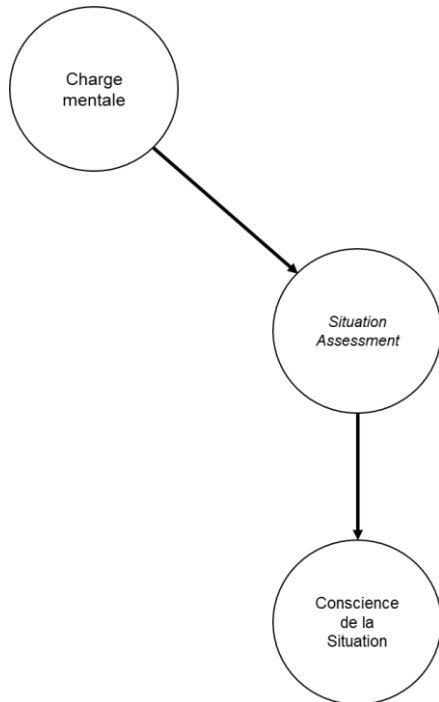
Figure 50. Relation entre Charge mentale et Conscience de la situation. Issue de Endsley (2000).

Pour Endsley (2000), si la relation entre la charge mentale n'est pas linéaire, la charge affecte les processus cognitifs dits « *situation assessment* » traduits par « évaluation de la situation » (Chalandon, 2007) qui vont produire le produit « *situation awareness* » [Figure 50].

La relation entre la conscience de la situation et la charge est donc liée à des problématiques de demande et approvisionnement des ressources (Taylor, 1990). Sur un large spectre, les deux construits évoluent de façon indépendante, sans doute à cause de nombreux facteurs impliqués dans la qualité de la conscience de la situation (Endsley, 1993a). C'est lorsque les

demandes à l'origine de la charge excèdent le maximum des capacités de l'opérateur, que la conscience de la situation est obligatoirement en risque.

Cependant, dans certains contextes, la charge peut affecter la conscience de la situation même dans la zone modérée. Des difficultés existent également en situation de sous-charge, cela pouvant être dû à des problèmes de vigilance et d'engagement par rapport à la tâche.



**Figure 51. Relation entre charge mentale et conscience de la situation, au travers de l'évaluation de la situation.**

La charge mentale va donc affecter les processus nécessaires au maintien et à l'acquisition de la conscience de la situation, à savoir l'évaluation de la situation (*Situation Assessment*), tout en ayant une évolution indépendante à la conscience de la situation dans la majorité des cas [Figure 51].

À partir de ces connaissances, nous proposons de considérer la relation entre la charge mentale et la conscience de la situation par une différenciation entre les processus et le produit, et en intégrant la « *situation assessment* » dans les processus impliqués dans la charge mentale. De cette manière, nous mettons en avant le conflit pour les ressources attentionnelles entre les processus de conscience de la situation et les restes des processus utiles à la réalisation de la tâche. La conscience de la situation dépendrait alors de l'évaluation de la

situation sans relation directe avec la charge mentale [Figure 52].

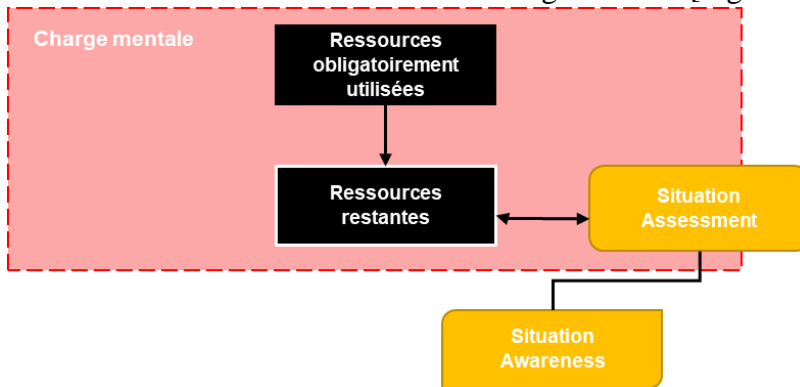
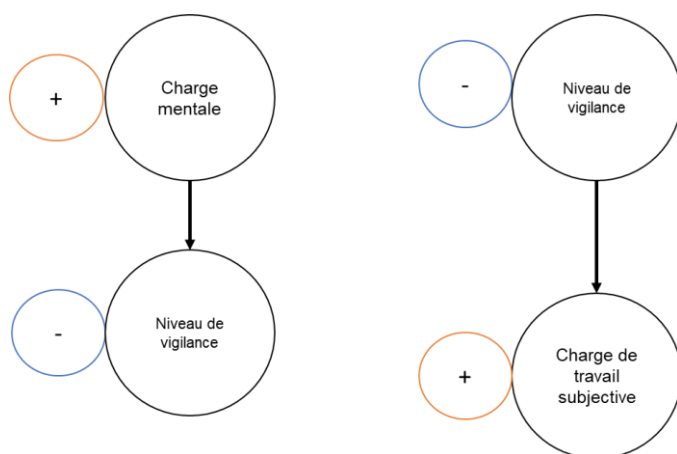


Figure 52. Relation entre charge mentale, conscience de la situation et la conscience de la situation.

### 1.3.4 Charge mentale et vigilance

Comme vue précédemment, la littérature montre une influence réciproque entre la charge mentale et le niveau de vigilance.

Dans le contexte de conduite automobile, les résultats de Paxion (2014) indiquent que la charge, lorsqu'elle est élevée, est associée à une baisse de niveau de vigilance et à une augmentation du niveau d'activation au travers de l'anxiété. À l'inverse, une baisse du niveau de vigilance va être liée à une augmentation de charge de travail subjective.



**Figure 53. Relation entre la charge mentale et le niveau de vigilance. Inspiré des résultats de Paxion (2014)**

La charge de travail et le niveau de vigilance s'influenceraient donc mutuellement. Cette idée se rapproche du modèle de l'attention et de l'effort proposé par Kahneman (1973). Dans ce modèle le terme de vigilance n'apparaît pas, mais le modèle intègre l'activation physiologique (*arousal*) comme un modulateur des capacités disponibles lors de la réalisation d'une tâche.

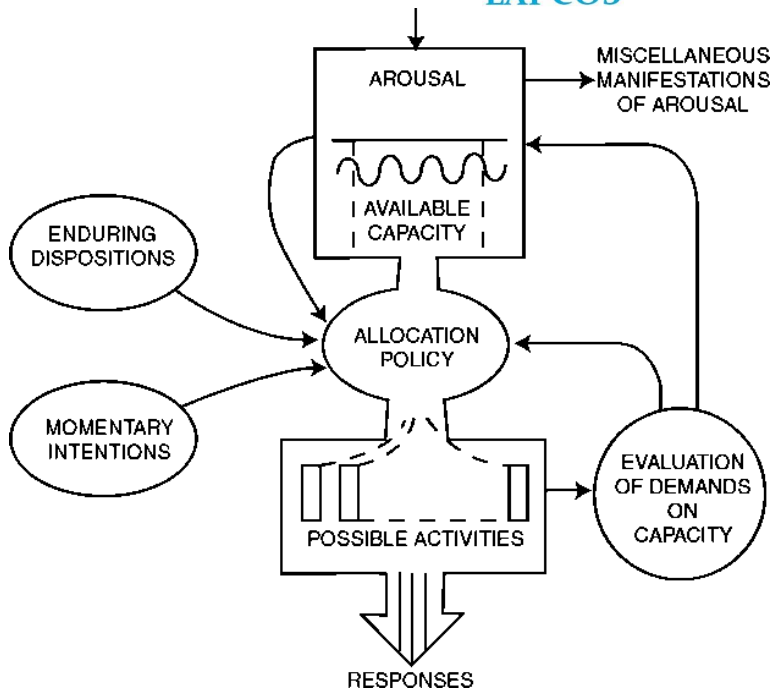


Figure 54. Modèle des capacités pour l'attention. Issue de Kahneman (1973)

La relation entre l'activation physiologique et la charge mentale serait que la capacité est plus élevée lorsque le niveau d'activation est modérément élevé par rapport aux périodes où le niveau d'activation est bas. De plus, l'activation serait affectée par des caractéristiques de l'activité et de l'opérateur telles que la complexité, la demande imposée par la tâche, l'intensité de la stimulation et l'état de motivation (*drive state*).

Par la suite, un modèle permettant de mieux comprendre les relations entre la vigilance et la charge mentale a été proposé par Galy et Mélan (2015). Dans ce modèle [Figure 55], la vigilance affecte les ressources cognitives disponibles pour la tâche. Les ressources ainsi affectées par l'activation physiologique vont influencer le niveau de ressources cognitives restantes après retrait des ressources cognitives obligatoirement utilisées par la tâche.

Le modèle montre que la charge mentale peut être influencée par une combinaison de facteurs parmi lesquels des caractéristiques de l'opérateur, son niveau de vigilance, l'évaluation cognitive, et les composants de la charge liés à la tâche (intrinsèque et extrinsèque). La vigilance déterminerait les ressources disponibles, tandis que la difficulté de la tâche et la pression temporelle vont déterminer la charge nécessaire à la réalisation de la tâche (charge intrinsèque et extrinsèque). Ces différents facteurs s'additionnent et vont déterminer les ressources cognitives restantes qui seront utilisées pour la charge cognitive « germane » et l'exécution des stratégies appropriées (Galy et Mélan, 2015).

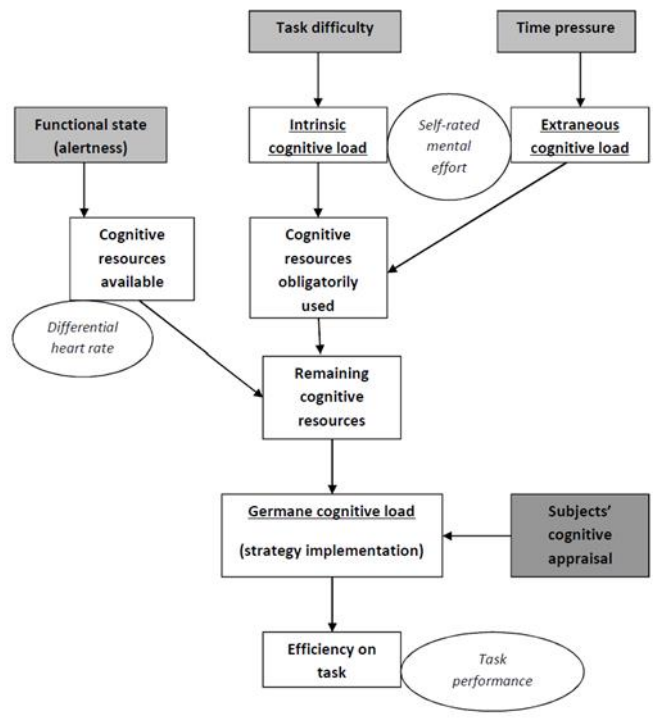


Figure 55. Représentation graphique des relations supposées entre les facteurs de charge cognitive et les types de charges cognitives. Issue de Galy et Mélan (2015).

La charge mentale est déterminée par la pression temporelle, la complexité de la tâche et l'état fonctionnel de l'individu, principalement son niveau de vigilance [Figure 55].

### 1.3.5 Conscience de la situation et vigilance

La littérature ne contient pas ou très peu d'études sur les relations entre le niveau de vigilance et la conscience de la situation. Des effets du niveau de vigilance et des effets de synchronies sont pourtant mis en évidence sur certains processus utiles au maintien et à l'acquisition de la conscience de la situation.

En effet, de nombreuses études montrent des effets de synchronie sur les capacités de mémorisation (May et al., 1993), sur l'attention visuospatiale (Dorrian, McLean, Blanks, et Loetscher, 2017) et la prise de décision (May, 1999). Or, les capacités de mémorisation et les capacités d'attention visuospatiale sont importantes pour le maintien et l'acquisition de la conscience de la situation (Johannsdottir, Run, Herdman, Chris, et LeFevre, 2005, Sulistyawati, Wickens, et Chui, 2011).







Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

## 2.1 Effet de synchronie dans le domaine des IHM

### 2.1.1 Intégration des effets de synchronie pour une IHM adaptative

Au-delà des problématiques typiquement informatiques, la conception d'une IHM adaptative demande l'accès à des connaissances pluridisciplinaires. La plasticité des IHMs regroupe les informations les plus pertinentes pour les IHM adaptatives dans le triplet du contexte d'usage <utilisateur, plate-forme, environnement>. La prise en compte de la variabilité inter et intra individuelle dans les IHMs adaptatives va donc s'appuyer sur les connaissances sur l'utilisateur dans son contexte d'activité.

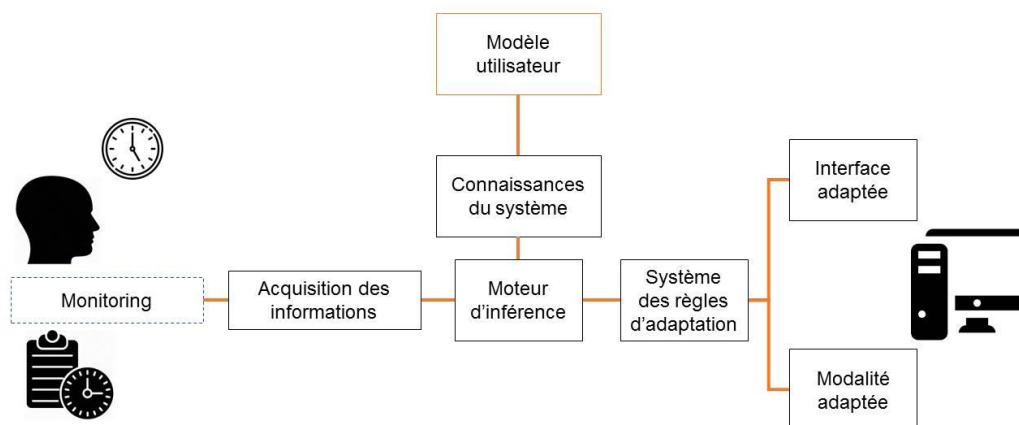
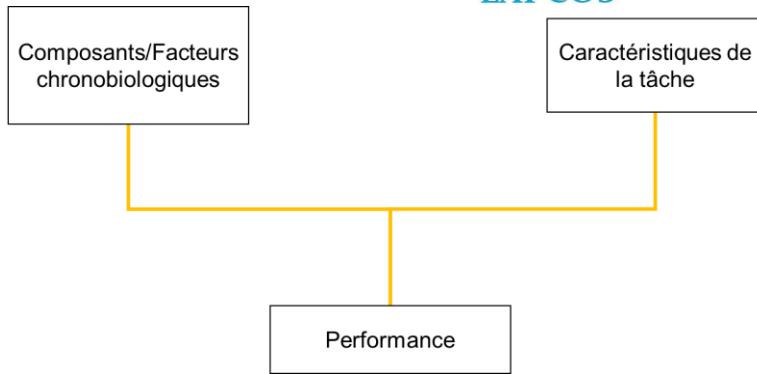


Figure 56. Modèle simplifié d'une IHM adaptative.

Ces connaissances vont permettre de créer le modèle utilisateur, élément central de ce type d'IHM. En effet, contrairement aux problématiques de l'ubiquité des dispositifs numériques, qui vont principalement s'intéresser au lieu d'utilisation et à la variabilité des dispositifs techniques (par exemple, lire le journal sur son ordinateur chez soi et continuer la lecture sur son téléphone dans les transports en commun). Nous nous intéressons à des dispositifs statiques pour lesquels la principale source de variabilité est l'humain. La question reste de « fournir la bonne information, de la bonne manière, au bon moment à la bonne personne » et d'individualiser la notion de l'adaptation de l'outil aux caractéristiques de l'individu opérateur.

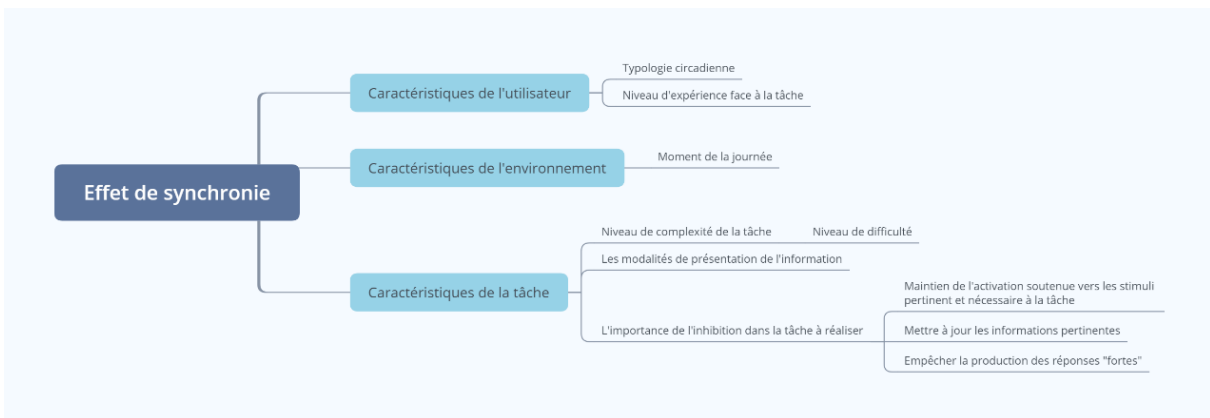
La prise en compte des variabilités dues à la rythmicité circadienne doit donc commencer par la détermination des facteurs pertinents. Comme nous l'avons vu, la littérature montre que plusieurs facteurs existent parmi lesquels le moment de la journée, la typologie circadienne de l'individu et le niveau de vigilance. Quant aux effets de synchronie, ils reposent sur l'interaction du moment de la journée et de la typologie circadienne de l'individu.

Ces facteurs vont interagir avec des caractéristiques de la tâche à réaliser, caractéristiques qui vont moduler les effets de ces facteurs sur la performance [Figure 57].



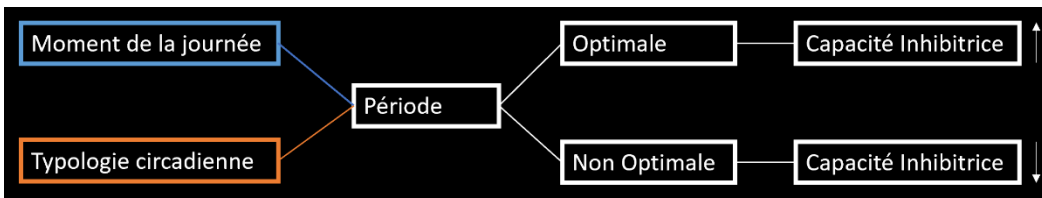
**Figure 57. Relation entre les composants chronobiologiques et la performance**

L'idée d'un triplet reste donc pertinente, mais la plate-forme, qui ne varie pas, peut être remplacée par la tâche, ce qui permet d'obtenir le triplet suivant : <Utilisateur, Environnement, Tâche> [Figure 58]. La caractéristique principale de l'utilisateur, dans ce cas, est la typologie circadienne. Le critère le plus important de l'environnement est l'aspect temporel et donc le moment de la journée de réalisation de la tâche. Pour les caractéristiques de la tâche, il faut se référer à la littérature.



**Figure 58. Exemple d'un modèle pour les effets de synchronie**

Nous savons que l'interaction du moment de la journée et la typologie circadienne fait varier les capacités inhibitrices de l'individu [Figure 59].



**Figure 59. Relation entre Moment de la journée, Typologie circadienne et capacités individuelles**

Les capacités inhibitrices interviennent, principalement, dans les tâches les plus complexes et sont à l'origine de variations de performance. Des effets de synchronie ou d'asynchronie sont responsables de ces variations. Dans le cas d'un effet de synchronie, les performances sont meilleures, car le moment de la journée est concordant avec la typologie circadienne de l'individu, ce moment de la journée correspond alors à une période optimale.

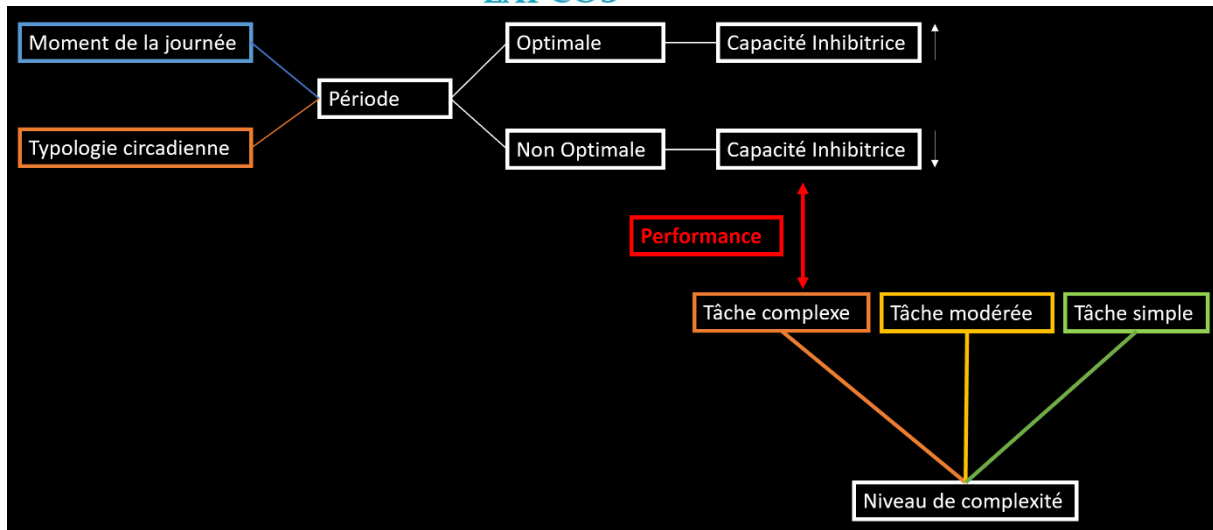


Figure 60. Relation entre Moment de la journée, Typologie circadienne et Performance

En plus du niveau de difficulté, la modalité de présentation de l’information module également les effets des facteurs chronobiologiques. Ces effets de la modalité de présentation sont étudiés dans des recherches concernant le niveau de vigilance ou les effets de synchronie. Les caractéristiques de la tâche peuvent donc être liées au niveau de difficulté, à l’importance des capacités inhibitrices dans la tâche ou encore à la modalité de présentation [Figure 60].

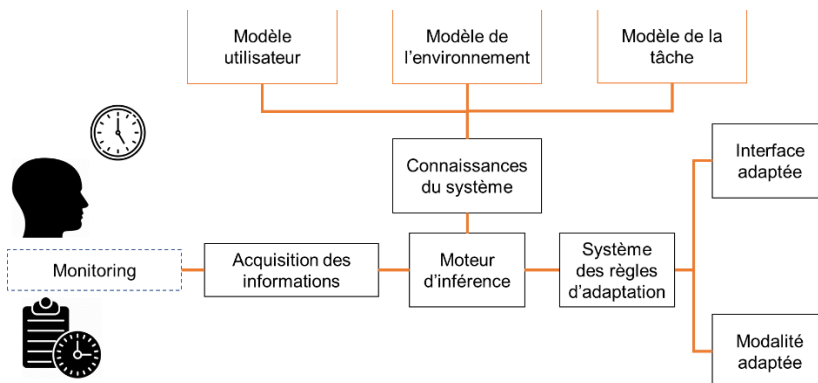


Figure 61. Représentation des fonctions d’un système adaptatif prenant en compte la chronobiologie

Le système adaptatif prenant en compte les facteurs chronobiologiques devrait donc intégrer un modèle utilisateur, un modèle de l’environnement et un modèle de la tâche [Figure 61]. En prenant exemple sur les effets de synchronie, nous pouvons considérer que le système devra être capable de vérifier et d’associer les paramètres des figures 62, 63, 64 et 65.

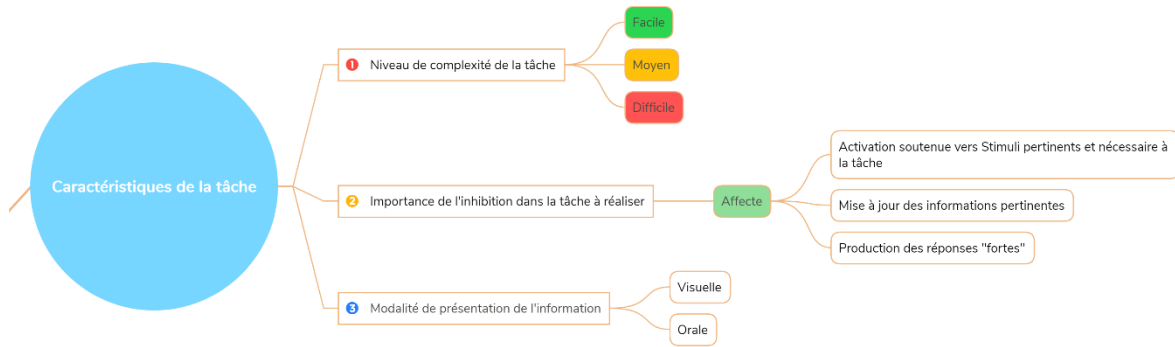


Figure 62. Les caractéristiques de la tâche [Détail de la figure 65]

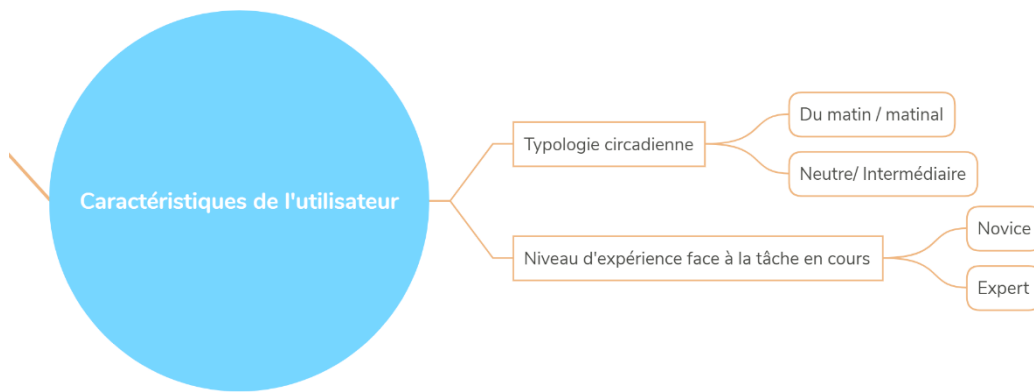


Figure 63. Les caractéristiques de l'utilisateur [Détail de la figure 65]



Figure 64. Les caractéristiques de l'environnement [Détail de la figure 65]



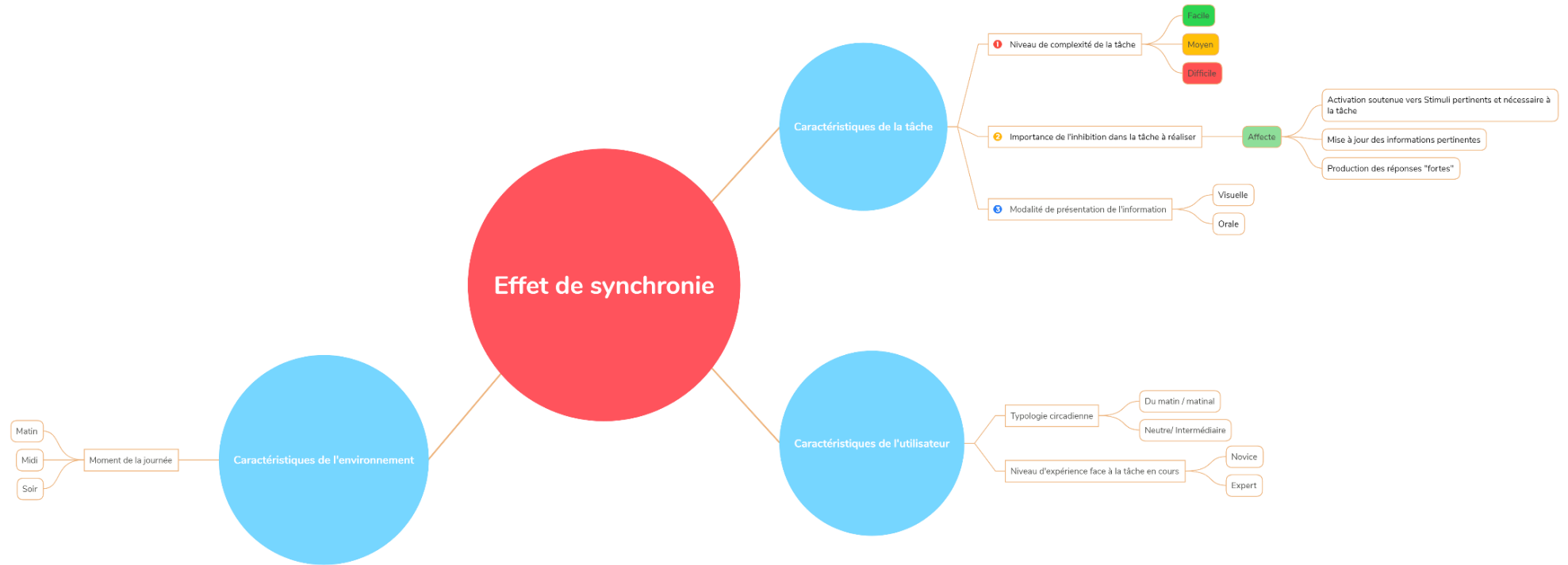


Figure 65. Domaine d'étude des effets de synchronie comprenant les caractéristiques de la tâche, les caractéristiques de l'environnement et les caractéristiques de l'utilisateur/opérateur.



Si la littérature permet de supposer des facteurs pertinents à prendre en compte, et de leur relation éventuelle, les études manquent en interaction Homme-Machine pour s'assurer des effets de facteurs tels que le niveau de vigilance ou l'effet de synchronie sur la performance d'usage. Si nous prenons le cas de la variabilité des capacités inhibitrices propres aux effets de synchronie, May (1999) indique les différents rôles de l'inhibition dans l'activité cognitive, mais il est difficile dans un cadre d'interaction homme-machine d'en tirer des conclusions définitives sur l'action à réaliser sur une interface.

Il est donc important de vérifier les manifestations de tous ces facteurs lorsque les opérateurs réalisent une tâche en interaction avec un dispositif technique. Les éléments obtenus de la littérature nous permettent de poser des hypothèses formant un modèle théorique [Figure 66].

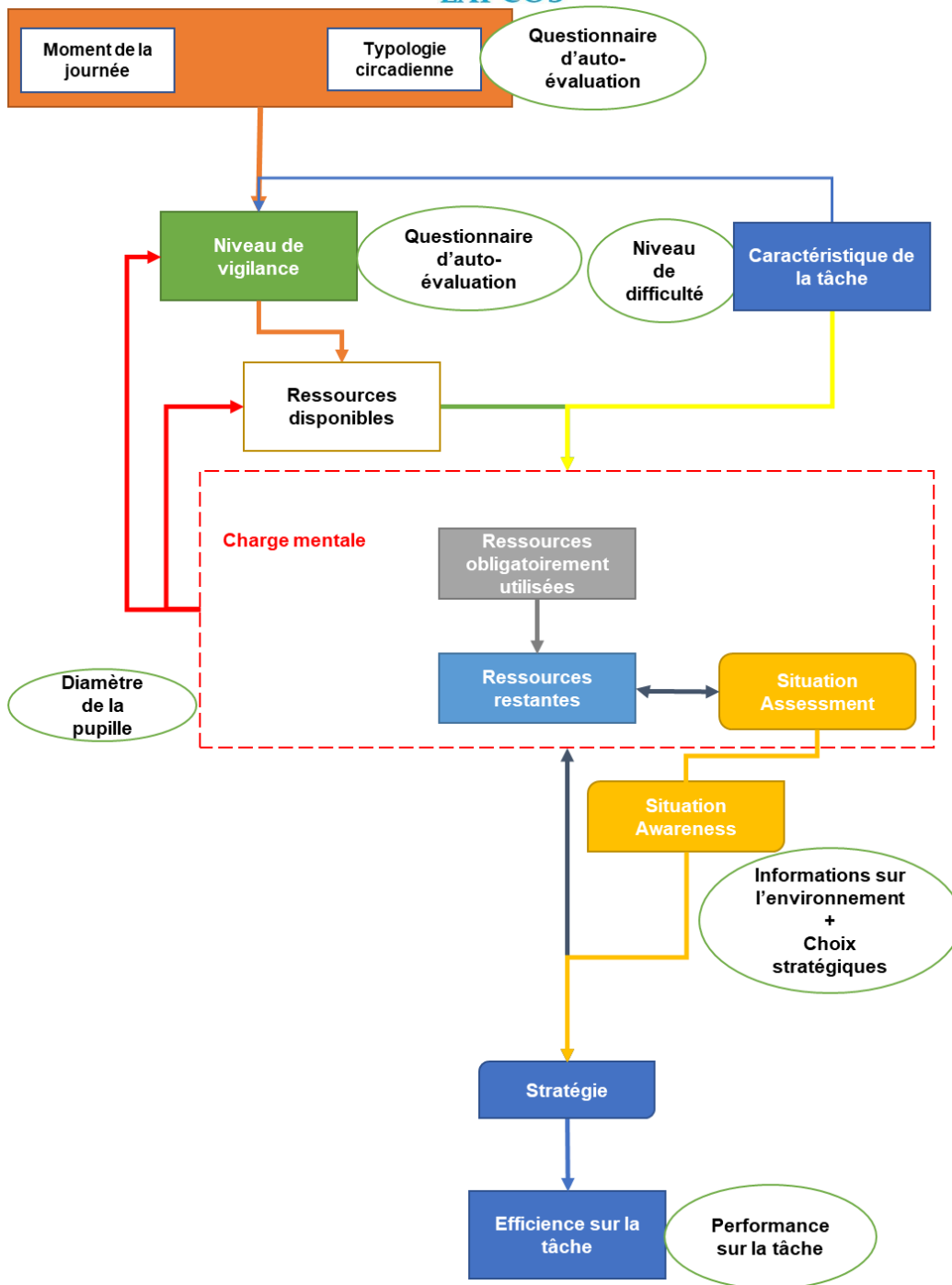


Figure 66. Modèle théorique proposé pour expliquer les effets de synchronie en IHM

Ce modèle a été élaboré en se basant sur les données issues de la littérature et considère :

- 1) que l'interaction de la typologie circadienne et du moment de la journée détermine le niveau de vigilance et que cet effet est modulé par le niveau de difficulté de la tâche ;
- 2) que le niveau de vigilance déterminant la quantité de ressources disponibles va agir indirectement sur la charge mentale en interaction avec les caractéristiques de la tâche ;

- 3) que les processus propres au maintien et à l'acquisition de la conscience de la situation (*Situation Assessment*) vont participer à l'augmentation de la charge mentale en nécessitant des ressources cognitives.
- 4) Si les ressources restantes sont insuffisantes, la charge mentale pourrait affecter indirectement la qualité de la conscience de la situation.
- 5) La charge mentale et la conscience de la situation vont agir sur les choix stratégiques effectués par l'opérateur.
- 6) Et ces choix vont déterminer l'efficacité de l'opérateur dans la réalisation de la tâche.

Ce modèle suppose donc que les effets de synchronie et les autres effets de facteurs chronobiologiques seront médiés par la charge mentale et la qualité de la conscience de la situation.

En effet, la littérature fait bien état d'une variation du niveau de vigilance selon que la période soit optimale (synchronie entre le moment de la journée et la typologie ou préférence circadienne) ou non optimale (asynchronie entre le moment de la journée et la typologie ou préférence circadienne), avec un niveau de vigilance plus élevé en période optimale. Le niveau de vigilance est également affecté par les caractéristiques de la tâche, dont sa complexité et/ou difficulté.

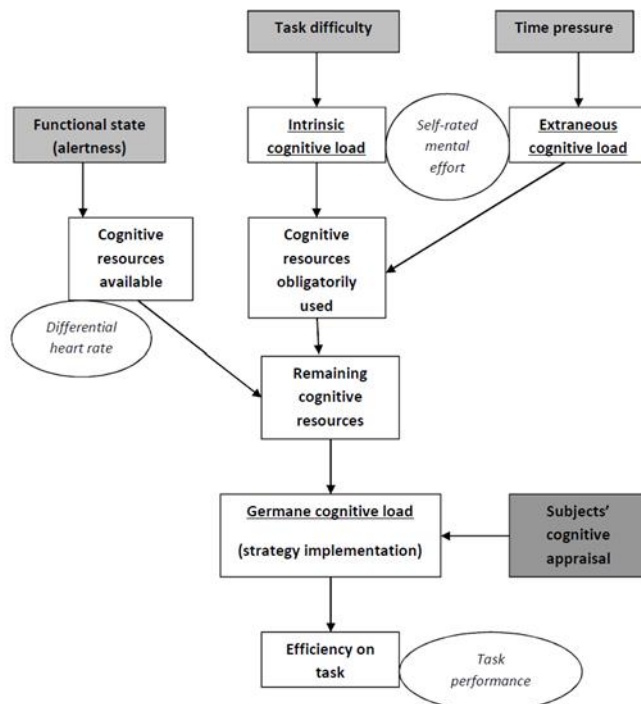


Figure 67. Modèle intégratif de la charge mentale de travail. Issue de Galy et Mélan (2015)

Pour appréhender la relation entre le niveau de vigilance et la charge mentale, nous nous sommes basés sur le modèle intégratif de Galy et Mélan (2015) [Figure 67]. Ainsi, le niveau de vigilance détermine les ressources cognitives disponibles. Cette relation de l'état fonctionnel

avec la charge mentale au travers d'une variation des ressources cognitives disponibles est également commune aux différents modèles présentés dans l'état de l'art.

La relation entre la charge mentale et la conscience de la situation est complexe et rend difficile la prédiction. Cependant les modèles présentés dans l'état de l'art montrent un effet de la charge mentale par médiation au travers des processus impliqués dans la formation de la conscience de la situation. Ainsi dans notre modèle, les processus de maintien et d'acquisition de la conscience de la situation seront affectés par la quantité de ressources cognitives restantes, et la conscience de la situation et la charge mentale affecteront les stratégies implémentées. Le terme « stratégie » s'entend ici comme « l'orientation générale de séquences de raisonnements et d'actions ». Il permettra dans le modèle proposé [Figure 66] d'intégrer dans un sens plus large, les choix, les décisions et les actions réalisées par l'individu pour atteindre un but. La stratégie implémentée affectera à son tour l'efficacité sur la tâche à réaliser.

L'intérêt de ce modèle [Figure 67] est qu'il montre les effets de l'interaction des caractéristiques de la tâche telles que la pression temporelle et la difficulté de la tâche et l'état fonctionnel avec le niveau de vigilance [Figure 68].

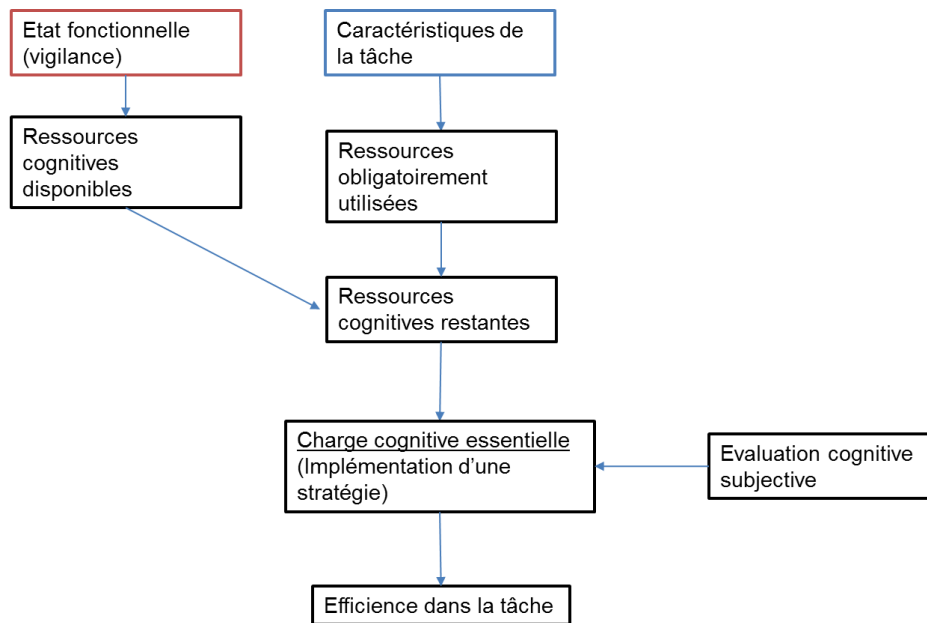


Figure 68. Interaction entre caractéristiques de la tâche et état fonctionnelle.

### 2.1.2 Hypothèses générales

L'étude proposée permet de vérifier les relations supposées par le modèle théorique. Les hypothèses générales sont donc les suivantes :

- L'interaction du moment de la journée et de la typologie circadienne est un prédicteur du niveau de vigilance.
- L'interaction du moment de la journée et de la typologie circadienne et le niveau de difficulté sont des prédicteurs du niveau de vigilance après la tâche.

- Le niveau de vigilance avant la tâche et le niveau de difficulté vont affecter la charge mentale.
- La conscience de la situation et la charge mentale détermineront l'efficacité à la tâche.

Plus précisément, nous supposons que les résultats obtenus montreront que :

- Le niveau de vigilance en période optimale est supérieur au niveau de vigilance en période non optimale.
- Le niveau de vigilance après la tâche diminue avec l'augmentation du niveau de difficulté.
- La charge mentale est plus faible lorsque le niveau de vigilance est élevé et la tâche est facile.
- Les performances sont meilleures en situation optimale plutôt qu'en situation non optimale (effets de synchronie).
- La conscience de la situation est meilleure en situation optimale plutôt qu'en situation non optimale
- Les individus avec un niveau de vigilance faible ont une résistance à la distraction plus faible.

Pour tester ces hypothèses, l'expérimentation conduite fait varier le niveau de difficulté de la tâche, le moment de la journée, les typologies circadiennes et permet d'évaluer la conscience de la situation ainsi que la charge mentale, en plus des performances à la tâche.

# MÉTHODOLOGIE

---





Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

## 3.1 La conception du support d'expérimentation

### 3.1.1 Caractéristiques du support d'expérimentation

Le support de l'expérimentation doit permettre de répondre à la problématique à savoir vérifier l'existence d'effets de synchronie dans une tâche d'Interaction Homme-Machine, et faire apparaître des exemples de manifestation de ces effets. Il doit permettre également de vérifier le modèle proposé : la vigilance, la charge mentale et la connaissance peuvent être médiateurs des effets de synchronie sur la performance. Ce qui signifie que le support utilisé devra intégrer les prérequis pour les études de la conscience de la situation donc être dynamique et permettre aux participants d'agir. Il faut également faire varier la charge mentale en agissant sur des caractéristiques de la tâche.

### 3.1.2 Variations de la charge mentale

#### 3.1.2.1 Complexité de la tâche et niveaux de difficulté

La variation de la charge mentale pourrait provenir d'une variation de la complexité de la tâche. La tâche devant être présentée à des participants tout-venant, la compétence des participants ne pourrait être prise en compte comme moyen de variation de la charge mentale.

Cette variation peut être obtenue par une variation de différents paramètres propres à la complexité de la tâche (de Montmollin, 2007) :

- La multiplicité des variables à prendre en compte ;
- Les interactions entre ces variables ;
- L'évolution des variables et donc une dynamique du système ;
- La simultanéité des événements ;
- La variabilité et l'imprévisibilité des informations ;
- La sensibilité du système aux interventions des opérateurs (l'hystérésis des actions sur le système) ;
- Le caractère abstrait de la codification des informations ;
- L'imprécision des objectifs ;
- L'Instabilité (ou « criticité ») du système (risque et sûreté).

Le support d'expérimentation a été, en partie, inspiré par le *Warship Commander Task*. Il s'agit d'un programme de simulation de gestion militaire aéronavale conçue par le **Pacific Science and Engineering Group**. Dans cette simulation, le participant doit surveiller des vagues d'arrivée d'avions et, en fonction de leur comportement, identifier les avions inconnus (en couleur jaune) comme amicaux (couleur bleue) ou hostiles (couleur rouge). Lorsque les navires sont considérés comme hostiles, le participant doit respecter les règles d'engagement en prévenant avant de détruire (Izzetoglu et al., 2007).

Cette tâche a pour but principal l'étude de l'évolution de la charge mentale en fonction du nombre d'avions ou de vagues d'avion à traiter. La difficulté de la tâche et, donc la charge de travail, était également manipulée.

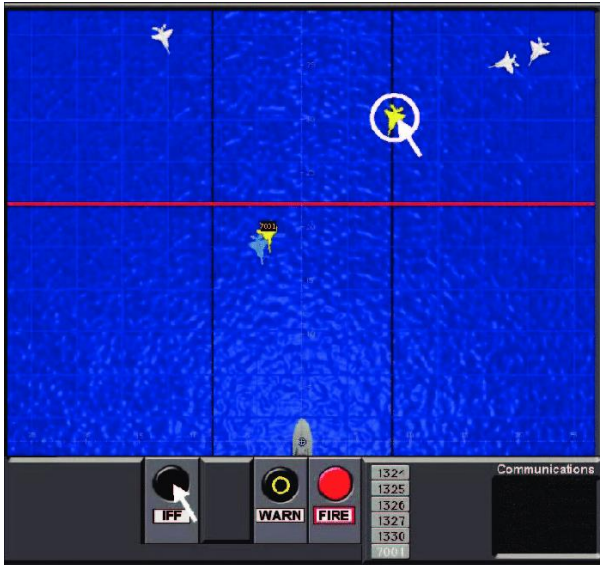


Figure 69. Capture d'écran d'une tâche WCT issue de Izzetoglu, M & al. (2007)

### 3.1.3 Prise en compte de la conscience de la situation dans la conception

Pour permettre de prendre en compte la conscience de la situation, il a été utile de définir quels éléments doivent être fournis aux participants durant la réalisation de la tâche. Pour cela, plusieurs études sur la conscience de la situation et sa mesure dans le contexte militaire ont permis d'arriver à un modèle contenant les éléments critiques pour la tâche.

Ces éléments critiques ont, par la suite, influencé les choix de conception.

Les travaux d'Endsley (1993) permettent de faire un rapprochement entre la conscience de la situation dans le contexte maritime et dans le contexte de l'aviation, et de récupérer certains éléments critiques à intégrer dans la tâche [Figure 70]. Ces informations sur les navires sont :

- La vitesse,
- La quantité d'armes disponibles,
- Le niveau de carburant,
- La classification des navires (connaître son origine, savoir s'il s'agit d'un navire ennemi ou allié),
- Le choix de la cible lors de l'utilisation des missiles.

Pour étudier les différents niveaux de la conscience de la situation, il est important de faire varier le temps, la distance et la quantité de carburant disponible.

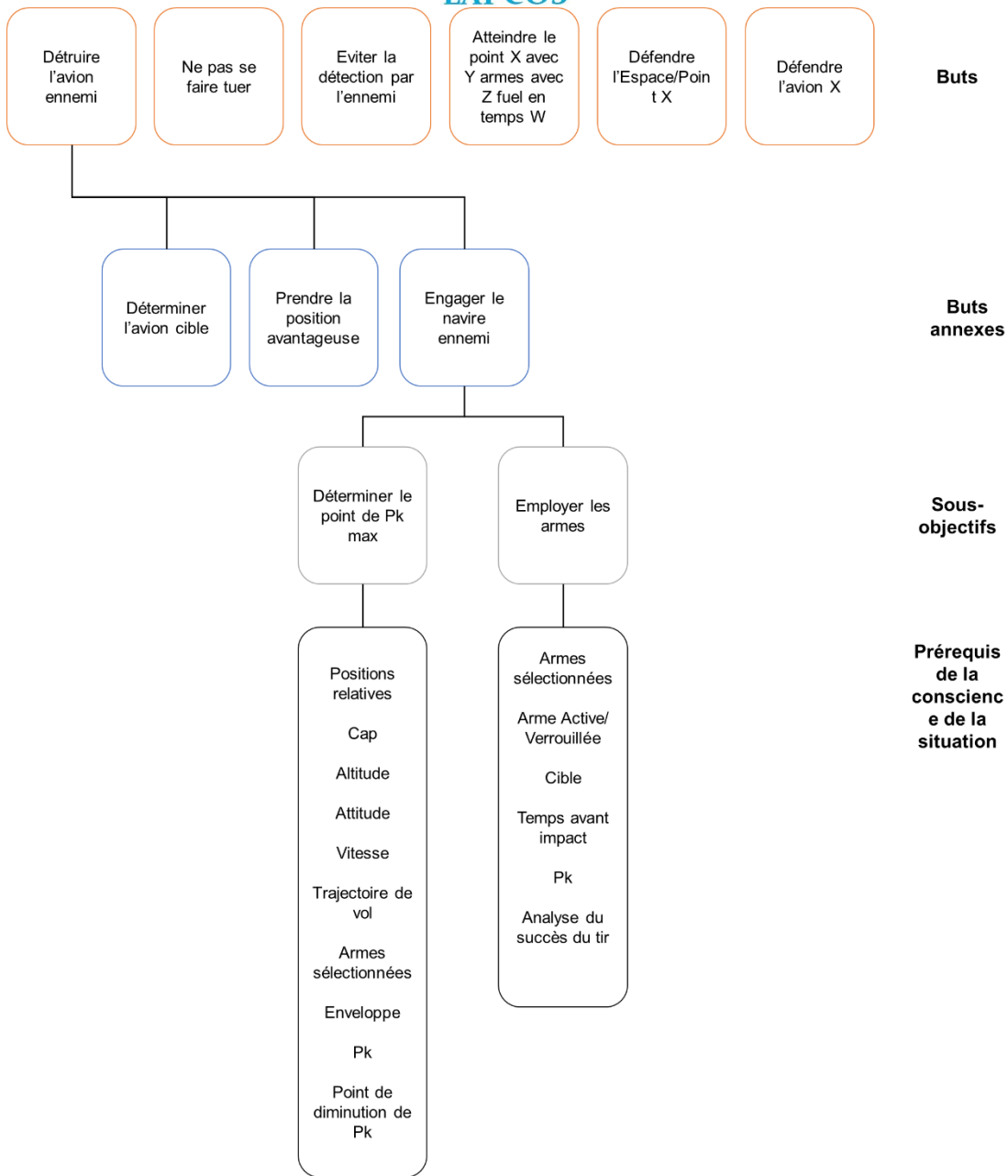


Figure 70. Goal-directed task analysis: Engager l'avion ennemi. Traduit d'Endsley (1993)

Le but est de récupérer des éléments du domaine du domaine militaire pertinent pour la formation de la conscience de la situation en fonction des buts en cours. Les liens entre la conscience de la situation et le domaine de l'aviation en font un domaine particulièrement étudié. Le but d'Endsley (1993) était de fournir les éléments critiques dans le combat aérien, éléments qui serviront ensuite à la conception.

Les travaux de Chauvin, Clostermann et Hoc (2008) sur la conscience de la situation et l'évitement des collisions ont permis de compléter et de déterminer les éléments à prendre en considération pour étudier le premier niveau de conscience de la situation [Figure 71].

Ces éléments sont :

- La trajectoire de la cible ;
- Sa vitesse ;
- La distance jusqu'à la cible ;
- Et le DCPA (*Distance at Closest Point of Approach*). La distance minimale à laquelle les deux navires vont se croiser.

Questions Asked	
Level 1 SA	1. What is the target course? 2. What is the target speed? 3. What is the range to the target? 4. What is the DCPA of the target?
Level 2 SA	5. Does it seem to go far faster than your vessel? 6. Does it seem to go far slower than your vessel? 7. Does it seem to be "far away" from you? 8. Is this vessel "dangerous" for you? 9. Is it hindering you? 10. What is, according to you, the most dangerous target? 11. According to you, this vessel maneuvers (with difficulty/normally/easily/you don't know)? 12. This situation seems, for you, to be very dangerous/dangerous/little dangerous/very little dangerous.
Level 3 SA	13. If no action is performed, this target will cross (ahead your vessel/astern your vessel/so close that collision is certain)? 14. According to you, it is highly probable/probable/little probable/very little probable that it will take action.
Action planned	15. According to you, your vessel shall take action/shall keep her course/you are free to choose because you are still far away from the targets. 16. You decide to keep your course/to alter your course.

**Figure 71. SAGAT dans un contexte d'évitement de collision en mer. Issue de Chauvin, Clostermann et Hoc (2008).**

Enfin, nous nous sommes également inspirés des travaux d'Endsley (2017) sur le SAGAT pour le contrôle aérien pour déterminer le type de tâche à proposer [Figure 72]. Endsley (2017) divise la tâche de contrôle du trafic aérien en deux sous-tâches dont le but principal est le maintien de la conformité de l'avion. Ces deux tâches sont l'évaluation de la conformité de l'avion sur les paramètres assignés et la résolution de la non-conformité. La GDTA (pour Goal-Directed Task Analysis) permet ainsi de partir d'un but principal et de descendre de niveau jusqu'à arriver aux éléments d'informations critiques pour la réalisation du but.

Tous ces éléments ont donc participé au processus créatif permettant de déterminer quel type de tâche proposé et en conséquence quels éléments d'informations pertinentes intégrer à l'interface.

La tâche proposée est donc pour le participant de maintenir l'intégrité du porteur. Pour ce faire, les deux sous-tâches seront celles de la supervision d'une situation nautique et tactique. Afin

de superviser les deux types de situations (nautique pour la sécurité du navire, tactique pour les missions « militaires »), le participant doit pouvoir vérifier un certain nombre de données et résoudre les problèmes qui peuvent se présenter.

Les éléments précédents nous ont permis de déterminer comme tâche principale pour la situation nautique, l'évitement de collision. Le participant devra pouvoir vérifier la distance de la cible au porteur, vérifier la vitesse de la cible, et son cap ou sa trajectoire. Et dans le cas où un risque se présenterait, le participant doit pouvoir déplacer le porteur afin d'éviter la collision.

Pour la situation tactique, la tâche principale est celle de protection du navire par rapport à un type de navire et une distance. Le participant doit pouvoir vérifier la distance de la cible au porteur, et la classification de la cible. Lorsqu'une situation dangereuse se présente, le participant doit pouvoir détruire le navire ennemi.

- 1.3 Maintain aircraft conformance**
- 1.3.1 Assess aircraft conformance to assigned parameters**
- *aircraft at/proceeding to assigned altitude?*
  - *aircraft proceeding to assigned altitude fast enough?*
    - time until aircraft reaches assigned altitude
    - amount of altitude deviation
    - climb/descent
      - altitude (current)
      - altitude (assigned)
      - altitude rate of change (ascending/descending)
  - *aircraft at/proceeding to assigned airspeed?*
  - *aircraft proceeding to assigned airspeed fast enough?*
    - time until aircraft reaches assigned airspeed
    - amount of airspeed deviation
      - airspeed (indicated)
      - airspeed (assigned)
      - groundspeed
  - *aircraft on /proceeding to assigned route?*
  - *aircraft proceeding to assigned route fast enough?*
  - *aircraft turning?*
    - time until aircraft reaches assigned route/heading
    - amount of route deviation
      - aircraft position (current)
      - aircraft heading (current)
      - route/heading (assigned)
    - aircraft turn rate (current)
      - aircraft heading (current)
      - aircraft heading (past)
      - aircraft turn capabilities
        - aircraft type
        - altitude
      - aircraft groundspeed
      - weather
      - winds (direction, magnitude)
- 1.3.2 Resolve non-conformance**
- *Reason for non-conformance?*
    - Verify data
      - *Is presented altitude correct?*
        - Aircraft altimeter setting
        - Aircraft altitude (indicated)
      - *Is presented airspeed correct?*
        - Aircraft airspeed (indicated)
        - groundspeed
        - winds (magnitude, direction)
      - *Is presented position/heading correct?*
        - Fix distance to Nav aid
        - range/bearing to Fix
        - track code
    - *Will current behavior cause a problem?*
      - Assess aircraft separation (1.1.1)
      - Assess aircraft/airspace separation (1.2.1)
      - Assure minimum altitude requirements (1.4)

Figure 72. Exemple de GDTA pour le contrôle du trafic aérien. Issue d'Endsley (2017)

Le support a évolué au cours de la conception par itérations, chaque étape étant marquée par une confrontation du support avec des participants. Cependant, les éléments définis dans le modèle restent au cœur du support [Figure 73].

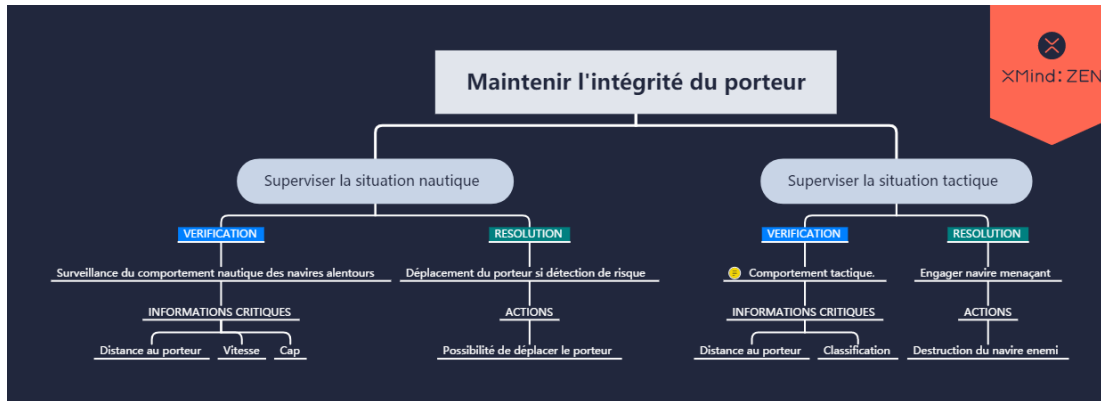


Figure 73. Représentation de la tâche

Le support doit donc permettre une variation de la complexité sur différents critères de complexité et prendre en compte la conscience de la situation.

L'ontologie de la conscience de la situation, proposée par Kokar, Matheus et Baclawski (2009), permet de mettre l'accent sur les notions de situation et d'évènement. Dans cette approche, les évènements sont des situations dans le temps, tandis que les scènes sont des situations perçues visuellement, et les changements sont les séquences de situations. Le support doit intégrer des évènements qui vont permettre l'analyse de la conscience de la situation et peuvent participer à des variations de la charge mentale.

La première étape de la conception consistait dans le choix du langage de programmation et de l'environnement de développement du support.

### 3.1.4 Choix du langage et de l'environnement de développement

La première étape a consisté à choisir un outil de conception et un langage de programmation.

L'outil et le langage devaient répondre à un certain nombre de critères, parmi ceux-ci :

- Permettre la réalisation d'applications dynamiques et interactives.
- Avoir une facilité d'apprentissage.
- L'existence d'une communauté d'entraide
- L'existence d'exemples ayant trait à des problématiques de la conception du support d'expérimentation.

Quatre outils ont donc été considérés pour cette étape :



### 3.1.4.1 AXURE

AXURE a été le premier outil considéré, car il est déjà disponible au sein de l'entreprise et a déjà été utilisé pour des expérimentations par le passé.

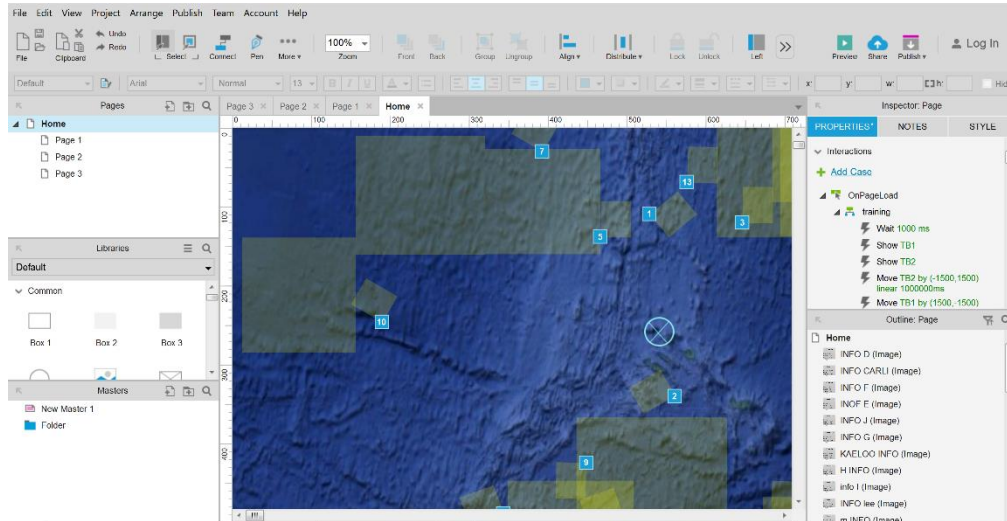


Figure 74. Interface de conception d'AXURE

Il s'agit d'un logiciel de prototypage, principalement dans le domaine des sites web. Il permet de réaliser des prototypes de différents niveaux de fidélité, allant du très bas niveau (*Lo-Fi*) au plus haut niveau de fidélité (*Hi-Fi*).

Il permet de simuler le dynamisme et l'interactivité. Cependant, AXURE étant conçu principalement pour le web, les possibilités de dynamisme et d'interactivité sont limitées.

Il intègre un langage simplifié, ce qui facilite son apprentissage et son utilisation par un public peu enclin à la programmation, mais qui limite les possibilités d'actions lorsque l'on souhaite obtenir des comportements complexes.

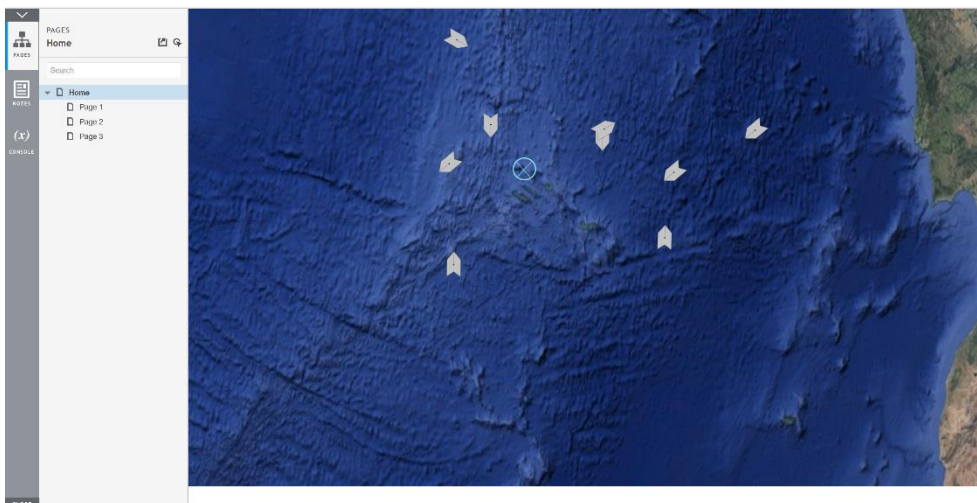
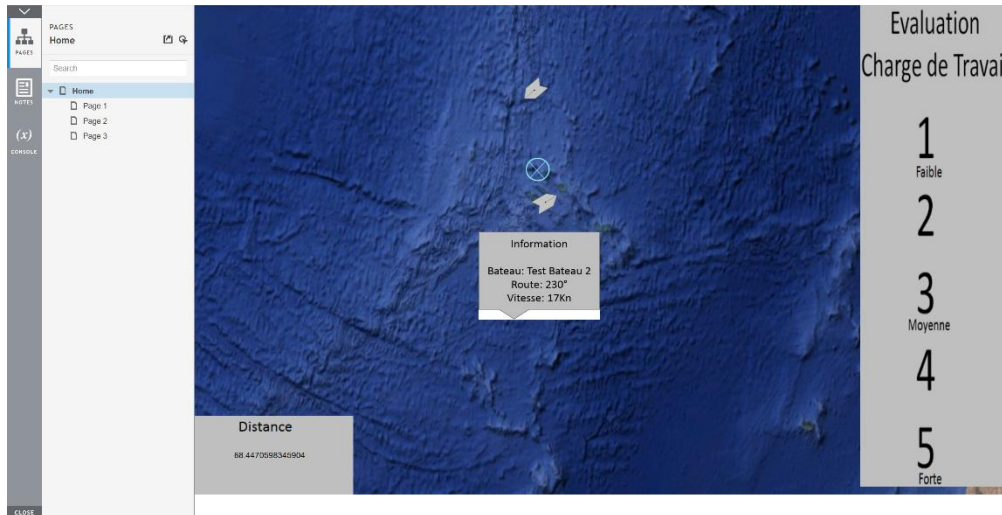


Figure 75. Exemple de support d'expérimentation conçu avec AXURE

La réalisation d'un support d'expérimentation [Figure 75] sous AXURE pour les besoins d'un stage au sein de l'entreprise a permis de mettre en exergue les limites du logiciel.

L'outil intégrait des navires en mouvement, mais il était impossible de réaliser des navires environnants « intelligents », c'est-à-dire capables de s'éviter.



**Figure 76. Affichage des informations sur un navire, dont la distance, et échelle de mesure de la charge de travail**

Il était impossible d'obtenir l'interactivité attendue, le navire de l'opérateur ne pouvait être déplacé à la guise des actions du participant. L'outil prenait cependant en compte les clics du participant sur les navires pour faire apparaître des popups d'information.

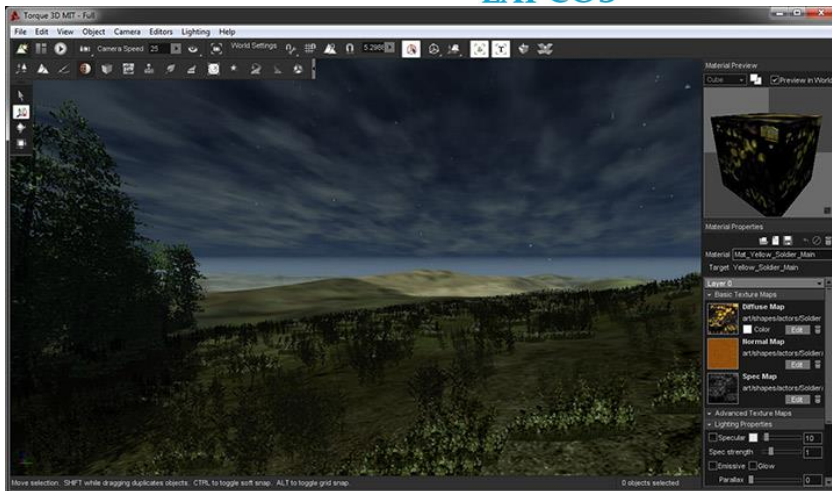
Enfin, les navires apparaissaient dans l'interface, il n'a pas été possible de les faire apparaître hors de l'écran et de simuler une entrée.

AXURE n'est pas un logiciel dédié à la réalisation d'un support devant se rapprocher d'un jeu vidéo.

Bien qu'il permette de répondre à certains critères, il était nécessaire de se tourner vers un autre logiciel de conception.

### 3.1.4.2 TORQUE 3D

Torque 3D est un outil de création de jeux vidéo [Figure 77]. Il existe également Torque 2D qui permet la création de jeux 2D.

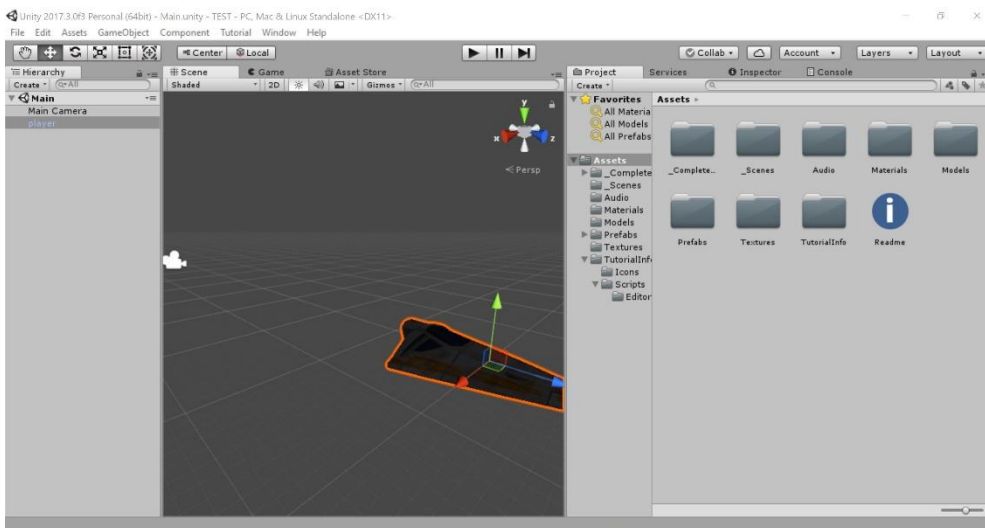


**Figure 77. Interface de création de Torque 3D**

Deux difficultés se sont présentées par rapport à l'utilisation de Torque comme outil de conception.

En effet, il était difficile de trouver un exemple intégrant des éléments utiles pour le support d'expérimentation. De plus, Torque n'a pas une grande base d'utilisateurs sur lequel compter en cas de difficulté lors la conception.

### 3.1.4.3 UNITY



**Figure 78. Interface de conception de Unity**

Tout comme Torque 3D, Unity permet de réaliser des jeux vidéo en 3D ou 2D. Unity a été conseillé après échange avec des informaticiens qui l'ont présenté comme facile à prendre en main.

L'utilisation de Unity nécessitait malgré tout l'apprentissage d'une nouvelle IDE (Environnement de Développement), d'un nouveau langage de programmation également.

La recherche d'un exemple ayant des liens avec les problématiques de conception du support d'expérimentation a été infructueuse.

La conception du support avait débuté sur ce support, mais a été abandonnée au profit d'un autre outil de conception.

### 3.1.4.4 VISUAL STUDIO

Microsoft Visual Studio est un environnement de développement permettant de développer dans différents langages tels que le VB.NET, le Visual C++ ou le Visual C#.

Il permet de développer des applications web, mobiles ou bureautiques.

Le choix du langage s'est porté sur le langage VB.NET, car nous avons déjà eu l'occasion de le pratiquer en 2008. L'évolution rapide du monde informatique et les évolutions du langage et de son IDE, Microsoft Visual Studio, ont rendu nécessaire une remise à niveau. Celle-ci a été facilitée par le fait que ce langage a une communauté qui permet d'avoir accès à des exemples utiles pour le développement du support d'expérimentation.

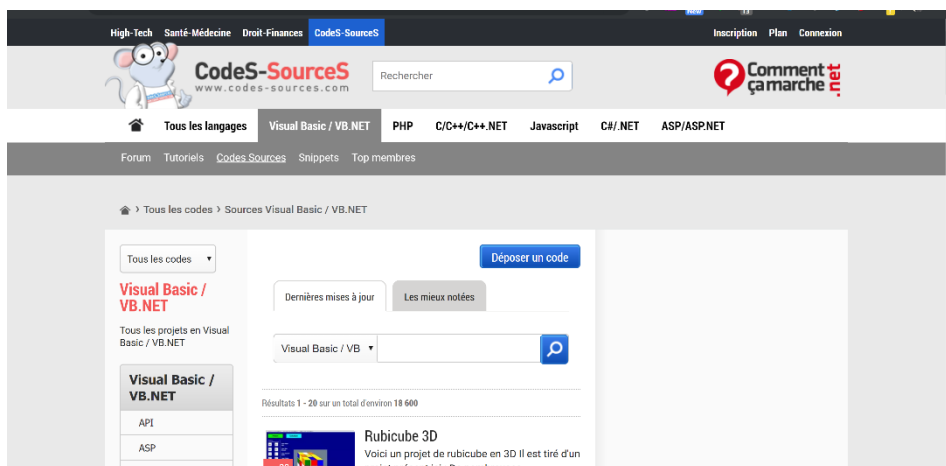


Figure 79. Exemple d'un site d'entraide sur le langage VB.NET

Un exemple de sources utiles est celui de la conception d'un jeu de voiture [Figure 80]. Parmi les éléments qui ont pu être récupérés pour la conception du support, il y a :

- La création de contrôles pouvant se déplacer sur une Form.
- La détection des collisions entre les contrôles.
- L'apparition des contrôles dans la Form et leur « disparition » hors de la Form.





Figure 80. Vidéo YouTube tutoriel de programmation de jeu de collision entre voitures.

Ce code a ainsi permis d’obtenir une première version du support d’expérimentation intégrant des *contrôles* dynamiques représentant des navires et des vagues. Le choix des vagues et d’un fond bleu a été décidé après que l’utilisation d’une image de fond en mouvement s’est avérée coûteuse en ressources pour l’ordinateur.

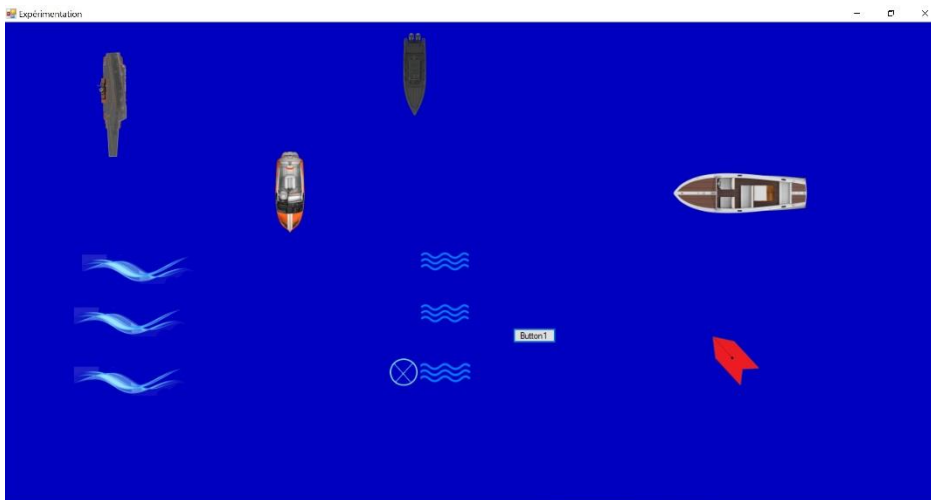


Figure 81. Première version du support d’expérimentation.

### 3.1.5 Application des caractéristiques dans le support.

#### 3.1.5.1 Complexité de la tâche

##### 3.1.5.1.1 *La multiplicité des variables à prendre en compte*

Pour la version définitive du support d'expérimentation, 38 Forms représentant des navires sont intégrés. Il s'agit de 25 navires alliés et 13 navires ennemis.

Les navires apparaissent par vague et leur nombre dépend du niveau de difficulté. Il a été déterminé que le temps maximal d'une tâche sera de 6,5 minutes, soit 390 secondes. Les vagues de navires devant apparaître ont été réparties sur 300 secondes, soit 5 minutes. Ces choix ont été réalisés après des essais sur les Timers qui devaient gérer l'évolution du scénario. Ce Timer a été fixé à un intervalle de 15 000 millisecondes.

En fonction du niveau de difficulté de la tâche, les vagues de navires et le type de navires à faire apparaître ont été répartis toutes les 15 secondes.

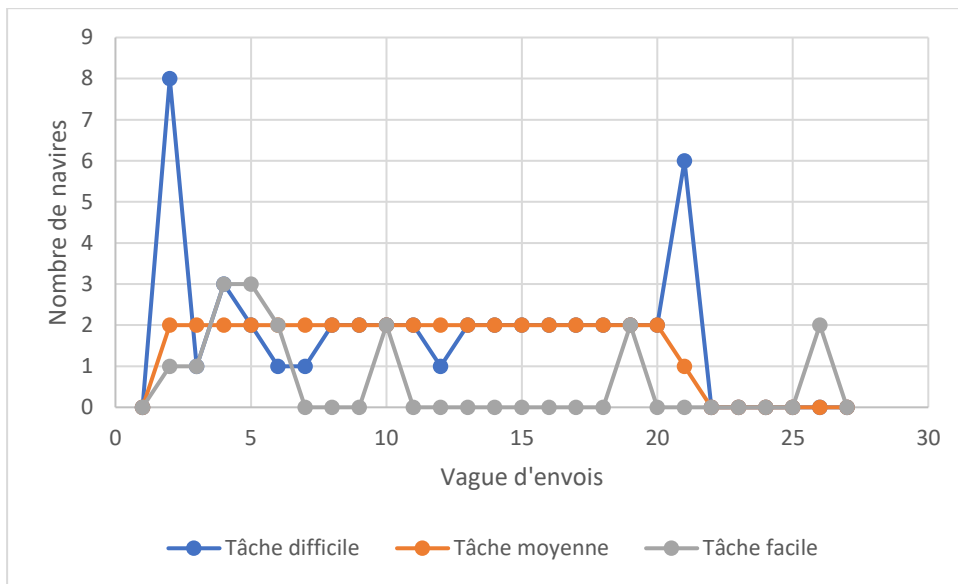


Figure 82. Nombre de navires par vague en fonction du niveau de difficulté

La répartition du nombre de navires par vague diffère en fonction du niveau de difficulté, mais le nombre de navires en lui-même n'est pas le seul élément qui varie [Figure 82].

La répartition diffère également par rapport aux navires ennemis envoyés à moins de 150 mètres et aux navires alliés envoyés en route de collision.

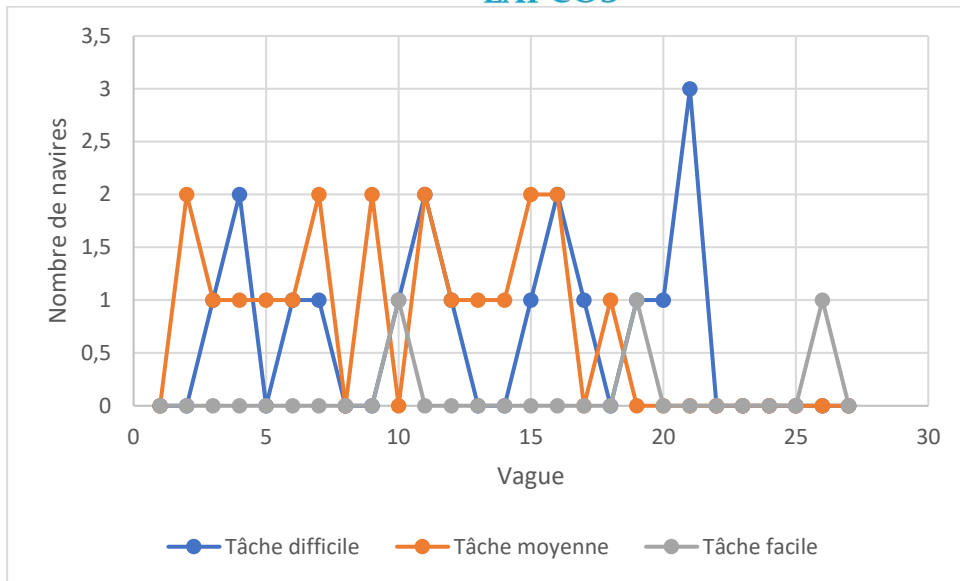


Figure 83. Nombre de navires à moins de 150 m, par vague en fonction du niveau de difficulté

Le nombre de navires à moins de 150 m est plus nombreux lors de la tâche difficile, mais l'important était surtout dans la répartition du nombre par vague [Figure 83].

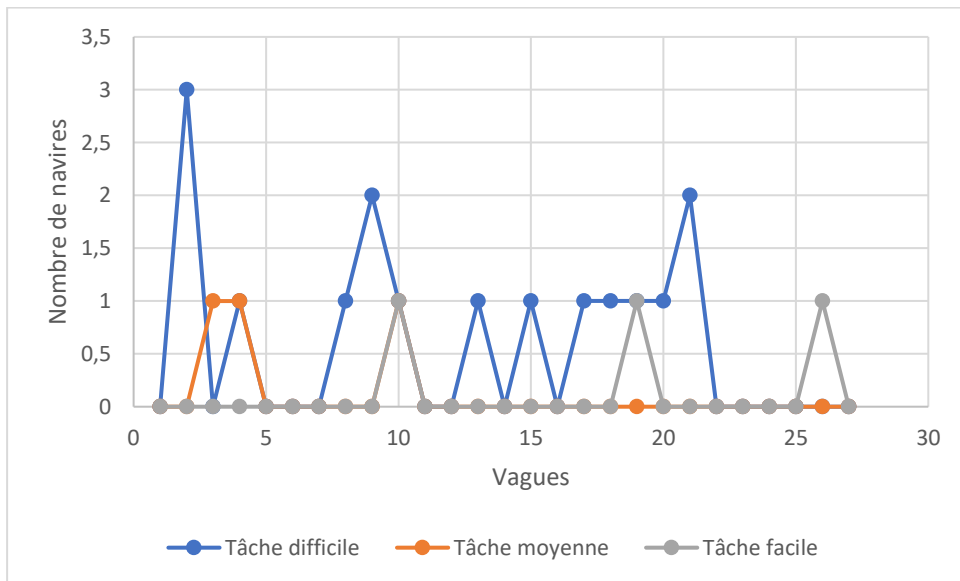


Figure 84. Nombre de navires en voie de collision, par vague en fonction du niveau de difficulté

Le nombre de navires en voie de collision est reparti différemment également [Figure 84]. Et il faut prendre en compte le fait que, si pour la tâche facile, les navires alliés compris parmi les navires en voie de collision n'apparaissent qu'une seule fois, pour les tâches modérément difficile et difficile, ces navires réapparaissent une fois qu'ils avaient parcouru l'écran.

Le nombre de vagues et de navires apparaissant par vague ne permet pas d'indiquer le nombre de navires présents sur l'écran à chaque instant. En effet, chaque navire se déplace avec une



certaine vitesse et certains navires peuvent être détruits par le participant pour respecter la consigne.

La répartition mise en place permet de prendre en compte le nombre de navires présent à tout moment, malgré le dynamisme du système. Il a donc été nécessaire de mener plusieurs essais.

### 3.1.5.1.2 Les interactions entre ces variables

Le dynamisme signifie que le scénario doit pouvoir évoluer en l'absence de l'action du participant. Pour cela, les navires présents doivent avoir des comportements simulant une certaine intelligence. Il a donc été important par exemple de mettre des procédures d'évitement pour chaque navire.

Pour faire suite aux essais réalisés, la solution définitive a été de mettre en place 8 comportements d'évitement dans chacun des 40 navires. Ces 8 comportements varient en fonction de la direction du navire et du navire qui risque d'entrer en collision avec lui.

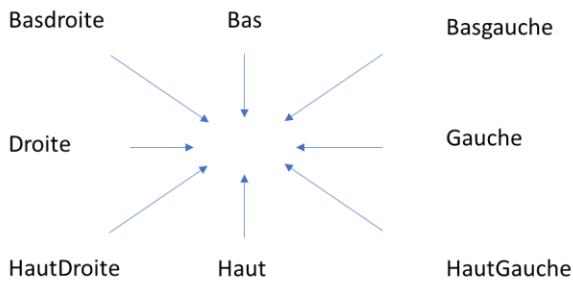


Figure 85. Les différents risques de collisions pour un navire

Des catégories intégrées [Figure 85] dans le code de chaque navire permettent de détecter sa direction.

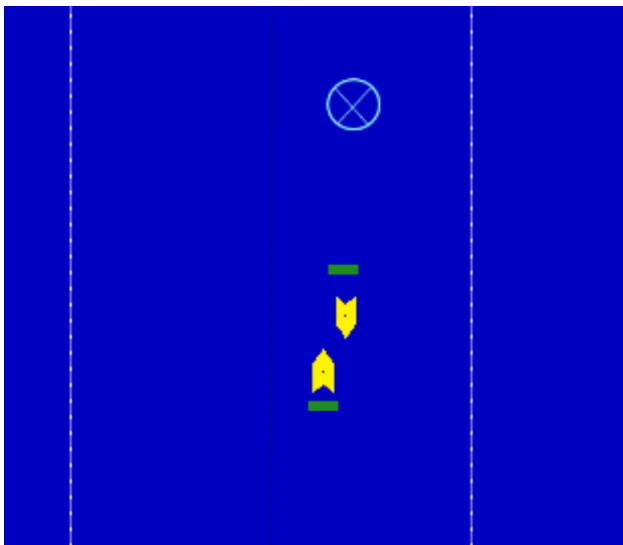


Figure 86. Manœuvre d'évitement de collision entre 2 navires



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Ces manœuvres d'évitement ne sont pas mises en place avec le porteur. Dans ce cas, c'est au participant de réaliser la manœuvre [Figure 86].

3.1.5.1.3 *La simultanéité des évènements*

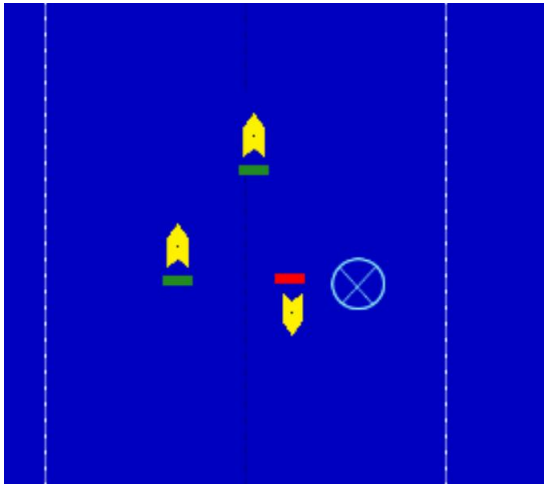


Figure 87. Évitement de collision et navire ennemi à moins de 150 mètres

En fonction du niveau de difficulté, des évènements simultanés [Figure 88] peuvent avoir lieu. Dans notre cas, il s'agit principalement d'une collision à éviter et du repérage d'un navire ennemi à moins de 150 mètres.

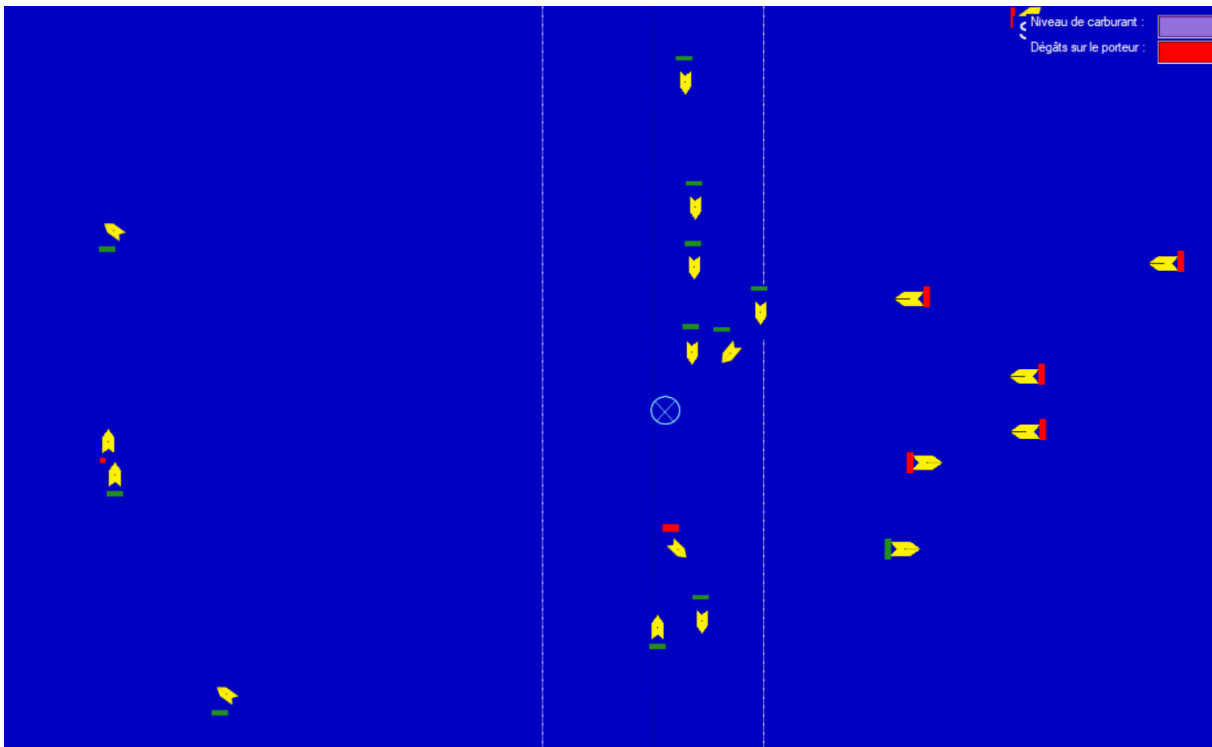


Figure 88. Capture d'écran de la tâche difficile

En fin de tâche difficile notamment, le nombre de navires ennemis arrivant augmente et les risques de collisions sont toujours présents. Certains navires ennemis arrivent alors à des vitesses très proches, et peuvent donc atteindre le porteur au même moment.

### 3.1.5.1.4 *La variabilité et l'imprévisibilité des informations*

L'imprévisibilité des informations apparaît sur 3 niveaux.

- Tout d'abord, un des navires ennemis disparaît lorsqu'il approche des 150 mètres.
- Ensuite, un navire a une trajectoire changeante. Celui-ci a été programmé de façon à modifier sa direction en fonction de sa proximité d'avec le porteur.
- Enfin, les scénarios étant construits de manière à ce que les tâches puissent être réalisées sans nécessiter l'ouverture des fenêtres d'informations, des informations peuvent être manquantes pour certains navires [Figure 89].

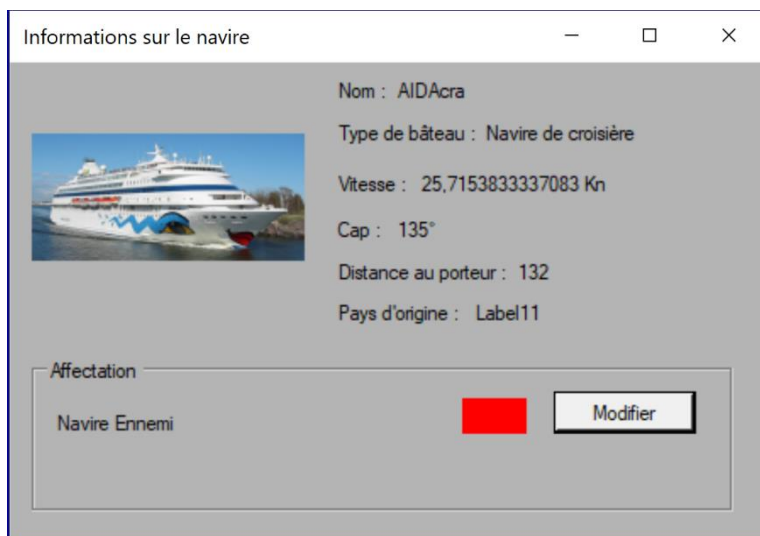


Figure 89. Exemple des informations incomplètes sur un navire

L'implémentation de cette fenêtre d'information s'inspire des sites de suivi temps réel de navires tel que [MarrineTraffic.com](http://MarrineTraffic.com) [Figure 90].

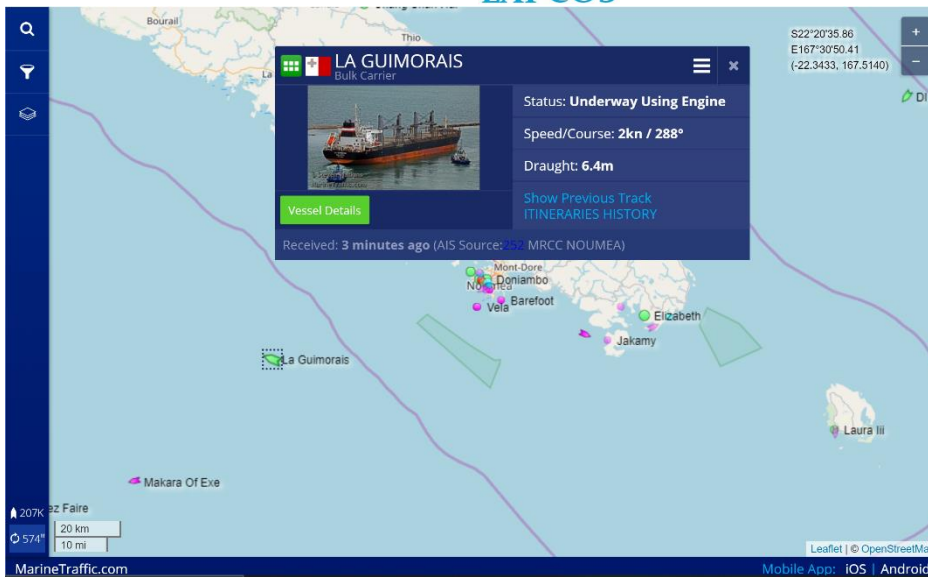


Figure 90. Fenêtre d'information sur un navire sur MarineTraffic.com

### 3.1.5.1.5 *La sensibilité du système aux interventions des opérateurs*

Aucun temps de latence n'a été introduit entre les actions de l'opérateur et les réactions du système. Le seul temps de latence pouvant exister peut être dû aux limites du système informatique et à la qualité du code.

Lorsque la fenêtre d'information est ouverte, il n'est pas possible d'agir sur la situation. Maintenir fenêtre ouverte provoque donc un temps de latence.

De la même manière, l'ouverture de la fenêtre de tir empêche les actions sur le système.

### 3.1.5.1.6 *L'instabilité ou la criticité du système*

Plus de 11 000 lignes de code, pour les seules parties des fonctionnalités, ont été nécessaires pour réaliser l'application. Certaines parties de code faisant appel à d'autres, plus la conception d'une application avance plus il devient difficile de réaliser des changements sur celui-ci, car un changement demande une vérification de nombreuses lignes de code pour vérifier les occurrences à modifier ou à compléter. Dans le cas de cette application, certains comportements instables n'ont ainsi pu être corrigés et ont été introduits comme partie prenante des tâches.

Les comportements pouvant donner une image d'instabilité du système sont les suivants :

- Durant les tâches modérée et difficile, un des navires ennemis disparaît lorsqu'il s'approche de la limite des 150 mètres.
- Un navire allié disparaît également durant une des phases de la tâche difficile.
- Les informations sur les navires peuvent parfois être les mêmes pour plusieurs navires.



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Ces éléments ont été considérés comme des moyens complémentaires de faire varier la complexité et comme éléments de question pour la conscience de situation.

### 3.1.5.2 Information pour la conscience de la situation

#### La vitesse

```

1  Public Class InfoNavire
2
3      Public myClosed As Boolean
4
5
6      Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
7          Me.TopMost = False
8          GestionCouleur.TopMost = True
9          GestionCouleur.ShowDialog()
10
11         PictureBox1.BackColor = Form1.panelclic.BackColor
12
13     End Sub
14
15     Private Sub InfoNavire_load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
16         PictureBox1.BackColor = Form1.panelclic.BackColor
17         Dim megalpixels As Double = 3779.527559
18         Dim knot As Double = 1.94384
19         If Form1.panelclic.Equals(Form1.Panel4) Then
20             lbl_nombateau.Text = "LARGO"
21             lbl_typebateau.Text = "CARGO"
22             'lbl_distance.Text = Form1.Distance(Form1.Pn_enemy2.Location.X, Form1.MyBoat.Location.X, Form1.Pn_enemy2.Location.Y, Form1.MyBoat.Location.Y)
23             Pb_photobateau.Image = Image.FromFile("C:\Users\hugo\source\repos\WyExperimentationV1\WyExperimentationV1\LARGO.jpg")
24             Pb_photobateau.Image = My.Resources.ResourceManager.GetObject("LARGO")
25             Pb_photobateau.SizeMode = PictureBoxSizeMode.Zoom
26             lbl_vitesse.Text = (((3 / megalpixels) * 1000000000) / (Form1.Enemy2mover.Interval * 1000)) / 2 * knot & " Kn"
27             lblpays.Text = "Cnisme"
28             lbl_cap.Text = "180°"
29         End If
30
31         If Form1.panelclic.Equals(Form1.Panel10) Then
32             lbl_nombateau.Text = "LE HAVRE"
33             lbl_typebateau.Text = "BATEAU PILOTE"
34             Pb_photobateau.Image = My.Resources.ResourceManager.GetObject("HAVRE")
35             Pb_photobateau.SizeMode = PictureBoxSizeMode.Zoom
36             lbl_vitesse.Text = (((1 / megalpixels) * 1000000000) / (Form1.Boat1mover.Interval * 1000)) / 2 * knot & " Kn"
37             lblpays.Text = "France"
38             lbl_cap.Text = "180°"
39         End If
40         If Form1.panelclic.Equals(Form1.Panel12) Then
  
```

Figure 91. Extrait du code d’affichage des informations par navires.

La vitesse affichée pour chaque navire est un calcul issu de la vitesse réelle de la piste sur l’écran et non de la vitesse réaliste d’un navire existant [Figure 91]. Bien que des recherches aient été réalisées pour obtenir les limites de vitesse des navires choisis pour le support, il a été jugé que cela serait une grande contrainte dans la conception et ne serait pas nécessairement un reflet du comportement de la piste sur l’écran.



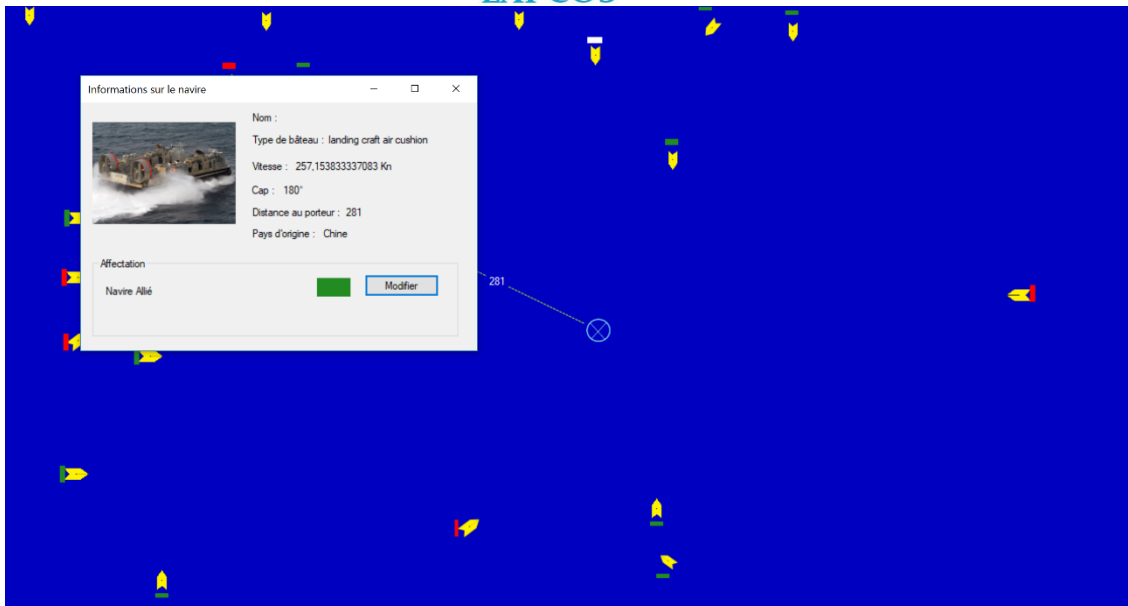


Figure 92. Capture d'écran de l'interface de l'application support lors d'un double-clic sur un navire

L'information de la vitesse est obtenue après un double-clic sur un navire [Figure 92].

### La quantité d'armes disponibles

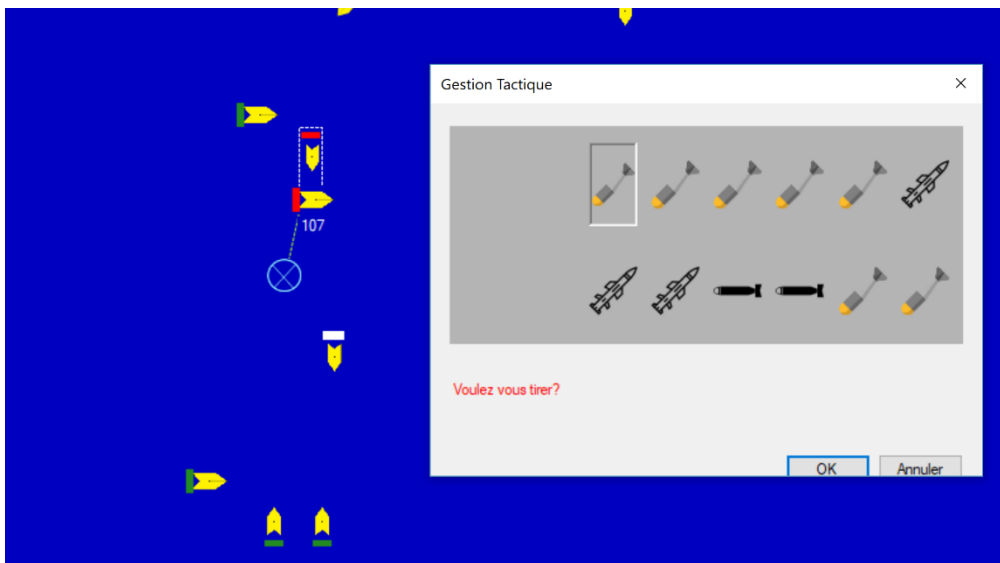





Figure 93. Capture d'écran d'une manœuvre de destruction d'une piste hostile

Lorsque l'opérateur décide de détruire un navire ennemi, il peut utiliser la touche « T » du clavier qui permet alors de visualiser la quantité de missiles restants [Figure 93].

Dans cette fenêtre, plusieurs types de missiles sont disponibles.

Les missiles représentés ainsi  peuvent être utilisés pour la destruction des navires ennemis. Tandis que les autres représentations ( et ) ont un code inactif. Ces derniers représentent des distracteurs.

### Le niveau de carburant

Le niveau de carburant est représenté par une barre de progression toujours disponible.

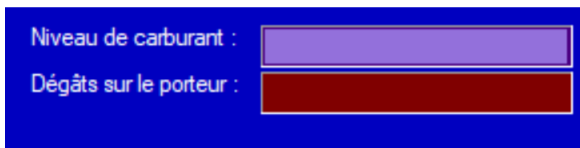


Figure 94. Informations sur l'état du porteur en début de tâche

En début de tâche, la barre de progression du niveau de carburant est pleine et elle diminue en fonction des déplacements du porteur [Figure 94].



Figure 95. Informations sur l'état du porteur après événements

Pour chaque déplacement la barre de progression diminue d'un pas tant qu'elle n'a pas atteint zéro [Figure 95]. L'évolution de la barre de progression a été testée à plusieurs reprises, pour qu'elle ne soit ni trop large, ni trop faible par rapport aux nécessités de déplacements du porteur durant les tâches [Figure 96].

```
Public Sub Cadredroite()
    'permet de bouger tout les items présent sur la forme à droite
    'donne l'impression d'un mouvement vers la gauche
    For x As Integer = 0 To 2
        wave(x).Left += 1
    Next
    'Next
    For y As Integer = 6 To 11
        pwave(y).Left += 1
    Next
    'Next
    For i As Integer = 0 To 39
        boats(i).Left += 1
    Next
    'déplacer les lignes
    Linemiddle.StartPoint = New Point(Linemiddle.StartPoint.X + 1, Linemiddle.StartPoint.Y)
    Linemiddle.EndPoint = New Point(Linemiddle.EndPoint.X + 1, Linemiddle.EndPoint.Y)
    lineright.StartPoint = New Point(lineright.StartPoint.X + 1, lineright.StartPoint.Y)
    lineright.EndPoint = New Point(lineright.EndPoint.X + 1, lineright.EndPoint.Y)
    lineleft.StartPoint = New Point(lineleft.StartPoint.X + 1, lineleft.StartPoint.Y)
    lineleft.EndPoint = New Point(lineleft.EndPoint.X + 1, lineleft.EndPoint.Y)
    If ProgressBar1.Value > 1 Then
        ProgressBar1.Value -= 1
    End If
    Linemiddle.EndPoint.Y += 2
    lineleft.StartPoint.X += 2
End Sub
```

Figure 96. Extrait de code pour un déplacement du porteur à droite

## La classification des navires

La reconnaissance de la classification des navires a été facilitée pour les participants. La couleur rouge pour les ennemis et la couleur verte pour les alliés. L'idée de départ était de réaliser des navires ayant la couleur propre à leurs classifications. Cela s'est avéré trop coûteux durant les premières phases de conception. En effet, il n'avait pas encore été déterminé si les navires pouvaient changer de classification ou non. Une des premières versions de la tâche devait permettre, à l'image du WCT, au participant de classer le navire en fonction de son comportement [Figure 97]. Les premiers navires étaient donc créés en ce sens. En effet, au niveau du code et des ressources nécessaires, il était plus simple de modifier la couleur d'une pastille à l'arrière de la piste, que de modifier l'image représentant la piste.

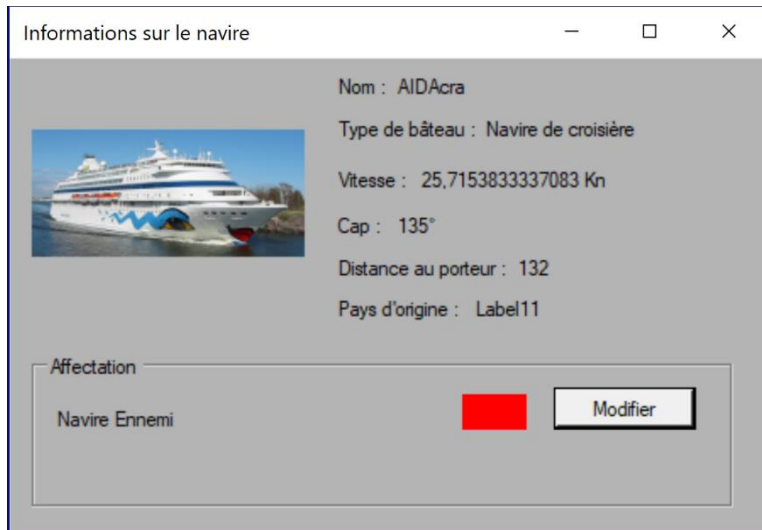


Figure 97. Possibilité de modifier l'affectation du navire sélectionné

Une autre raison à l'utilisation de la pastille de couleur à l'arrière de la piste comme moyen d'indiquer l'affectation est qu'il avait été décidé que tous les navires seraient créés au niveau

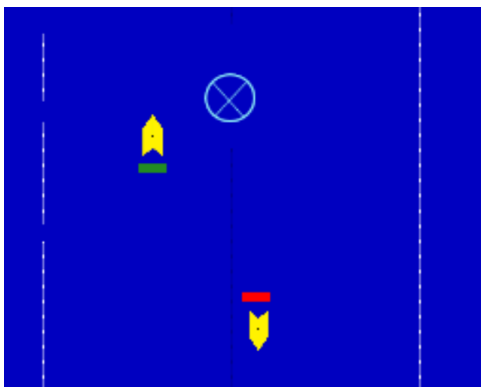


Figure 98. Navire allié et navire ennemi

du code. Ce qui aurait permis de gérer des comportements communs, et de faciliter la tâche de programmation, en permettant de faire appel au nombre de pistes voulues directement depuis

le code. Cette opération s’est avérée très coûteuse en ressource pour l’ordinateur. Il a donc fallu revenir à la création des pistes une à une [Figure 99], et inclure chaque nouveau navire dans toutes les parties du code où il doit être appelé.

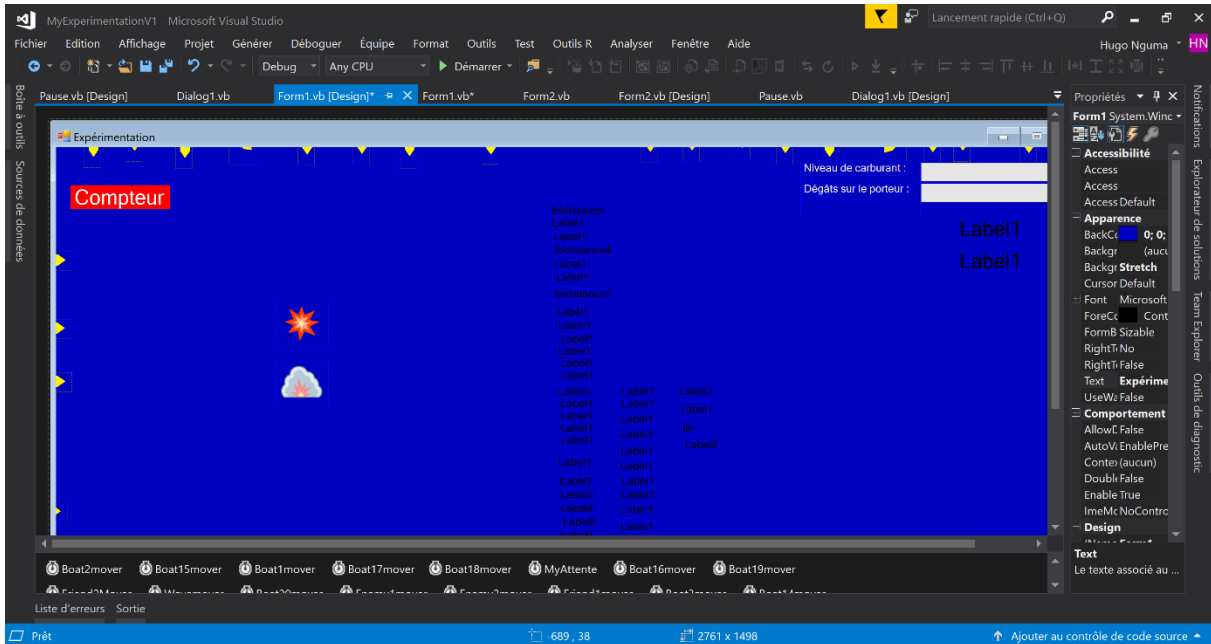


Figure 99. Interface du support de l’expérimentation dans l’outil de conception.

## Le choix de la cible

Pour détruire ou surveiller une cible, l’action de sélection est la même. Le participant effectue un clic sur le navire en question.

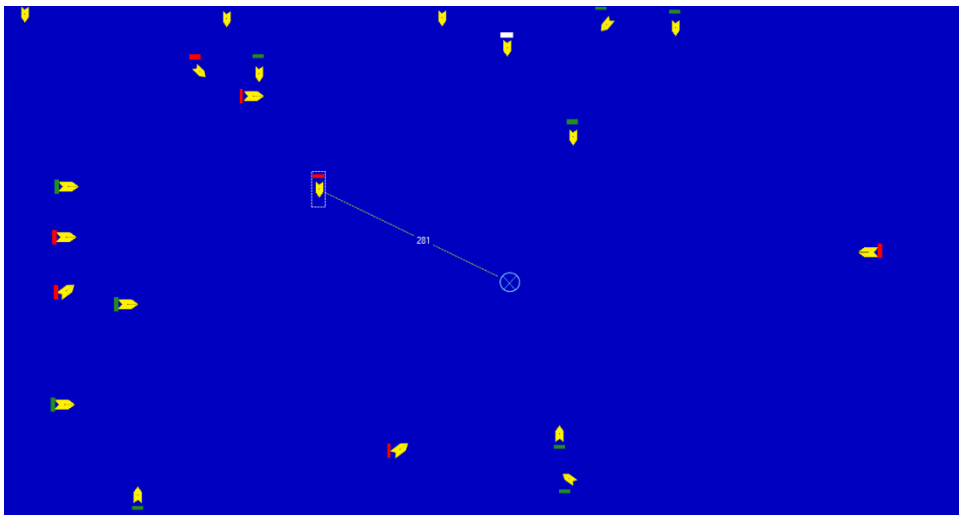


Figure 100. Capture d’écran montrant un navire sélectionné

Le navire sélectionné est alors encadré [Figure 100]. Et pour annuler la sélection, le participant doit effectuer un second clic sur celui-ci.

### La distance à la cible

Lorsqu'un navire est sélectionné, il est possible de suivre l'évolution de sa distance par rapport au porteur [Figure 102]. La mise en place de système de suivi a été inspirée par certains sites de suivi réels du trafic maritime [Figure 101].

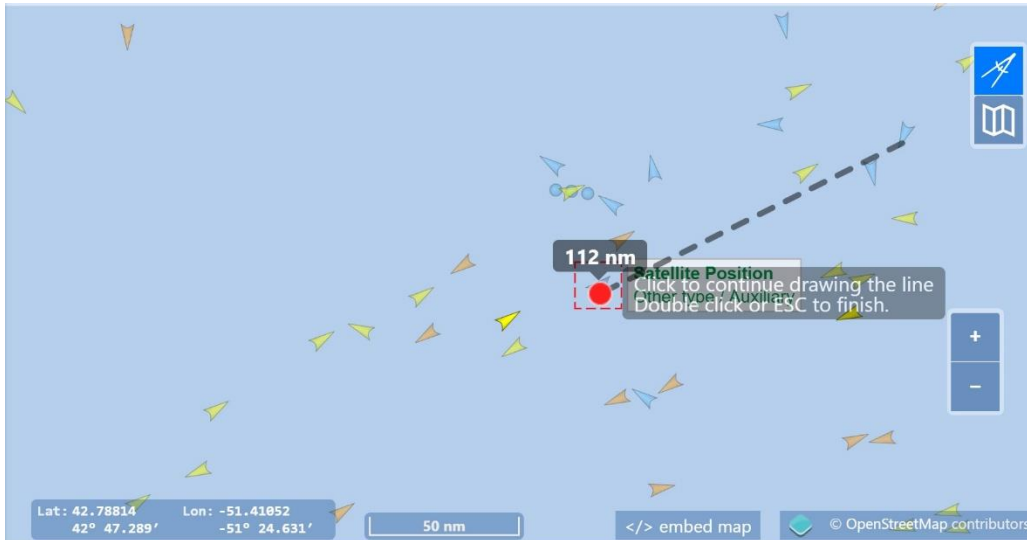


Figure 101. Récupération d'une information de distance sur le site vesselfinder.com

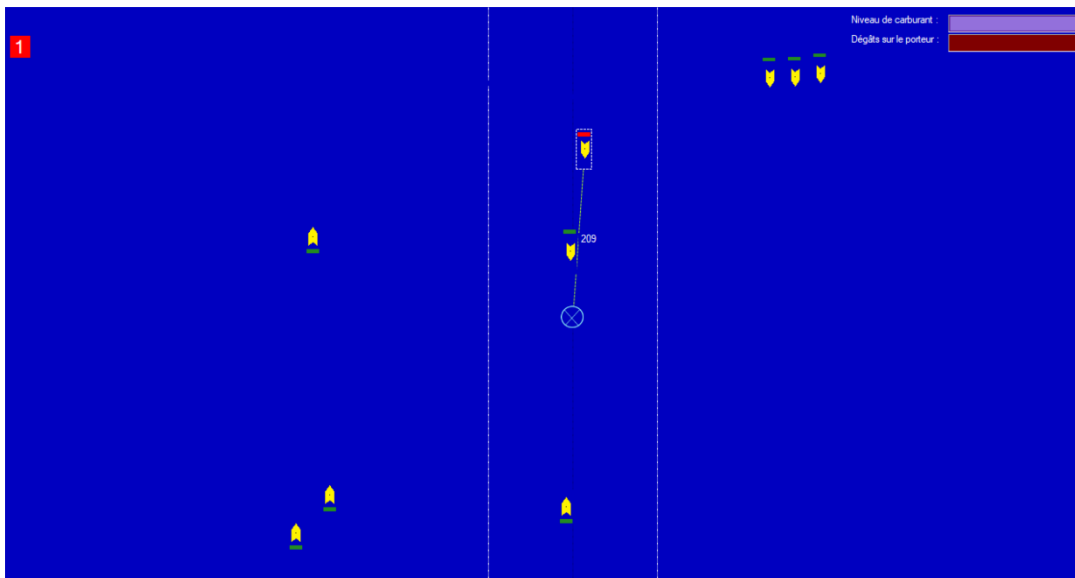


Figure 102. Affichage de la distance au porteur d'une piste

### 3.1.5.3 Éléments complémentaires

### Feedback collision

Deux retours d'informations sont mis en place pour les collisions. Lors d'une collision avec le porteur, une image apparaît sur le porteur [Figure 104] pour indiquer au participant qu'une collision est en cours, et une barre est ajoutée à la barre de progression « dégâts sur le porteur » [Figure 103].

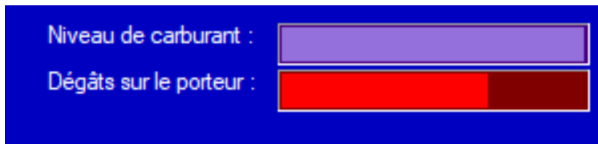


Figure 103. Évolution de l'état du porteur durant une tâche

La barre de progression permet un suivi des collisions n'ayant pu être évitées durant la tâche. Le participant devant maintenir l'intégrité du porteur, la barre est une source d'information sur l'état de celui-ci.

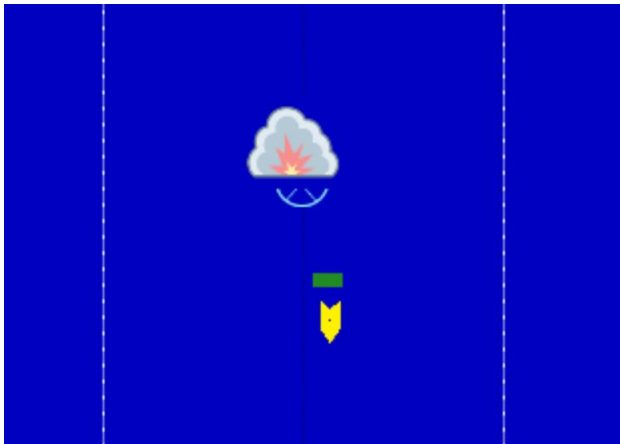


Figure 104. Capture d'écran d'un événement de collision

L'image permet quant à elle d'alerter le participant en direct sur la collision en cours.

### Feedback destruction

Il était important d'indiquer au participant que son action tactique a eu l'effet escompté. Pour cela dans une version antérieure l'action de destruction de navire était suivie par l'apparition d'un pop-up de confirmation [Figure 105].

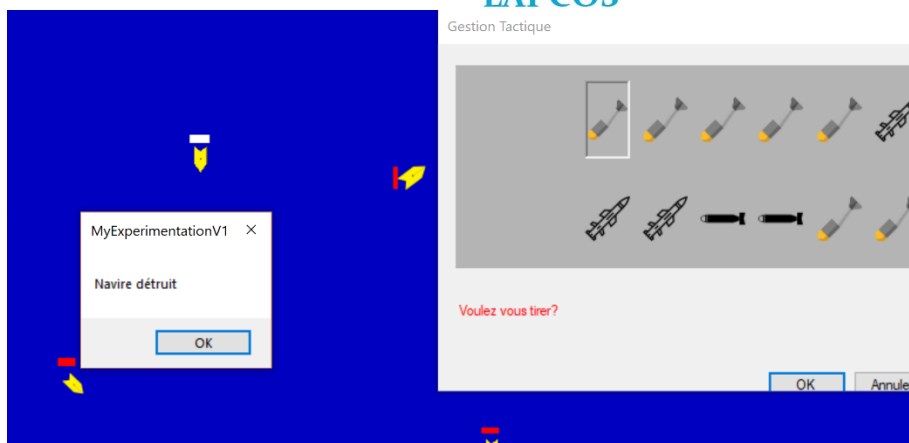


Figure 105. Capture d'écran de la confirmation de destruction d'une piste hostile

Ce pop-up nécessitait une action utilisateur supplémentaire qui augmentait inutilement la difficulté de la tâche lors des essais, elle a finalement été remplacée par une petite image qui remplace la piste détruite pendant quelques secondes [Figure 106]. Elle permet ainsi d'indiquer au participant quel navire a été détruit en plus de l'information du succès de l'action entreprise.

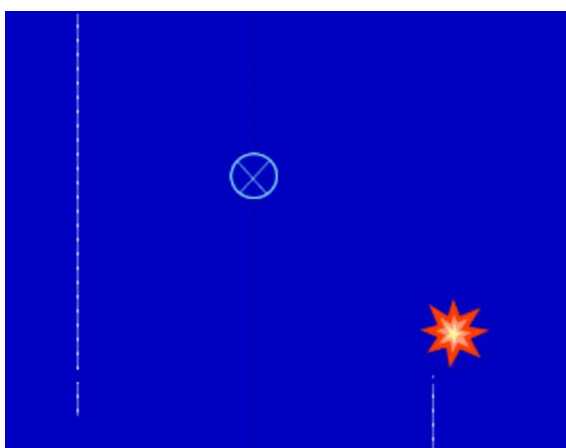


Figure 106. Capture indiquant un navire détruit

### Limitation des mouvements

Une des difficultés durant la conception du support a été celle d'obtenir un équilibre entre la liberté d'action des participants due au dynamisme et à l'interactivité du système, et la nécessité de pouvoir comparer les résultats, et donc de maintenir un cadre commun.



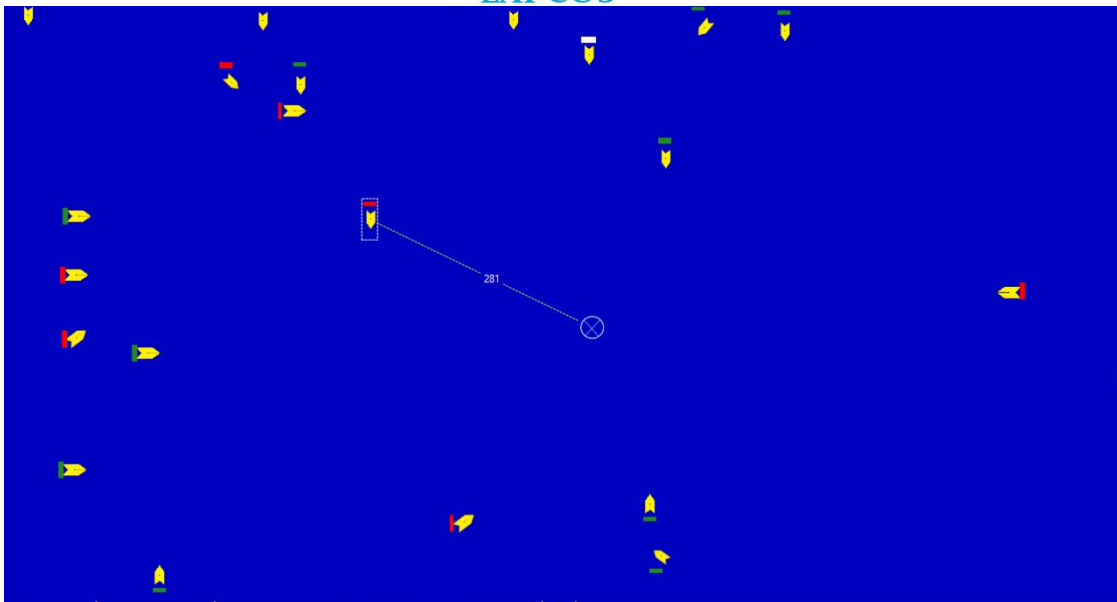


Figure 107. Capture d'écran d'une version antérieure du support d'expérimentation

Ainsi, durant les premières étapes de conception du support d'expérimentation, les participants avaient tendance à se déplacer dans tous les sens pour pouvoir aller à l'encontre des navires ennemis et se retrouver à moins de 150 mètres pour les détruire [Figure 107].

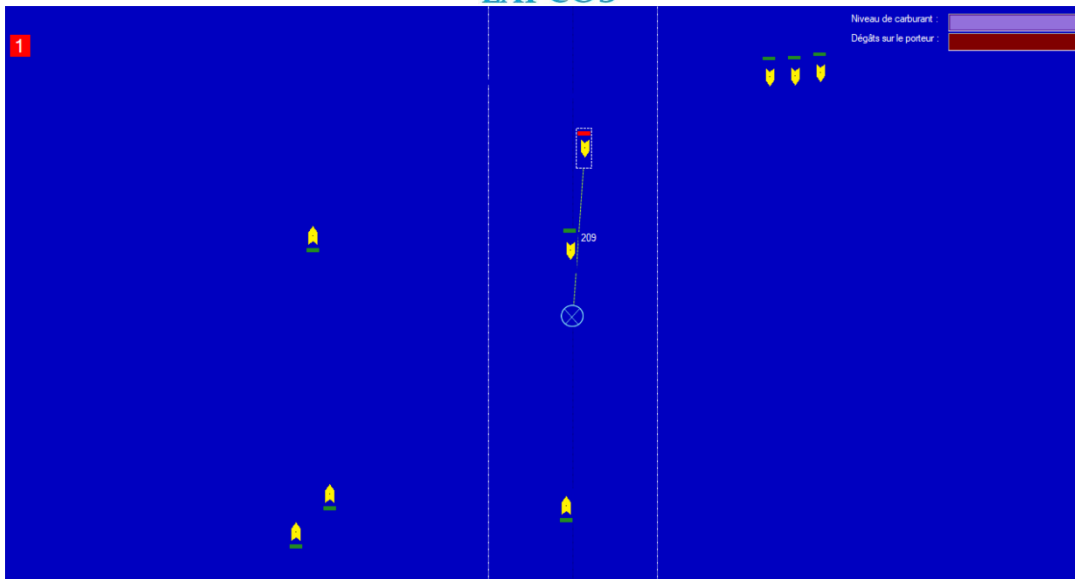
Cela créait une très grande disparité de comportements. Il a été nécessaire de poser un cadre. Après réflexions et échanges avec certains participants testant les versions antérieures, il a été décidé d'introduire un système de carburant limité et une frontière encadrant les actions du participant.

### **Le carburant**

C'est dans ce contexte que l'information sur l'évolution du carburant du porteur a été intégrée à l'application. Il s'agissait de pousser les participants à limiter leurs déplacements par une prise en compte de la quantité de carburant disponible.

### **Les lignes**

Des lignes ont été ajoutées de part et d'autre du porteur [Figure 108]. Il était indiqué aux participants que, durant la durée des tâches, ils devaient autant que possible rester entre ces lignes. Il n'y avait pas d'interdiction, car il était précisé que, dans les contextes de risque de collision notamment où le seul moyen d'échapper et de sortir un temps du cadre, cela était acceptable.



**Figure 108. Lignes encadrant le porteur**

Les essais effectués par la suite indiquaient bien que ce cadre ne limitait pas les participants dans la réalisation des tâches, mais qu'il permettait de rester autant que possible dans un scénario commun.

Sans les lignes, les participants des premières versions ayant tendance à se déplacer le plus possible pour temporiser l'arrivée d'un navire ennemi par exemple, les moments où les événements sont censés se produire tels que la destruction d'un navire étaient trop éloignés d'un participant à un autre. Cet éloignement rendait alors difficiles les comparaisons d'un participant à un autre.

## Limitations sur la destruction des navires ennemis

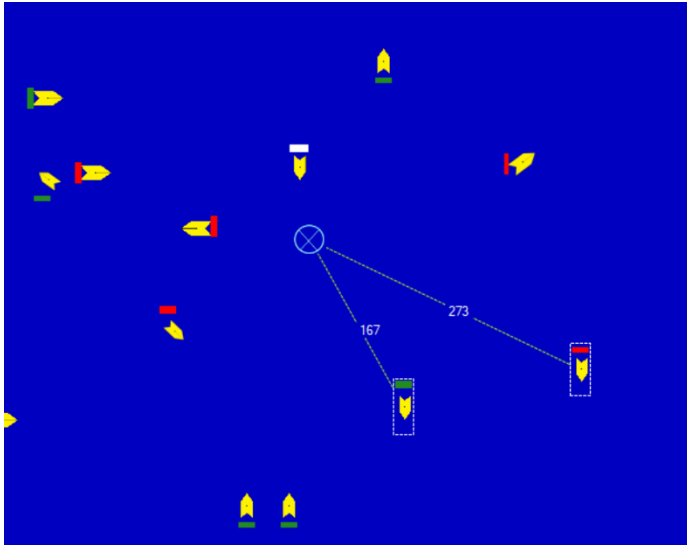


Figure 109. Capture d'écran de la sélection de deux navires

Pour faciliter le suivi du comportement des navires environnants, il est possible de sélectionner autant de navires que nécessaire et de suivre l'évolution de leurs distances avec le porteur [Figure 109].

Cependant, la sélection permet également de détruire les navires. Certains participants aux étapes de tests sélectionnaient par conséquent plusieurs navires afin de les détruire.

Cela posait un problème quant à la réalisation des scénarios conçus. Il était donc nécessaire d'empêcher la destruction de plusieurs navires et d'obliger les participants à n'en sélectionner qu'un.

La solution trouvée a été celle de vérifier pour chaque clic si le clic a bien été réalisé sur un missile opérationnel. Lorsque ce n'est pas le cas, un message apparaît pour rappeler au participant de sélectionner un missile opérationnel.

Lorsque c'est le cas, le code passe en revue l'état de tous les navires pour déterminer s'ils sont dans un état sélectionné ou non. Le premier navire détecté en état sélectionné est détruit et la boucle de vérification s'arrête.

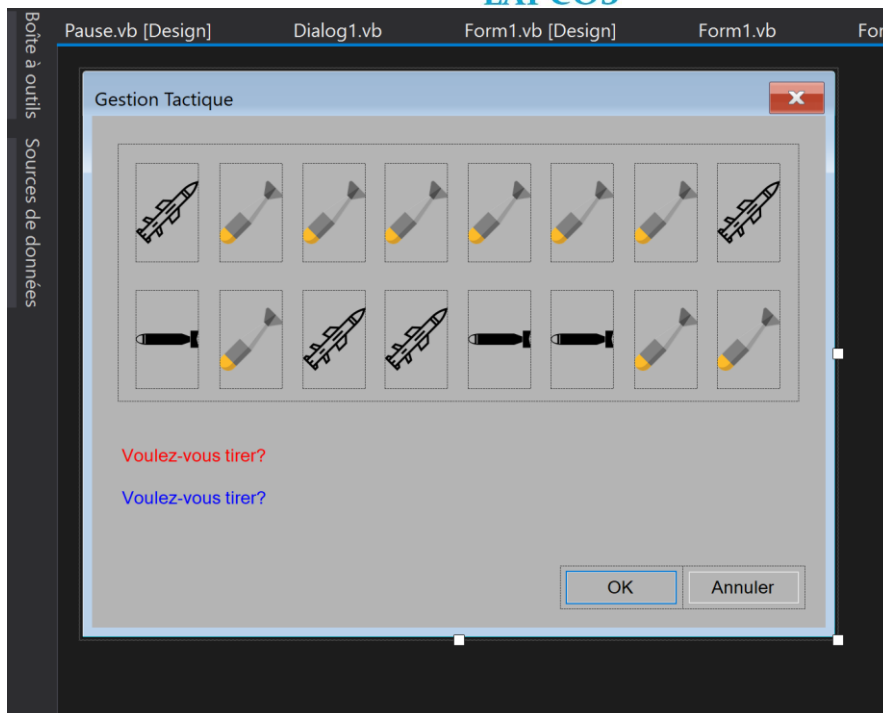


Figure 110. Interface de gestion de missile dans le concepteur

La solution n'est pas optimale, car lorsque le participant tente quand même de détruire plusieurs navires, un des navires est détruit, mais pas nécessairement celui qui devait être détruit.

Il a donc été nécessaire d'inclure, dans la phase de démonstration et d'entraînement, une règle sur le fait de ne sélectionner qu'un seul navire à détruire.

### Limitations liées aux ressources de l'ordinateur

Les limitations liées à l'utilisation des ressources de l'ordinateur ont influencé le choix d'un fond bleu statique et plutôt d'une image ou de mouvement. En effet, l'ajout d'une image de fond ou de mouvement de vague s'est avéré très coûteux en ressource, participant simplement à l'immersion, l'idée a été abandonnée. Les participants testeurs ayant pu s'impliquer sans nécessiter d'ajouts d'éléments immersifs.

Les limitations de ressources ont également joué un rôle dans la méthode de création de navires. La création de navires un à un est coûteuse en termes de temps, étant donné qu'à chaque nouveau navire il faut vérifier des lignes de codes antérieures pour éviter des conflits. Une solution pour parer à cela, a été celle de créer une Form « navire » qui intégrerait tous les paramètres nécessaires pour un navire tel que les informations permettant de calculer sa vitesse, son cap, etc. Ainsi il serait possible de faire appel à un nombre de navires voulu directement dans le code et de gérer ainsi plus simplement cette étape.

Cette approche s'est avérée également très coûteuse en ressource, ce qui s'est traduit par un support quasi non fonctionnel. Il a donc fallu revenir à l'approche antérieure.

## Intégration de situations communes

Pour vérifier la variabilité des stratégies, une situation imposant le choix a été mise en place à la fin de la tâche difficile.

Pour chaque tâche, le participant débute avec 9 missiles opérationnels [Figure 111]. Le nombre de navires à détruire est tel que lorsque la vague 20 arrive le participant se retrouve avec un nombre limité de missiles, inférieur au nombre d'ennemis arrivants. Parmi ces ennemis, certains risquent de passer la limite des 150 mètres, d'autres risquent d'entrer en collision avec le porteur.

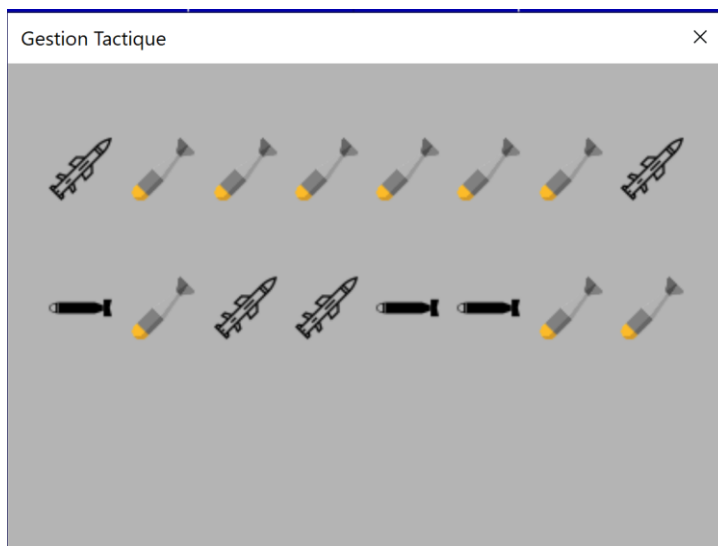


Figure 111. Missiles disponibles en début de tâche

Le participant est donc amené à prioriser les possibilités d'action qui s'offrent à lui. La meilleure réponse est de traiter en priorité le navire ennemi risquant d'entrer en collision avec le porteur, car celui-ci n'a pas de moyen d'échapper à la collision [Figure 112].

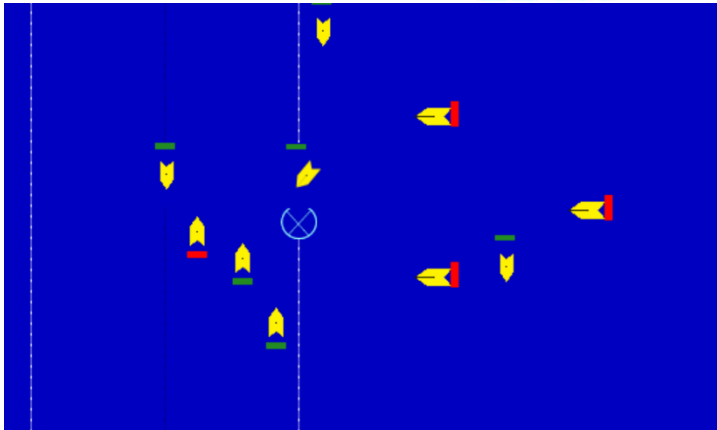


Figure 112. Exemple de situation en fin de la tâche difficile

### Le choix des tâches par l'expérimentateur

Le système intègre 3 tâches variant en niveau de difficulté, mais il intègre également un mode de calibration et une phase de démonstration pour expliquer le fonctionnement.

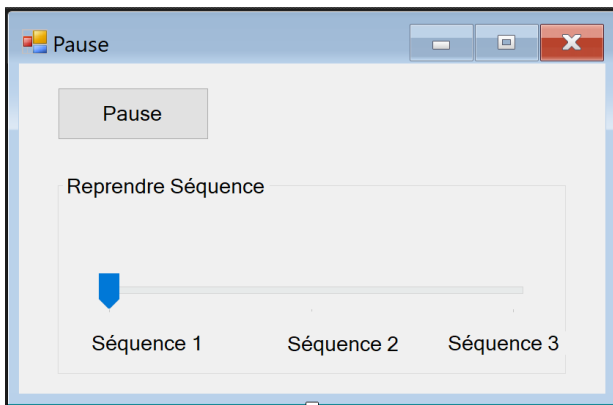


Figure 113. Version antérieure de l'interface permettant le contrôle de l'application

Les versions antérieures étaient conçues pour l'utilisation durant les expérimentations, mais également pour faciliter les vérifications nécessaires durant la programmation. Durant les prétests, les participants connaissaient le niveau de difficulté auquel ils allaient devoir faire face en prenant en compte l'ordre et le numéro [Figure 113].

Il a donc été décidé de modifier l'ordre et d'enlever les chiffres dans la version définitive [Figure 114].

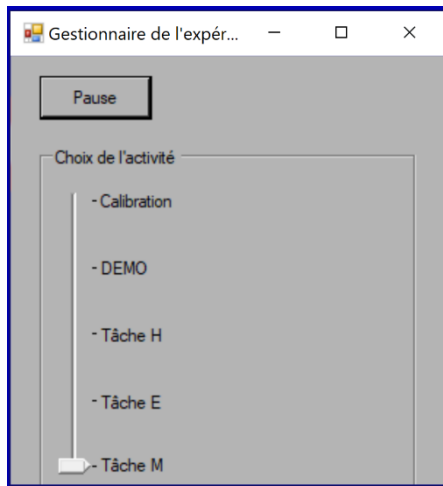


Figure 114. Version définitive de l'interface de contrôle



## Les actions utilisateurs

Au fur et à mesure de la conception de l'application, les possibilités d'actions ont pu évoluer.

Dans un premier temps, les différentes touches du clavier suivantes étaient attachées à des fonctions du support :

- La touche P permettait de mettre la tâche en cours en pause.
- La touche Z permettait de déplacer le porteur vers le haut.
- La touche W permettait de déplacer le porteur vers la gauche.
- La touche N permettait de déplacer le porteur vers la droite.
- La touche T permettait d'ouvrir la fenêtre de tir.

Les prétests ont permis de faire apparaître une difficulté pour les participants à réagir rapidement notamment pour gérer les touches des déplacements du porteur.

Les touches permettant de déplacer le porteur ont donc été remplacées par les touches :

- Q pour déplacer le porteur vers la gauche.
- D pour déplacer le porteur vers la droite.

Le déplacement vers le haut n'a plus été indiqué aux participants, bien que la touche Z soit restée active.

Le choix des touches Q et D est inspiré du domaine du jeu vidéo, qui utilise ces touches pour certaines fonctions dont parfois les déplacements, en permettant de faciliter les mouvements des utilisateurs. Elle permet de manœuvrer en ayant une seule main sur le clavier et l'autre sur la souris. La seule touche éloignée de ceux-ci et utile aux participants est la touche T [Figure 115].



Figure 115. Répartition des touches citées sur un clavier AZERTY

## 3.2 Les outils de mesures

### 3.2.1 L'Eye-tracker

L'Eye-tracker utilisé pour l'expérimentation est un **TOBII PRO GLASSES 2** dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Fréquence d'échantillonnage du regard entre **50 et 100 Hz**
- Possibilité de mesure de la taille de la pupille.

L'Eye-tracker a été utilisé principalement pour obtenir l'évolution de la taille de la pupille. En plus de cette information, il permet d'obtenir une vidéo supplémentaire de la réalisation de la tâche et des informations du comportement du regard sur l'écran.

Les participants portaient les lunettes durant toute la durée de l'expérimentation.

Comme l'explique Cain (2007), il n'y a pas d'indicateur définitif de la charge mentale malgré plus de 50 ans de recherche sur ce construit. Il est cependant accepté que la charge mentale est multidimensionnelle et que certaines mesures sont plus sensibles à certains aspects de la charge mentale que d'autres. C'est le cas du clignement des yeux qui réagirait différemment à la charge visuelle et mentale (Marquart, Cabrall et Winter, 2015). Il augmente lorsque la charge mentale augmente et diminue lorsque la charge visuelle augmente. [Figure 116].

Généralement le diamètre pupillaire augmente avec les niveaux élevés de traitement cognitif (2007). Le diamètre pupillaire fait partie des mesures oculaires étudiées pour la mesure de la charge mentale, avec les fixations et les clignements (Marquart, Cabrall et Winter, 2015). Une des limites de la pupillométrie cependant est sa sensibilité par rapport aux variations de luminosité.

Measure		Mental workload
Blinks	Rate	+ / -
	Duration	-
	Latency	+
	PERCLOS	+
Fixations	Duration	+
	Gaze variability	-
Pupillometry	Pupil dilation	+
	ICA	+

Figure 116. Relation entre les mesures physiologiques oculaires et la charge mentale du conducteur. Issue de Marquart, Cabrall et Winter (2015).

### 3.2.2 L'Échelle de Thayer [The Activation-Deactivation Adjective Check List]

Le questionnaire complété par le participant permet une mesure subjective du niveau d'activation physiologique. Les 20 items de l'échelle sont répartis dans quatre dimensions distinctes.

Les deux premières dimensions permettent de calculer un indice de vigilance (*energetic arousal*) en faisant le rapport entre :

- Energy (GA pour *General Activation*)
- Tiredness (DS pour *Deactivation-Sleep*).

Les deux autres dimensions permettent de calculer un indice de tension (*tensed arousal*) en faisant le rapport entre :

- Tension (HA pour *High Activation*)
- Calmness (GD pour *General Deactivation*).

### 3.2.3 Le questionnaire SAGAT et son évolution

Des questions en relation avec le support sont posées aux participants pour déterminer leur niveau de connaissances de la situation. Ces questions sont construites en s'inspirant des travaux sur le questionnaire **SAGAT**, notamment de Chauvin et Clostermann (2008) qui traitent de la conscience de la situation dans un contexte d'évitement de collisions en mer, en utilisant notamment le questionnaire SAGAT.

#### SA Queries

Perception : Cliquer sur les bateaux alliés pour connaître les informations disponibles.

Cliquer sur les bateaux ennemis pour connaître les informations disponibles.

Cliquer sur les bateaux qui sont les plus proches de vous.

Compréhension :

Quel bateau est votre plus grande priorité ?

Quelle est la quantité de munitions disponibles ?

Projection : Quels bateaux ont des risques de collisions avec le porteur ?

Le questionnaire **SAGAT** étant principalement axé sur l'évaluation de l'interface, il ne répond pas vraiment au besoin. Bien qu'Endsley précise qu'il peut être utilisé pour comprendre et réellement avoir une valeur de la Situation Awareness, cette valeur ne sera pas suffisante pour comprendre les effets de la vigilance sur la Situation Awareness.

La conscience de la situation a donc été mesurée au travers d'un autre questionnaire.

En premier lieu, il était expliqué aux participants que les questions allaient concerner leurs stratégies et les informations qui leur ont semblé pertinentes pour prendre des décisions.

Ensuite les questions ont été posées sous forme d'un entretien en lien avec les *SA Queries* établies en amont :

- Lors de la dernière action réalisée, la destruction d'un navire ennemi, quelle information vous a été la plus utile/pertinente pour prendre votre décision :
  - La vitesse
  - La distance
  - La trajectoire
  - La direction
  - Les informations sur le navire
- Quel est le nombre de missiles disponibles/restants actuellement ?
- Avez-vous mis en place une priorité entre les évitements des navires alliés et la destruction des navires ennemis ?
- Avez-vous porté attention au niveau de carburant durant la tâche ?  
Cette information a-t-elle influencé votre stratégie ?
- Avez-vous surveillé l'évolution des dégâts sur le porteur ?  
Cette information a-t-elle influencé votre stratégie ?
- Sur quelle partie de l'écran avez-vous le plus porté votre attention ?  
(En cas de difficulté à répondre, demander en montrant l'écran s'il s'agissait du pourtour, du centre, d'une vision globale...)

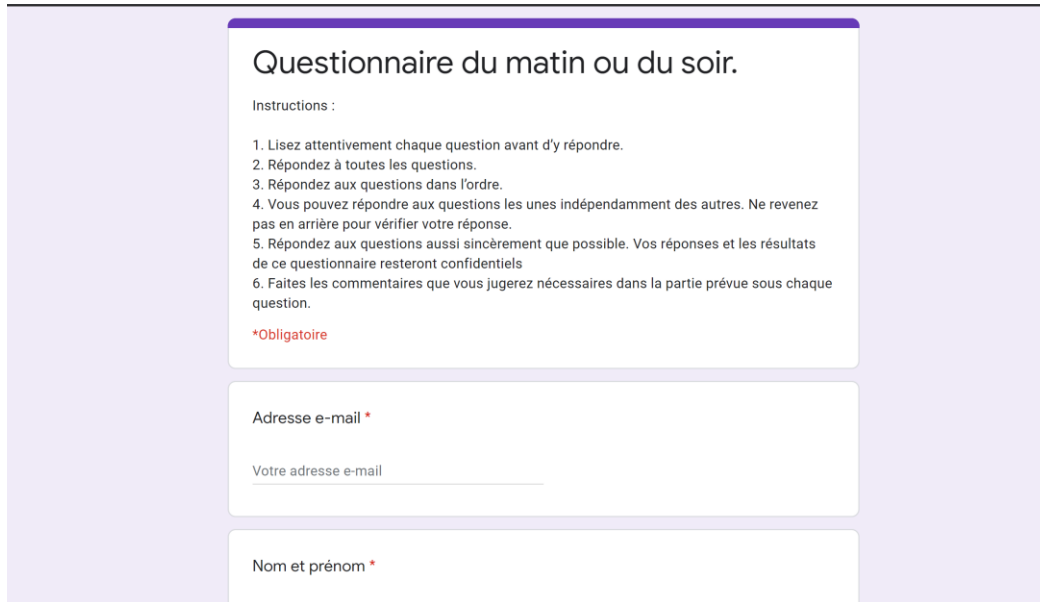
Les questions étaient posées face à l'écran sur lequel le système continuait de tourner et non face à un écran noir. Le but étant de minimiser les effets qu'aurait sur la mémoire une coupure complète de l'activité (de Winter, Eisma, Cabrall, Hancock, et Stanton, 2019). De même, il était demandé aux participants d'élaborer une réponse précise et justifiée et non de répondre par oui ou par non.

Les verbatims lors de l'expérimentation n'étaient pas forcés. En début de tâche, il était conseillé aux participants d'être le plus naturel possible et donc de ne pas avoir peur de réagir verbalement si c'est quelque chose qu'ils feraient naturellement et de ne pas se forcer si cela n'est pas dans leurs habitudes.

### 3.2.4 Le questionnaire de Horne et Ostberg

Le questionnaire de Horne et Östberg (1976) est le premier et le plus utilisé des questionnaires permettant de déterminer la typologie circadienne de l'individu (Levandovski, Sasso, et Hidalgo, 2013). Il se présente sous forme de 19 questions de type échelle de Likert sur les préférences individuelles en matière des périodes de la journée préférée pour le repos ou tout type d'activité.

Les participants potentiels ont pu compléter ce questionnaire avant que leur soit assigné un horaire de passation. Le questionnaire était envoyé par mail et a été recréé sur Google Forms [Figure 117].



**Questionnaire du matin ou du soir.**

Instructions :

1. Lisez attentivement chaque question avant d'y répondre.
2. Répondez à toutes les questions.
3. Répondez aux questions dans l'ordre.
4. Vous pouvez répondre aux questions les unes indépendamment des autres. Ne revenez pas en arrière pour vérifier votre réponse.
5. Répondez aux questions aussi sincèrement que possible. Vos réponses et les résultats de ce questionnaire resteront confidentiels
6. Faites les commentaires que vous jugerez nécessaires dans la partie prévue sous chaque question.

**\*Obligatoire**

Adresse e-mail \*

\_\_\_\_\_  
 Votre adresse e-mail

Nom et prénom \*

\_\_\_\_\_

Figure 117. Extrait du questionnaire de Hörne et Östberg (1976) présenté sur Google Forms

### 3.2.5 Noldus uLog

Le logiciel uLog est un *keylogger*. Cela signifie qu'une fois qu'il est lancé, il va enregistrer toute l'activité ayant cours sur l'ordinateur.

Les données enregistrées sont : les touches qui ont été utilisées, les applications ouvertes, les temps liés à ces activités.

### 3.2.6 OBS Studio

OBS Studio est un logiciel libre et open source qui permet l'enregistrement de vidéo apparaissant sur l'écran.

Le choix s'est porté sur OBS Studio après que des essais avec un logiciel différent ont été infructueux.

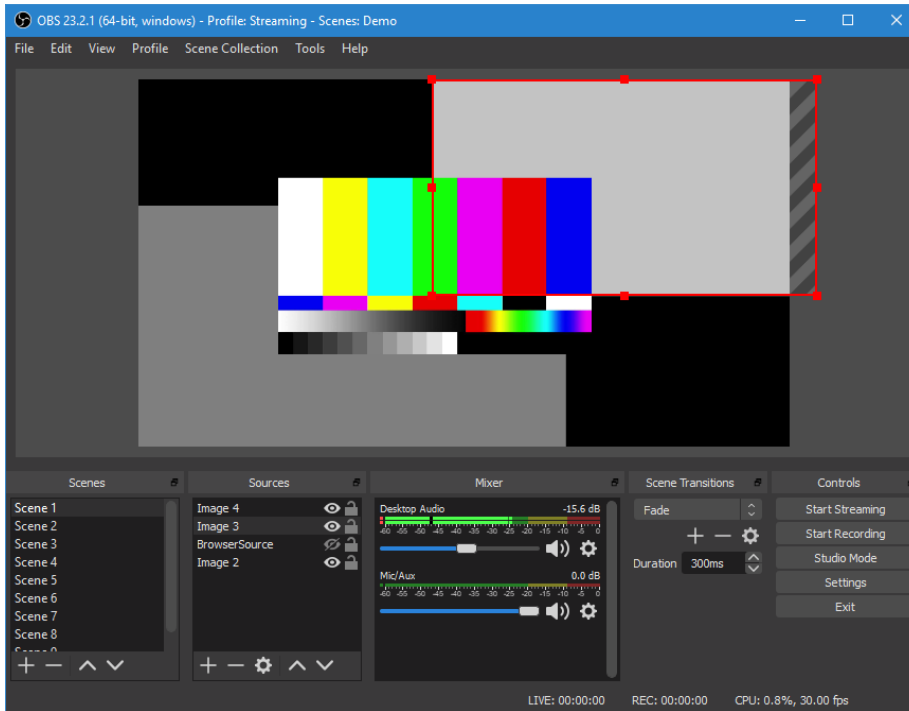


Figure 118. Capture d'écran du logiciel OBS Studio. Issue de (OBS Studio, s. d.)

Le logiciel a été calibré de façon à enregistrer le son extérieur et ce qui se passe sur l'écran.







Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

## 4.1 Disposition du laboratoire

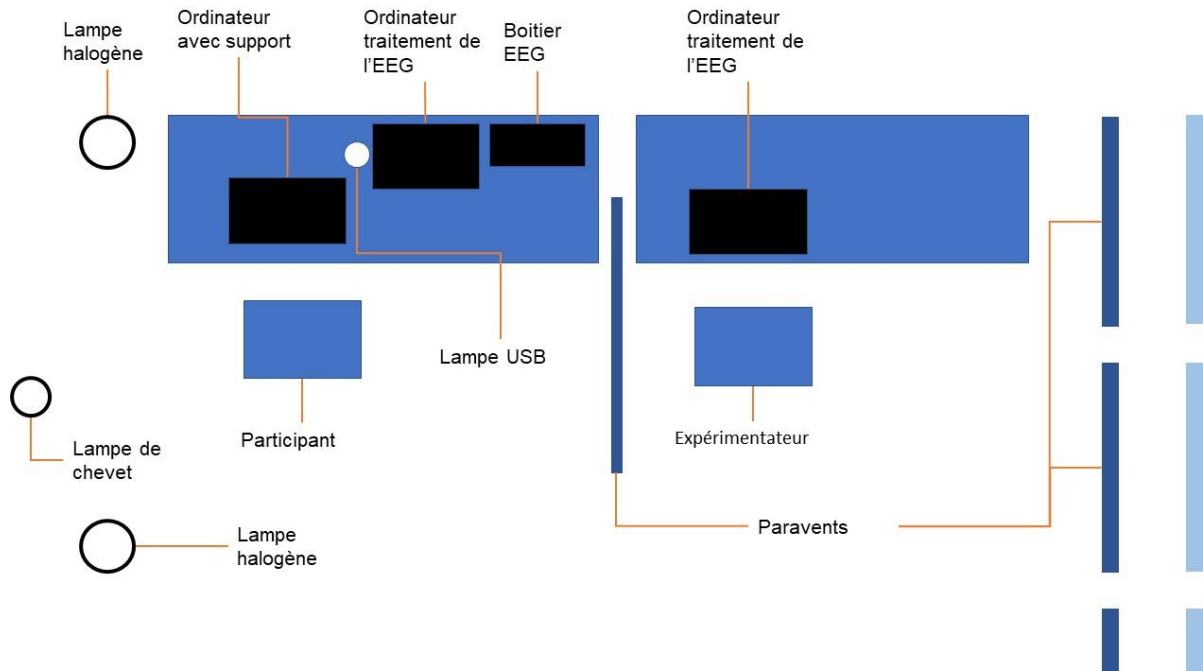


Figure 119. Disposition du matériel d'expérimentation

Pour minimiser autant que possible les effets des variations lumineuses sur le diamètre pupillaire, des sources lumineuses ont été placées à différents endroits de la salle, tandis que les rideaux étaient baissés et que des paravents avaient été positionnés autour du poste d'expérimentation [Figure 119].

## 4.2 Description des tâches

À son arrivée, le participant a une explication du déroulé de l'expérimentation ainsi énoncée :

« Vous serez amené à réaliser 3 tâches de 6 minutes. Vous porterez un appareil de mesures du diamètre pupillaire et du comportement visuel (lunette eye-tracker), d'électroencéphalographie (bonnet avec 9 électrodes). Vous devrez alors suivre les règles propres à la tâche. Règles qui vous seront expliquées en début de la passation. Dans toutes les situations rencontrées, votre but sera de maintenir l'intégrité de votre porteur. Avant et après chaque situation, des questionnaires seront à compléter. Des douches et une salle de repos seront à votre disposition à la fin de l'expérimentation. »

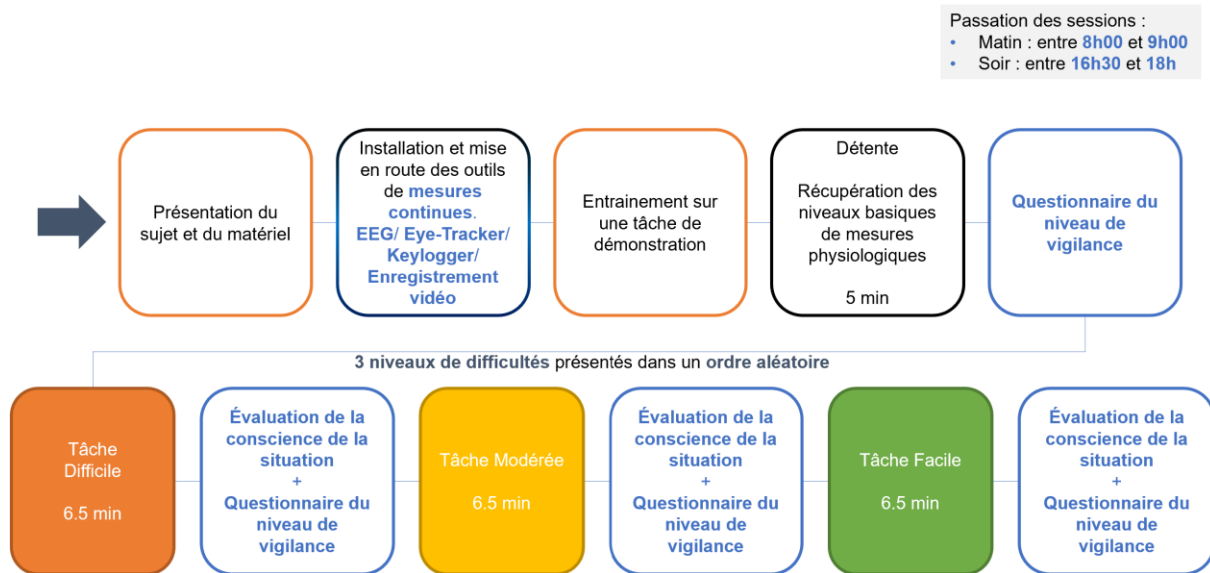


Figure 120. Déroulement de l'expérimentation après installation du matériel

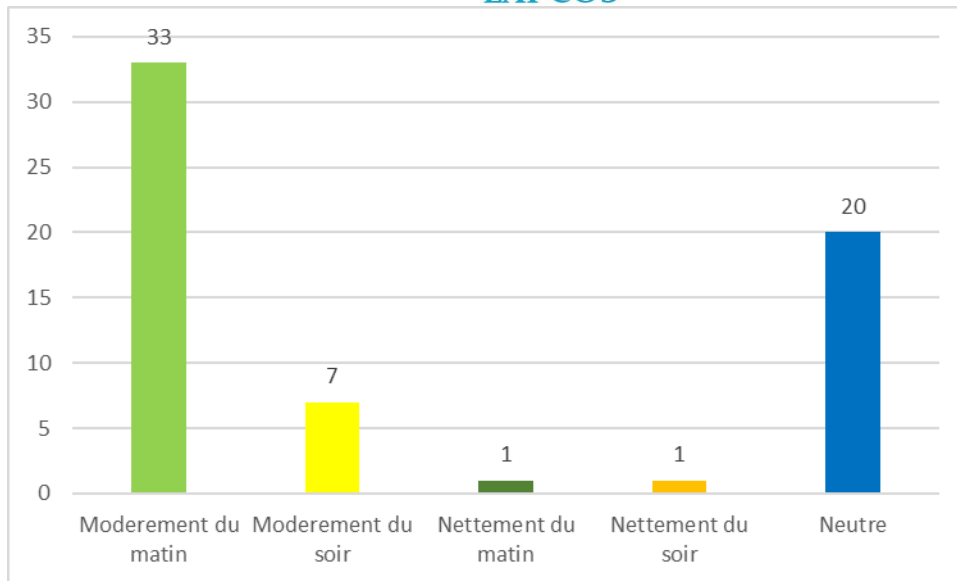
Les différents outils utilisés sont présentés au participant et le matériel est installé. Le participant réalise ensuite une démonstration sur le support d'expérimentation, les règles lui sont expliquées durant cette phase. Il lui est expliqué qu'il doit maintenir l'intégrité du porteur en détruisant les navires ennemis à moins de 150 mètres et d'éviter les collisions avec les navires [Figure 120].

Durant la phase de calibration, il est demandé au participant de regarder autant que possible l'écran. L'écran était bleu et ne contenait qu'un texte de couleur avec les règles à respecter durant les tâches. Le but était d'avoir une mesure de base pour les mesures physiologiques.

## 4.3 Population

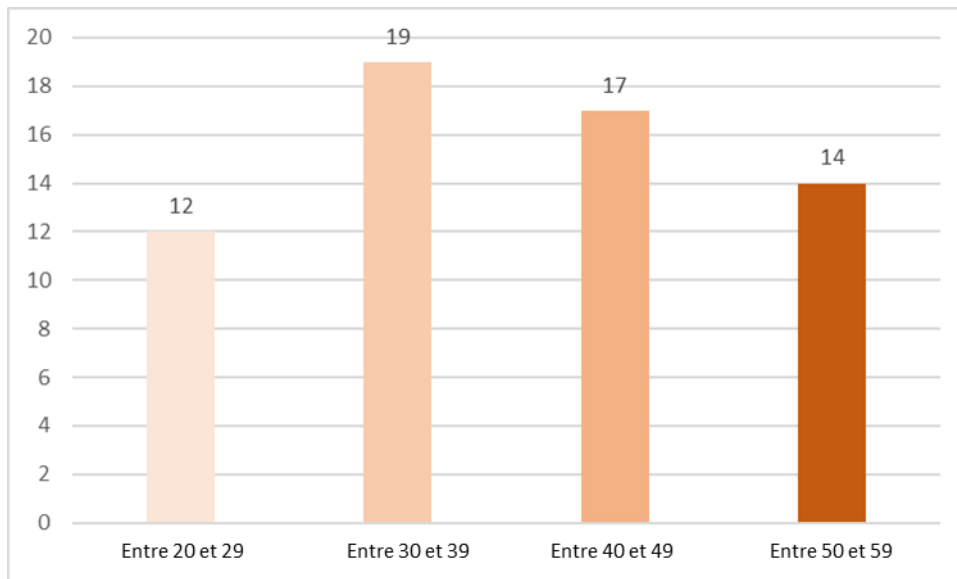
102 personnes ont répondu au questionnaire de Horne et Östberg. Chacune des personnes a ensuite été recontactée afin de convenir d'une période de passation avec une précision des contraintes que cela impliquait.

62 participants (26 femmes et 36 hommes) ont pris part à l'expérimentation



**Figure 121. Nombre de participants par Chronotype**

Le plus grand nombre de participants était de typologie circadienne « modérément du matin » et « intermédiaires » (aussi appelé neutres) [Figure 121].



**Figure 122. Nombre de participants par tranche d'âge**

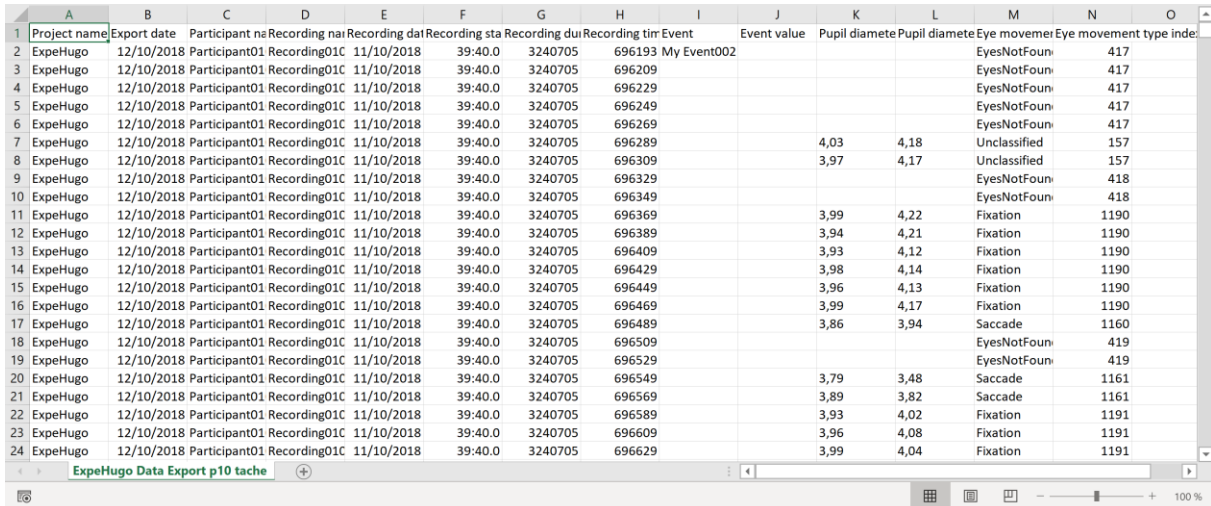
La distribution des participants en fonction des différentes tranches d'âge considérées était assez équilibrée [Figure 122].

## 4.4 Exploitation des données

#### 4.4.1 Récupération des données

##### 4.4.1.1 Les données issues de l'Eye-tracker

Les données de pupillométries de l'eye tracker sont récupérées à l'aide du logiciel Tobii Pro Lab. Ces données sont exportées dans des fichiers .csv qui seront réenregistrés sous format .xlsx avant toute manipulation.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Project name	Export date	Participant na	Recording na	Recording da	Recording sta	Recording dui	Recording tim	Event	Event value	Pupil diamete	Pupil diamete	Eye moveme	Eye movement	type inde
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696193	My Event002				EyesNotFoun	417	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696209					EyesNotFoun	417	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696229					EyesNotFoun	417	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696249					EyesNotFoun	417	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696269					EyesNotFoun	417	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696289		4,03	4,18		Unclassified	157	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696309		3,97	4,17		Unclassified	157	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696329					EyesNotFoun	418	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696349					EyesNotFoun	418	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696369		3,99	4,22		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696389		3,94	4,21		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696409		3,93	4,12		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696429		3,98	4,14		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696449		3,96	4,13		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696469		3,99	4,17		Fixation	1190	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696489		3,86	3,94		Saccade	1160	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696509					EyesNotFoun	419	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696529					EyesNotFoun	419	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696549		3,79	3,48		Saccade	1161	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696569		3,89	3,82		Saccade	1161	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696589		3,93	4,02		Fixation	1191	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696609		3,96	4,08		Fixation	1191	
ExpeHugo	12/10/2018	Participant01	Recording01C	11/10/2018	39:40.0	3240705	696629		3,99	4,04		Fixation	1191	

Figure 123. Exemple de données recueillies depuis l'eye-tracker

Les moyennes des diamètres pupillaires sont calculées pour chaque tâche et pour chaque participant. Pour avoir la possibilité de travailler sur l'évolution du diamètre pupillaire dans une même tâche, pour chaque fichier, deux séries de données sont récupérées : les deux premières minutes et les deux dernières minutes.

Ce qui permet d'obtenir un diamètre pupillaire moyen en début de tâche et un diamètre pupillaire moyen en fin de tâche.

#### 4.4.1.2 Les données de Noldus uLog

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Date	Time	Msec	Application	Window	Message	X	Y	Rel. dist.	Total dist.	Rate	Extra info
2	2018:12:11	08:52:48	342	uLog.exe		Logging started	-1	-1	-1.00	-1.00	-1.00	
3	2018:12:11	08:52:50	985	A<	obs64	Left mouse button pressed	1686	736	1839.64	1988.23	0.93	
4	2018:12:11	08:52:51	116	A	obs64	Left mouse button released	1686	736	0.00	0.00	0.00	
5	2018:12:11	08:52:52	825	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	541	496	1169.88	1218.98	0.96	
6	2018:12:11	08:52:52	956	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	541	496	0.00	0.00	0.00	
7	2018:12:11	08:52:55	271	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	995	558	458.21	656.92	0.70	
8	2018:12:11	08:52:55	403	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	995	558	0.00	0.00	0.00	
9	2018:12:11	08:52:55	417	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	995	558	0.00	0.00	0.00	
10	2018:12:11	08:52:55	425	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	995	558	0.00	0.00	0.00	
11	2018:12:11	08:52:55	429	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button doubleclick	995	558	1140.78	1623.00	0.70	
12	2018:12:11	08:52:57	738	MyExperimentationV1.exe	Choix de l'activité	Left mouse button pressed	78	196	985.87	1064.35	0.93	
13	2018:12:11	08:52:57	870	MyExperimentationV1.exe	Choix de l'activité	Left mouse button released	78	196	0.00	0.00	0.00	
14	2018:12:11	08:52:58	194	MyExperimentationV1.exe	Choix de l'activité	Left mouse button pressed	78	196	0.00	0.00	0.00	
15	2018:12:11	08:52:58	325	MyExperimentationV1.exe	Choix de l'activité	Left mouse button released	78	196	0.00	0.00	0.00	
16	2018:12:11	08:52:59	630	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	442	295	377.22	378.26	1.00	
17	2018:12:11	08:52:59	761	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	442	295	0.00	0.00	0.00	
18	2018:12:11	08:53:01	409	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	322	505	241.87	289.17	0.84	
19	2018:12:11	08:53:01	541	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	322	505	0.00	0.00	0.00	
20	2018:12:11	08:54:07	703	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	1785	651	1470.27	5331.09	0.28	
21	2018:12:11	08:54:07	847	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button released	1783	652	2.24	2.41	0.93	
22	2018:12:11	08:54:08	215	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Right mouse button pressed	1774	652	9.00	9.00	1.00	
23	2018:12:11	08:54:08	240	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Right mouse button released	1774	652	0.00	0.00	0.00	
24	2018:12:11	08:54:09	32	MyExperimentationV1.exe	Expérimentation	Left mouse button pressed	1759	652	15.00	15.00	1.00	

Figure 124. Exemple des résultats de uLog

Les fichiers obtenus intègrent pour un participant tous les évènements, du lancement de l'application à son arrêt [Figure 124]. Pour pouvoir traiter les données, il faut donc séparer les différentes tâches réalisées par l'utilisateur pour pouvoir traiter les données, l'usage des touches T, D, Q précédemment définis par exemple.

Les données du logiciel uLog ont également été utilisées en complément des vidéos pour permettre de comprendre les situations pour lesquelles les vidéos n'étaient pas suffisantes. La qualité des vidéos obtenues par l'eye tracker ne permettant pas toujours une vision claire des fenêtres ouvertes.

#### 4.4.1.3 Les données de l'Échelle de Thayer

Chaque participant a complété 4 fois l'échelle de Thayer durant la tâche, correspondant à un total de 248 échelles à traiter. Pour faciliter les traitements, un logiciel de calcul a été programmé pour l'échelle de Thayer [Figure 125].

Il permet d'introduire les réponses d'un participant avec le format des réponses entourées et d'obtenir en sortie les différents items. Les données ainsi recueillies sont ensuite compilées dans un fichier Excel pour leur analyse.

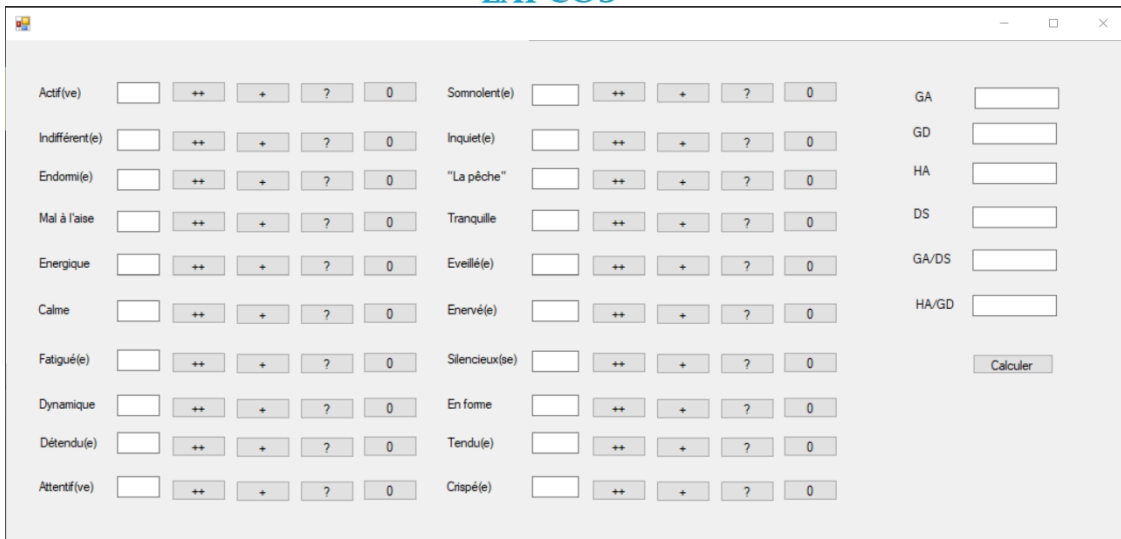
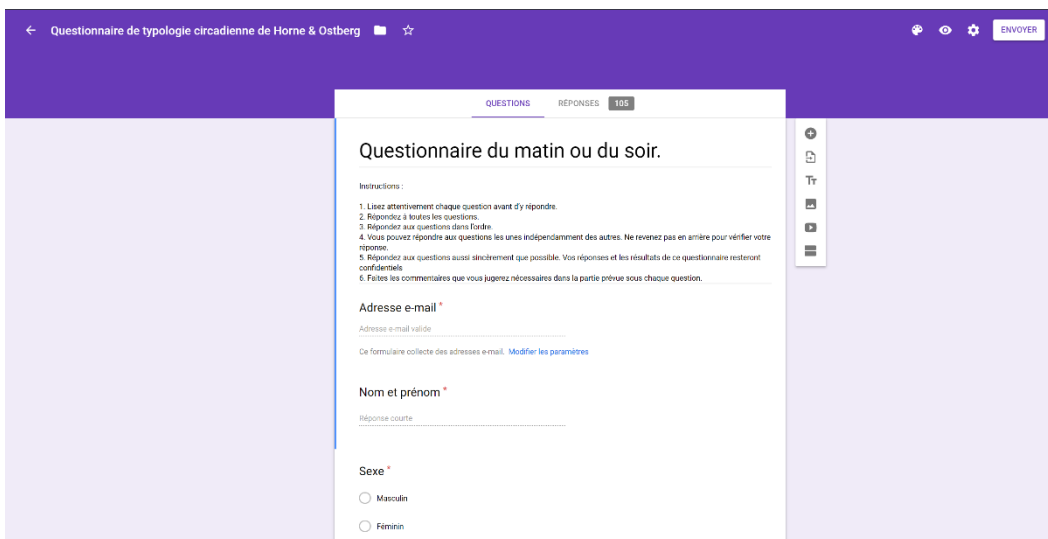


Figure 125. Capture d'écran du logiciel permettant les calculs de l'échelle de Thayer

#### 4.4.1.4 Le questionnaire de Horne et Östberg



La première étape de l'expérimentation consistait à répondre au questionnaire de typologie circadienne sous forme d'un questionnaire en ligne. Le questionnaire de typologie circadienne était accompagné de questions utiles sur le participant telles que le port des lunettes ou non (celui-ci, pouvant être une limite dans l'utilisation de l'Eye tracker).

#### 4.4.1.5 Les données de OBS Studio

Après des essais non concluants avec les logiciels d'analyse de vidéo ELAN et Kinovea, il a été décidé que le traitement des données vidéos sera réalisé à l'aide de Noldus The Observer

XT. Les vidéos obtenues avec le logiciel OBS Studio au format FLV sont converties en fichiers MP4 pour être compatibles avec le logiciel Noldus The Observer XT.

Noldus Observer XT est un logiciel qui permet la collecte, l'analyse et la présentation des données obtenues par l'observation [Figure 126].



Figure 126. Exemple d'analyse de données sur Observer XT 11. Issue de Noldus, s. d.

Dans notre cas, Observer XT a été utilisé seulement pour l'encodage de certains comportements des participants à partir des vidéos [Figure 127].

Le logiciel OBS n'ayant enregistré que la fenêtre de fond du support d'expérimentation, les vidéos issues de l'Eye-tracker et les données issues de uLog ont permis de combler les manques lorsque les informations n'étaient pas suffisantes. En effet, il était par exemple impossible avec les seules vidéos de OBS de vérifier l'ouverture des fenêtres d'information, ou de la fenêtre des missiles.



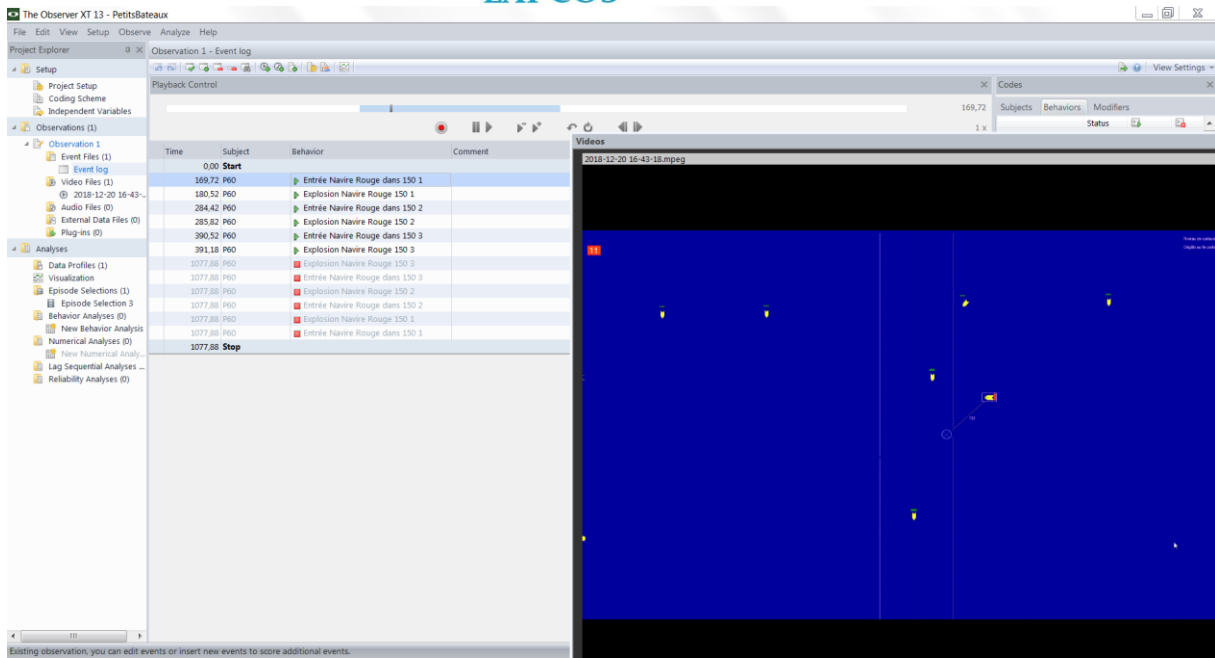


Figure 127. Exemple de phase d'encodage de la vidéo d'une tâche pour un participant.

Pour les différentes vidéos, les informations encodées étaient, pour chaque navire :

- L'entrée du navire ennemi dans la zone des 150 mètres,
- L'explosion indiquant la destruction du navire,
- La sortie de la zone des 150 mètres du navire ennemi sans avoir été détruit,
- Les collisions.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Date_Time_Absolute_dmy_hm	Time_Relative_hmsf	Time_Relative_f	Time_Relative_sf	Subject	Behavior	Event_Type	Comment	Difference Time_sf	
2	15-01-2019 12:08:17,873	00:02:49,720	720	169,72	P60	Entrée Navire Rouge 150 A	State start		10,8	
3	15-01-2019 12:08:28,673	00:03:00,520	520	180,52	P60	Explosion Navire Rouge A	State start			
4	15-01-2019 12:10:12,572	00:04:44,419	419	284,419	P60	Entrée Navire Rouge 150 B	State start		1,4	
5	15-01-2019 12:10:13,972	00:04:45,819	819	285,819	P60	Explosion Navire Rouge B	State start			
6	15-01-2019 12:11:58,671	00:06:30,518	518	390,518	P60	Entrée Navire Rouge 150 C	State start		0,667	
7	15-01-2019 12:11:59,337	00:06:31,185	185	391,185	P60	Explosion Navire Rouge C	State start			
8	15-01-2019 12:18:15,800	00:12:47,648	648	767,648			State point			
9	15-01-2019 12:18:31,167	00:13:03,014	14	783,014	P60	Entrée Navire Rouge 150 A	State start	est sorti de la zone		
10	15-01-2019 12:18:40,567	00:13:12,414	414	792,414	P60	Sortie de la zone 150 A	State start			
11	15-01-2019 12:18:54,700	00:13:26,547	547	806,547	P60	Entrée Navire Rouge 150 B	State start	est sorti de la zone		
12	15-01-2019 12:18:56,200	00:13:28,047	47	808,047	P60	Sortie de la zone 150 B	State start			
13	15-01-2019 12:19:26,100	00:13:57,947	947	837,947	P60	Entrée Navire Rouge 150 C	State start		0,633	
14	15-01-2019 12:19:26,733	00:13:58,580	580	838,580	P60	Explosion Navire Rouge C	State start			
15	15-01-2019 12:20:24,899	00:14:56,746	746	896,746	P60	Entrée Navire Rouge 150 D	State start		5,367	
16	15-01-2019 12:20:30,266	00:15:02,113	113	902,113	P60	Explosion Navire Rouge D	State start			
17	15-01-2019 12:20:32,799	00:15:04,646	646	904,646		Sortie de la zone 150 E	State start			
18	15-01-2019 12:23:11,864	00:17:43,711	711	1063,71	P60	Entrée Navire Rouge 150 F	State start		0,73	
19	15-01-2019 12:23:12,597	00:17:44,445	445	1064,44	P60	Explosion Navire Rouge F	State start			
20	15-01-2019 12:23:25,997	00:17:57,844	844	1077,84	P60	Entrée Navire Rouge 150 G	State start		0,7	

Figure 128. Exemple de données issues d'une analyse Observer XT

## 4.5 Traitement des données et analyses statistiques

Le but premier des analyses statistiques est de vérifier le modèle et ses capacités prédictives de la performance. Pour éviter les effets d'ordre, les participants n'ont pas réalisé la tâche dans le

même ordre, les 3 tâches étaient présentées au hasard en faisant attention à avoir le même nombre de passations pour les différents ordres. Les analyses ont été réalisées à l'aide de Jamovi, Jasp et SPSS.

L'utilisation des modèles linéaires généralisés va nous permettre de déterminer comment les variables prédictives agissent sur les variables indépendantes. Les prédicteurs peuvent être qualitatifs ou quantitatifs.

Lorsque la variable à prédire est continue, nous appliquerons un modèle linéaire tandis que les régressions logistiques seront utilisées lorsque la variable à prédire est catégorielle.

Le principe de parcimonie sera appliqué sur les modèles obtenus pour permettre de ne garder que les meilleurs modèles simplifiés. Pour cela, nous utiliserons le critère d'information d'Akaike (AIC). Le modèle sera considéré comme parcimonieux lorsque le critère AIC est inférieur à celui du modèle précédent. (Lancelot et Lesnoff, 2005).

L'ajustement d'un modèle au suivant sera réalisé grâce au  $\chi^2$ . Les variables ayant le moins d'influence dans le modèle obtenu seront élaguées en commençant par les interactions, et en évitant de supprimer une variable participant à une interaction significative. Les variables au  $\chi^2$  le plus bas seront ainsi supprimées du modèle complet jusqu'à l'obtention du modèle parcimonieux.

Le  $R^2$  sera donné, il informe sur la proportion de la variance de la variable expliquée par le modèle. Ainsi plus le  $R^2$  est élevé et plus le modèle est pertinent dans la prédiction de la variable dépendante.

Lorsqu'un modèle parcimonieux est obtenu, un test Post-Hoc de Bonferroni sera réalisé pour comprendre plus en détail les effets des facteurs prédictifs sur la variable indépendante. Il permet de déterminer les différences significatives. Il permettra notamment de comprendre les effets des interactions. Les tests de parcimonie seront accompagnés de graphique permettant de mieux comprendre les effets des différences significatives. (STATISTICA, s. d.)

Lorsqu'une interaction de deux variables continues apparaît comme un facteur significatif, une analyse des effets simples sera réalisée. (« Simple Effects, Simple Contrasts, and Main Effect Contrasts », s. d., 2013)

L'analyse des effets simples permet de déterminer comment une variable indépendante varie en fonction des niveaux d'une seconde variable indépendante. Les niveaux utilisés dans Jamovi pour la réalisation des analyses sont :

- Moyenne - Ecart-type (Mean-1.SD). Cela représente une valeur faible de la variable étudiée.
- Moyenne (Mean). Il s'agit donc d'une valeur moyenne de la variable étudiée.
- Moyenne + Ecart-type (Mean+1.SD). Enfin, il s'agit d'une valeur élevée de la variable étudiée.

Il compare ainsi les valeurs faibles, moyennes et élevées.

## Les médiations



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Les médiations permettent de vérifier les effets directs, indirects et complets du modèle choisi.

Les médiations seront utilisées sur les performances pour vérifier le comportement des différents facteurs.



## 5.1 Le modèle opérationnel

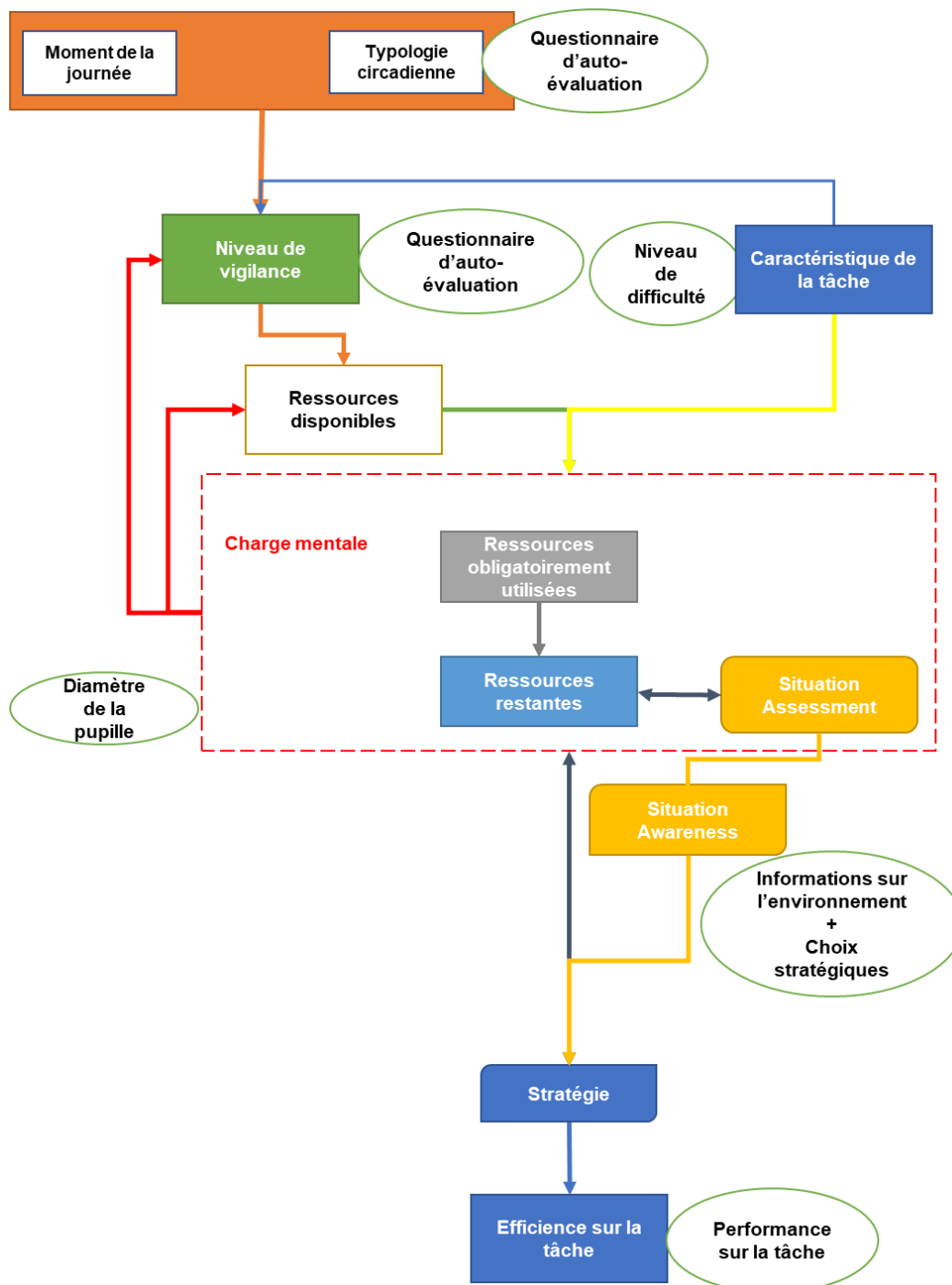


Figure 129. Modèle théorique proposé

Le modèle théorique [Figure 129] propose une explication, grâce à différents facteurs et médiations, des différences de performances entre les individus. Il intègre les facteurs suivants : l'interaction entre le moment de la journée et la typologie circadienne ou chronotype, le niveau de vigilance, la charge mentale et la conscience de la situation.

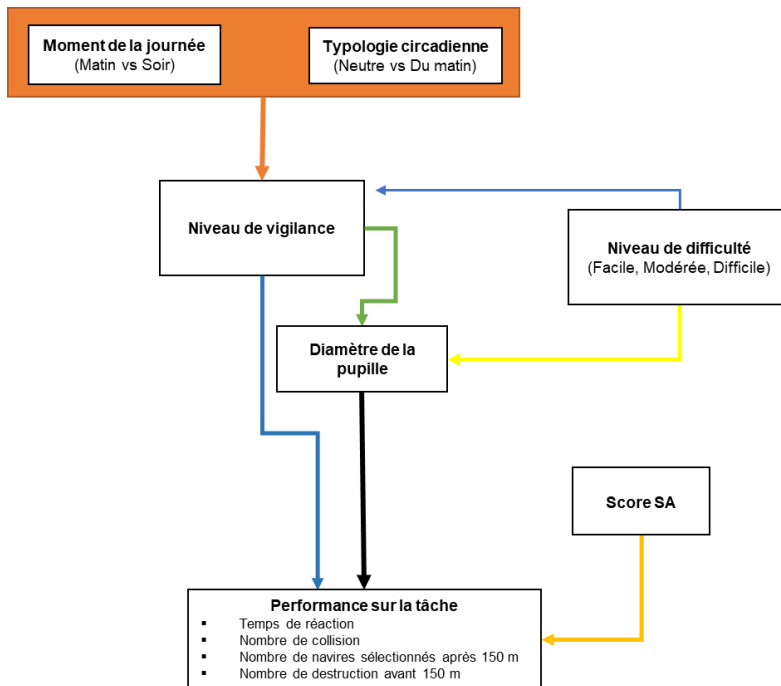


Figure 130. Modèle opérationnel

L'opérationnalisation du modèle proposé [Figure 130] intègre les variables mesurées durant l'expérimentation. Le score de conscience de la situation a été calculé à partir de variables qui ont été classées en deux catégories, les choix stratégiques et les connaissances sur la situation. Un second modèle opérationnel [Figure 131], détaillé, est donc également testé.

Dans ce modèle opérationnel détaillé, la conscience de la situation est ainsi divisée en deux types de données. Elle intègre les choix stratégiques réalisés par les participants et la qualité de leurs connaissances de la situation.

Des modèles linéaires généralisés (GLM) et modèles linéaires généralisés mixtes (GLM-M) ont été réalisés sur les données obtenues pour vérifier le modèle opérationnel.

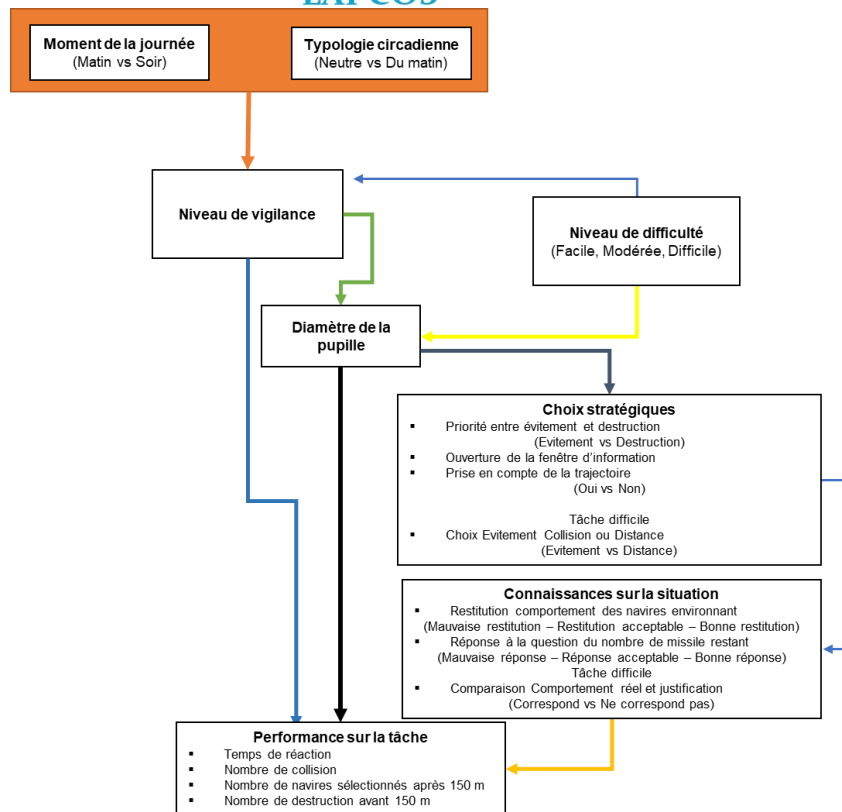


Figure 131. Modèle opérationnel détaillé

### 5.1.1 Signification des variables du modèle opérationnel

**Moment de la journée :** Il s’agit du moment de participation des participants. Cela peut être le matin ou le soir. Le **matin** était la période débutant entre **8 h et 9 h**. Le **soir** est la période débutant entre **16 h 30 et 18 h**. Ces périodes sont inspirées des travaux de May et Hasher (2017) et May (1999).

**Typologie circadienne :** Le chronotype du participant a été évalué avant la réalisation de l’expérimentation grâce au questionnaire de Horne et Östberg (1976). Les participants à notre étude étaient soit modérément matinaux soit intermédiaires (ni du matin, ni du soir).

**Niveau de vigilance :** Le niveau de vigilance est mesuré après la tâche grâce au questionnaire de Thayer (1986). Pour la réalisation des analyses statistiques, trois variables associées au niveau de vigilance sont prises en compte : le **niveau de vigilance après la tâche**, le **niveau de vigilance avant la tâche (Vigilance avant)**, l’**écart de niveau de vigilance** issu de la soustraction du niveau de vigilance après la tâche au niveau de vigilance avant (**Niveau de vigilance différentiel**).

**Niveau de difficulté :** Les niveaux de difficulté de la tâche sont déterminés avant la réalisation de la tâche. Elles sont vérifiées durant la phase de conception du support d’expérimentation, à la suite de prétests auprès d’un premier groupe de participant. Il existe trois niveaux de difficulté : **facile, modéré et difficile**.

**Diamètre pupillaire :** Le diamètre pupillaire est une variable continue. Elle apparaît sous forme d'un **écart de diamètre pupillaire** dans les analyses statistiques. Cet écart de diamètre pupillaire est la soustraction du diamètre pupillaire en fin de tâche au diamètre pupillaire en début de tâche. Le diamètre pupillaire en début de tâche est une moyenne des deux premières minutes. Tandis que le diamètre pupillaire en fin de tâche est une moyenne des deux dernières minutes.

**Priorité entre évitements et destruction :** Pour chaque tâche, le participant a la possibilité de se concentrer en priorité sur l'aspect tactique de la tâche et donc détruire les navires ennemis s'approchant à moins de 150 m du porteur, ou sur l'aspect navigation, éviter les collisions avec les navires alliés.

La variable peut prendre trois valeurs : pas de priorité — évitement – destruction

**Ouverture de la fenêtre d'information :** Nombre de fois que la fenêtre d'information a été ouverte. Durant la tâche, le participant a la possibilité d'ouvrir une fenêtre fournissant des informations sur les navires. Certaines sont redondantes, d'autres peu utiles et la consultation de la fenêtre empêche la réalisation des manœuvres de navigation et des manœuvres tactiques.

**Prise en compte de la trajectoire :** Oui/non

Durant la tâche, le participant peut se retrouver face à différents navires en situation de risque tactique ou nautique. Il faut alors décider grâce à certaines informations d'une hiérarchisation des risques. Pour ce faire, le participant peut s'en tenir à la distance de 150 m ou prendre en compte des informations complémentaires, dont la trajectoire qui est l'une des plus importantes. En effet, un navire ennemi dont la direction et la trajectoire permettent de déterminer qu'il risque d'entrer en collision avec le porteur représente un risque plus élevé qu'un navire susceptible d'entrer dans la zone des 150 m.

La variable est dichotomique et peut prendre la valeur oui ou non.

**Choix Evitement Collision ou Distance [pour la tâche difficile] :** Durant la tâche difficile, le nombre de pistes présentées est supérieur au nombre de missiles disponibles. Ce déséquilibre atteint son apogée les dernières minutes de la tâche. Le participant peut alors choisir un respect strict de la consigne et donc une priorisation des pistes proches des 150 m ou prendre en compte également le risque de collision avec les pistes. Ce choix a une incidence sur la gestion des missiles.

La variable est dichotomique et peut prendre la valeur Risque de collision ou distance.

**Réponse à la question du nombre de missiles restants :** Pour la tâche modérée et la tâche facile, le participant répond à la question du nombre de missiles restants à la fin de la tâche, avec plus ou moins de certitude. La tâche difficile n'est pas concernée par cette question, étant construite de manière à ce qu'il ne reste plus de missile en fin de tâche.

La variable peut prendre 3 valeurs indiquant la qualité de la réponse : mauvaise réponse [0] — réponse acceptable [1] — bonne réponse [2]

**Comparaison comportement réel et justification :** La vidéo permet de vérifier si le choix entre le respect strict de la consigne ou la prise en compte du risque de collision, annoncé par



le participant, pour la tâche difficile correspond effectivement à son comportement. En effet, il est possible de voir si la piste détruite en premier est une piste proche à moins de 150 m sans risque de collision avec le porteur ou avec risque de collision. Pour les statistiques cela correspond à la variable **Indice de conformité entre les verbatims et le comportement réel**.

La variable est dichotomique et peut prendre les valeurs : **corresponds** ou **ne corresponds pas**.

**Temps de réaction** : Le temps de réaction est le temps entre le moment où le navire ennemi entre dans la zone des 150 m et sa destruction.

Il s'agit d'une variable continue.

**Nombre de collisions** : Il s'agit du nombre des collisions qui n'ont pu être évitées par le participant.

C'est une variable continue.

**Nombre de navires sélectionnés après les 150 m** : Il s'agit de navires dont la sélection, qui permet entre autres un suivi de la distance par rapport au porteur, est mise en place tardivement, c'est-à-dire lorsque le navire a déjà dépassé les 150 m. La variable est continue.

**Nombre de destructions avant 150 m** : Il indique le nombre de navires dont la destruction a été effectuée avant que le navire n'atteigne les 150 m. La variable est continue.

**Score global SA** : En prenant en compte les données obtenues pour les stratégies et les connaissances de la situation, un score global de conscience de la situation a été calculé.

## 5.2 Résultats préliminaires

### 5.2.1 Répartition des scores de typologie circadienne des répondants

La première étape de l'expérimentation demandait aux participants de répondre à une version numérique du questionnaire de Horne et Östberg (1976). 102 personnes ont répondu à cette étape. La répartition du score de typologie circadienne des répondants [Figure 132] montre un plus grand nombre de participants à la typologie circadienne modérément du matin, suivi par la population des intermédiaires/neutres, et des modérément du soir. Les typologies circadiennes extrêmes que sont les nettement du matin et nettement du soir étaient les typologies les moins présentes.

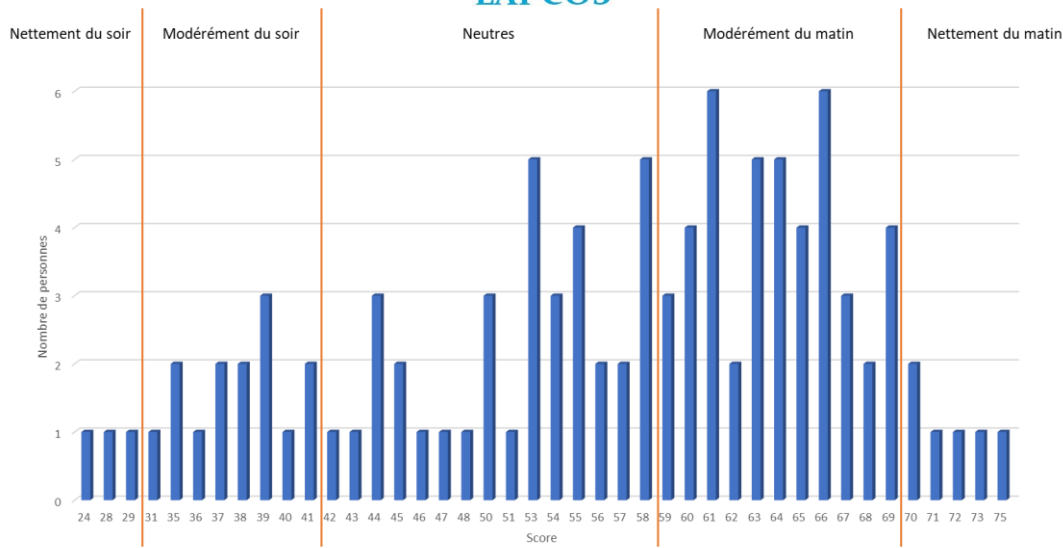


Figure 132. Répartition des scores de typologie circadienne parmi les répondants

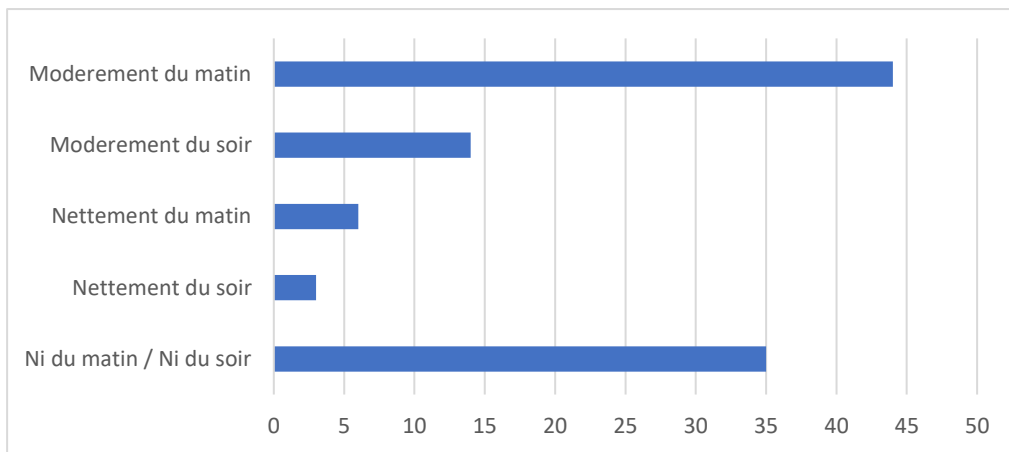


Figure 133. Nombre de participants par typologie circadienne

Nous avons souhaité vérifier la répartition des typologies circadiennes par tranche d'âge [Figure 134]. Les résultats montrent que la distribution des individus modérément du matin montre un plus grand pourcentage de participants issu de la tranche d'âge des 50-60 ans [Figure 135], tandis que, pour le chronotype modérément du soir, le plus grand pourcentage est issu de la tranche d'âge des 20-29 ans et se démarque par une absence de participants des tranches d'âge supérieur à 50 ans.

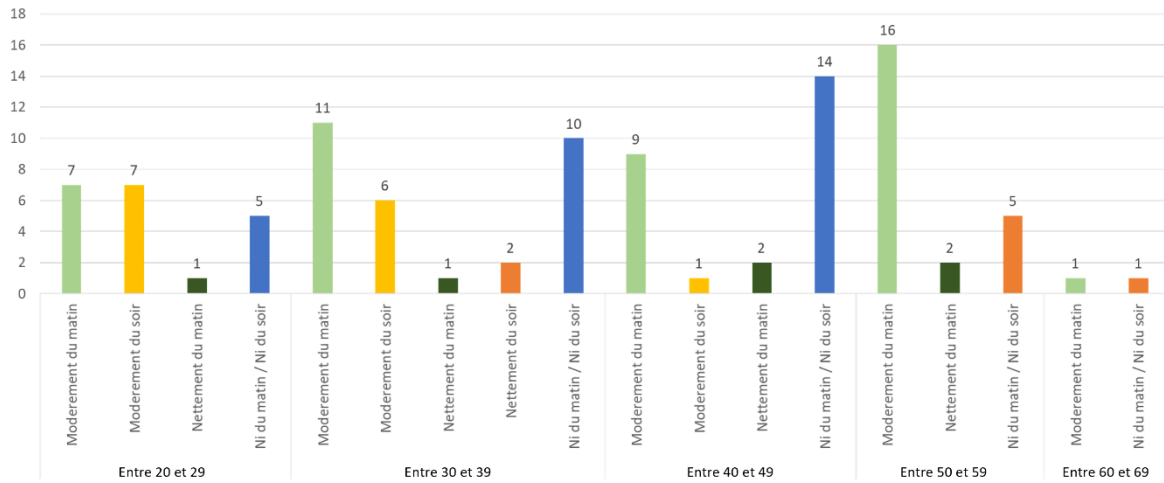


Figure 134. Répartition des typologies circadiennes par tranche d'âge

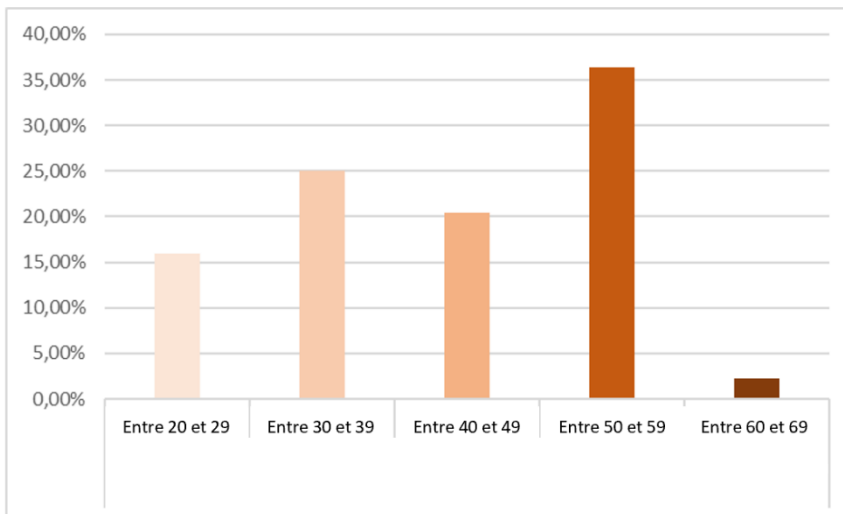


Figure 135. Distribution des répondants modérément du matin

Pour les modérément du soir [Figure 136], le plus faible pourcentage se trouve chez les participants dont l'âge est compris entre 40 et 49.

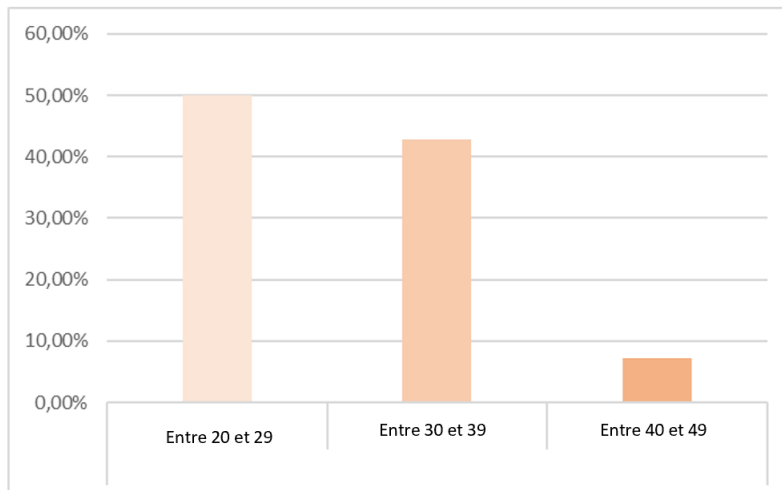


Figure 136. Distribution des répondants modérément du soir

## 5.2.2 Répartition de la population des participants

Parmi les 102 répondants, 62 personnes sélectionnées pour leurs chronotypes ont accepté de poursuivre l'étude. La répartition des participants était proche de celle des répondants au questionnaire, avec une majorité de participants modérément du matin suivie des intermédiaires [Tableau 3].

Tableau 3. Répartition des participants en fonction du chronotype et du moment de la journée

	Matin	Soir	Total
Nettement du matin	-	1	1
Modérément du matin	17	16	33
Intermédiaire	9	11	20
Modérément du soir	2	5	7
Nettement du soir	1	-	1
Total	29	33	62

Les statistiques présentées ont été réalisées sur un échantillon de 27 participants. Il s'agissait de 15 participants à la typologie circadienne modérément du matin et 12 participants intermédiaires.

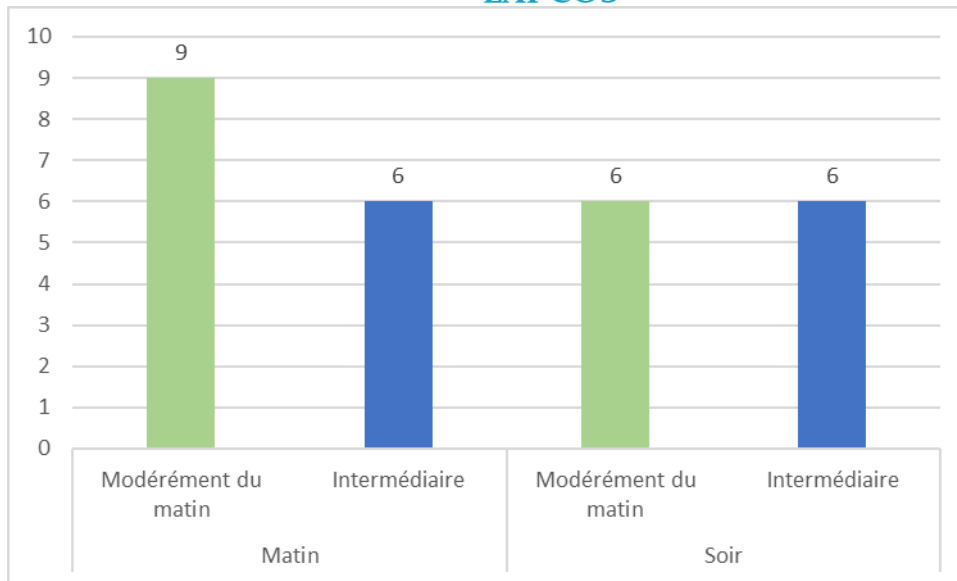


Figure 137. Répartition des participants pris en compte dans les analyses.

Le premier critère ayant permis de déterminer les participants qui seront traités est celui de la qualité des données issues de l’eye-tracker.

### 5.2.3 Données eye-tracker

L’eye-tracker fournit des données sur les deux yeux. Pour l’analyse des résultats, nous avons utilisé les données issues d’un seul œil, après avoir vérifié la corrélation entre les données des deux yeux.

#### Corrélations

			Différence calib	Différence calib right
Tau-B de Kendall	Différence calib	Coefficient de corrélation	1,000	,649**
		Sig. (bilatéral)	.	,000
		N	143	143
	Différence calib right	Coefficient de corrélation	,649**	1,000
		Sig. (bilatéral)	,000	.
		N	143	143
Rho de Spearman	Différence calib	Coefficient de corrélation	1,000	,788**
		Sig. (bilatéral)	.	,000
		N	143	143
	Différence calib right	Coefficient de corrélation	,788**	1,000
		Sig. (bilatéral)	,000	.
		N	143	143

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les résultats montrent que les diamètres pupillaires des deux yeux sont corrélés. Cette corrélation significative est positive et linéaire ( $r=0,649$  ;  $p<0,01$ ).

## 5.3 Étude des effets de synchronie

Les « *effets de synchronie* » dépendent de l'interaction entre le moment de la journée et la typologie circadienne et se manifeste par des différences de performance entre les périodes optimales et non optimales. Cependant, la littérature montre que les effets de synchronie sont particulièrement présents lorsque le niveau de difficulté ou de complexité est élevé. Pour l'analyse statistique, il s'agit donc de vérifier les effets produits par le modèle intégrant l'interaction du moment de la journée, le chronotype et le niveau de difficulté sur les différentes variables.

### 5.3.1 Effet de synchronie et score de conscience de la situation

**Tableau 4. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Moment de la journée	1,968 5	1	0,161
Difficulté	0,984 9	2	0,611
Chronotype	0,033 5	1	0,855
Moment de la journée * Chronotype	0,837 3	1	0,360
Chronotype * Difficulté	3,039 0	2	0,219
Difficulté * Moment de la journée	2,458 5	2	0,293
Difficulté * Moment de la journée * Chronotype	4,185 1	2	0,123

Le modèle obtenu [Tableau 4] avant application du principe de parcimonie ne montre aucun effet de l'interaction entre moment de la journée et chronotype et de la difficulté sur le score de conscience de la situation.

**Tableau 5. Résultats du test du rapport de vraisemblance après application du principe de parcimonie.**

	X <sup>2</sup>	df	p
Moment de la journée	2,166 4	1	0,141
Difficulté	1,357 3	2	0,507
Chronotype	0,069 5	1	0,792
Chronotype * Difficulté	3,602 9	2	0,165
Difficulté * Moment de la journée	2,230 6	2	0,328

Après application du principe de parcimonie, le modèle obtenu [Tableau 5] ne montre toujours pas d'effet des variables considérées sur la conscience de la situation. Ce nouveau modèle a un R<sup>2</sup> de 0,119 comparativement à un R<sup>2</sup> de 0,179 pour le modèle d'origine et un AIC très légèrement inférieur (356,300) à celui du modèle d'origine (356,608).

## 5.4 Effet de synchronie et détail de la conscience de la situation

Si les résultats ne font pas apparaître d'effet de synchronie sur le score global de la conscience de la situation, cela n'exclut pas la possibilité d'existence d'effet de synchronie sur les composants du score global de conscience de la situation. Il est par conséquent important de tester ces effets sur les différentes variables composant le score global de conscience de la situation.

### 5.4.1 Priorité entre évitement et destruction

**Tableau 6. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle complet**

	X <sup>2</sup>	df	p
Moment de la journée	0,659	1	0,417
Chronotype	4,358	1	0,037
Difficulté	4,629	2	0,099
Moment de la journée * Chronotype	1,294	1	0,255
Chronotype * Difficulté	0,976	2	0,614
Difficulté * Moment de la journée	1,257	2	0,533
Difficulté * Moment de la journée * Chronotype	2,199	2	0,333

Le modèle d'origine [Tableau 6] montre un effet significatif du chronotype sur le choix de priorité entre la sous-tâche de navigation, la sous-tâche tactique et l'absence de choix. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,184.

**Tableau 7. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle parcimonieux**

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	3,920	1	0,048
Moment de la journée	0,652	1	0,419
Difficulté	5,055	2	0,080

Le modèle simplifié [Tableau 7] indique que seul le chronotype détermine significativement le choix de sous-tâche à prioriser. Ce modèle a un AIC inférieur (172 ,675) au modèle complet (180,279) et un R<sup>2</sup> de 0,112.



Figure 138. Effet du chronotype sur le choix de priorité

Les catégories sont ainsi distribuées : 0 pour l'absence de choix ; 1 pour la sous-tâche nautique ; 2 pour la sous-tâche tactique.

Le graphe [Figure 138] indique que les participants neutres (ni du matin ni du soir) ont tendance à prioriser la sous-tâche nautique tandis que les participants à la typologie circadienne du matin priorisent la sous-tâche tactique.

#### 5.4.2 Ouverture de la fenêtre d'information

Tableau 8. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle complet

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	0,399 05	1	0,528
Moment de la journée	2,576 52	1	0,108
Difficulté	4,665 03	2	0,097
Chronotype * Moment de la journée	0,005 25	1	0,942
Chronotype * Difficulté	0,131 52	2	0,936
Moment de la journée * Difficulté	0,575 32	2	0,750

Le modèle d'origine [Tableau 8] n'indique aucun effet significatif sur le nombre d'ouvertures de la fenêtre d'information. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,104 et un AIC de 464,231.



**Tableau 9. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour modèle simplifié**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	4,95	2	0,084

Après application du principe de parcimonie, le nouveau modèle [Tableau 9] indique également une absence d'effets significatifs des facteurs considérés sur l'ouverture de la fenêtre d'information.

### 5.4.3 Prise en compte de la trajectoire

**Tableau 10. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	0,805	2	0,669
Chronotype	0,441	1	0,507
Moment de la journée	3,69e-4	1	0,985
Moment de la journée * Chronotype	1,135	1	0,287
Difficulté * Chronotype	0,524	2	0,769
Difficulté * Moment de la journée	2,501	2	0,286

Le modèle complet [Tableau 10] n'indique aucun effet significatif sur la prise en compte de la trajectoire. Le modèle a un R<sup>2</sup> de 0,084 3.

**Tableau 11. Résultats du test du rapport de vraisemblance simplifié**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	1,233 23	2	0,540
Chronotype	0,301 68	1	0,583
Moment de la journée	0,006 23	1	0,937

Après application du principe de parcimonie, le nouveau modèle [Tableau 11] ne montre aucun effet significatif sur la prise en compte de la trajectoire. Ce nouveau modèle a un AIC inférieur (433,4173) au modèle précédent (438,6486) et un R<sup>2</sup> de 0,022 5.

### 5.4.4 Choix entre collision et distance en tâche difficile

**Tableau 12. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe**

	X <sup>2</sup>	df	p
Moment de la journée	0,525 3	1	0,469

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	1,013 5	1	0,314
Chronotype * Moment de la journée	0,019 0	1	0,890

Le modèle [Tableau 12] n'indique aucun effet significatif sur le choix entre le risque de collision et la distance comme information à la fin de la tâche difficile. Le modèle a un R<sup>2</sup> de 0,022 5.

**Tableau 13. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle simplifié.**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	1,29	2	0,526

Le modèle final [Tableau 13] parcimonieux n'indique aucun effet sur le choix stratégique effectuée en fin de tâche difficile. Ce modèle a un AIC inférieur (429,7458) au modèle complet (433,4173). Son R<sup>2</sup> est de 0,038 3.

#### 5.4.5 Restitution du comportement des navires environnants

**Tableau 14. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	2,381	2	0,304
Chronotype	4,818	1	0,028
Moment de la journée	3,544	1	0,060
Difficulté * Chronotype	0,237	2	0,888
Difficulté * Moment de la journée	1,223	2	0,543
Chronotype * Moment de la journée	1,326	1	0,250

Le modèle complet [Tableau 14] a un R<sup>2</sup> de 0,282. Il montre un effet significatif du chronotype sur la restitution du comportement des navires environnants.

**Tableau 15. Résultats du test du rapport de vraisemblance après application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	3,28	2	0,194
Chronotype	5,11	1	0,024
Moment de la journée	3,84	1	0,050
Chronotype * Moment de la journée	1,35	1	0,246

Après application du principe de parcimonie, le modèle [Tableau 15] obtenu a un AIC inférieur (75,154) à celui du modèle complet (81,378). Ce modèle a un  $R^2$  de 0,255. Il montre des effets significatifs du chronotype et du moment de la journée sur la restitution du comportement des navires.

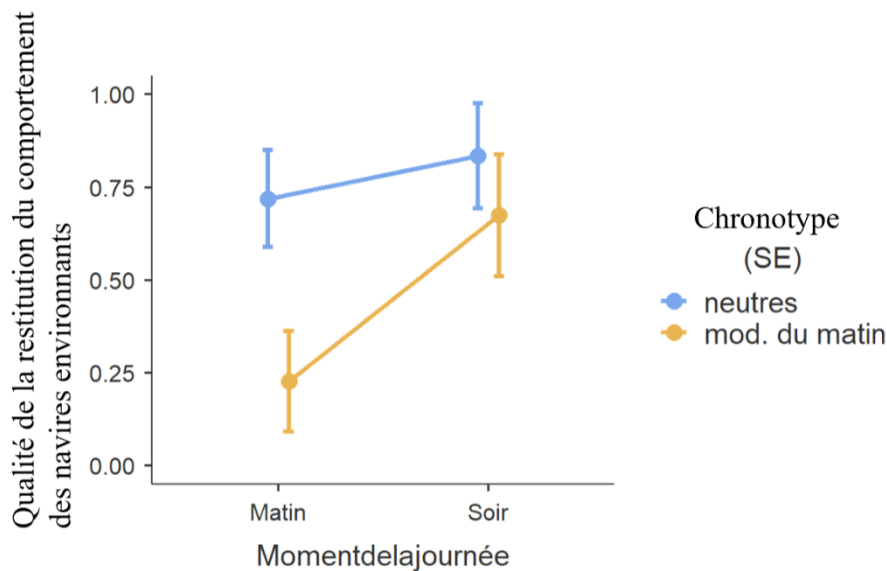


Figure 139. La qualité de la restitution du comportement des navires environnants en fonction du moment de la journée et du chronotype

Le graphe [Figure 139] montre une meilleure qualité de restitution pour les individus à la typologie circadienne neutre par rapport aux individus du matin. Elle montre également une meilleure restitution des comportements des navires environnants le soir plutôt que le matin.

#### 5.4.6 Réponse à la question du nombre de missiles restants

Tableau 16. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie

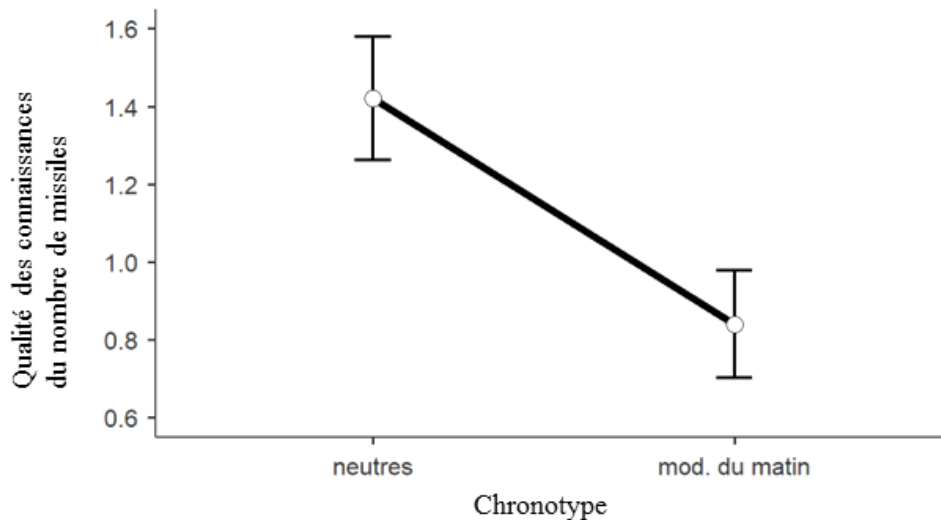
	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	6,273 4	1	0,012
Moment de la journée	1,463 7	1	0,226
Difficulté	0,334 9	2	0,846
Difficulté * Moment de la journée	0,409 2	2	0,815
Difficulté * Chronotype	0,115 8	2	0,944
Moment de la journée * Chronotype	0,066 7	1	0,796

Le modèle d'origine [Tableau 16] montre un effet significatif du chronotype sur la réponse à la question du nombre de missiles restant. Ce modèle a un  $R^2$  de 0,217.

**Tableau 17. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle simplifié**

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	10,05	1	0,002
Moment de la journée	2,32	1	0,128

Ce modèle simplifié [Tableau 17] a un AIC inférieur (95,739) à celui du modèle précédent (99,481). Son R<sup>2</sup> est de 0,199.


**Figure 140. Effet du chronotype sur la qualité de la connaissance du nombre de missiles restants.**

Le graphe [Figure 140] indique que les participants à la typologie circadienne neutres présentent une qualité de connaissance du nombre de missiles supérieure à celle des individus modérément du matin.

#### 5.4.7 Indice de conformité entre les verbatims et le comportement réel

Cette variable qui fournit un indice sur la conformité entre les verbatims et les actions réalisées dans la tâche ne concerne que la tâche « difficile ».

**Tableau 18. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle simplifié**

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	0,053 6	1	0,817
Moment de la journée	0,405 1	1	0,524
Chronotype * Moment de la journée	0,053 6	1	0,817

Le modèle [Tableau 18] a un AIC de 37,487 9 et un R<sup>2</sup> de 0,035 7.

Pour la tâche difficile, il n'y a pas d'effet sur l'indice de conformité entre les verbatim et le comportement réel.

## 5.5 Effet de synchronie et diamètre pupillaire

**Tableau 19. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	P
Chronotype	0,219	1	0,639
Momentdelajournée	0,424	1	0,515
Difficulté	9,746	2	0,008
Difficulté * Momentdelajournée	0,196	2	0,907
Difficulté * Chronotype	2,558	2	0,278
Chronotype * Momentdelajournée	0,728	1	0,393

Le modèle complet [Tableau 19] a un R<sup>2</sup> de 0,175. Il montre un effet significatif du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire.

**Tableau 20. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	10,3	2	0,006

Le modèle parcimonieux [Tableau 20] a un AIC inférieur (-86,493) aux modèles précédents (-84,959). Son R<sup>2</sup> est de 0,119.

**Tableau 21. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté**

Comparaison					
Difficulté	Difficulté	Différence	SE	z	P <sub>bonferroni</sub>
Facile	Difficile	-0,119 5	0,037 3	-3,21	0,004
Facile	Modérée	-0,061 1	0,037 3	-1,64	0,303
Modérée	Difficile	-0,058 3	0,037 6	-1,55	0,363

Le test de comparaison multiple [Tableau 21] montre que l'effet significatif du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire repose sur une différence significative entre les niveaux facile et difficile.

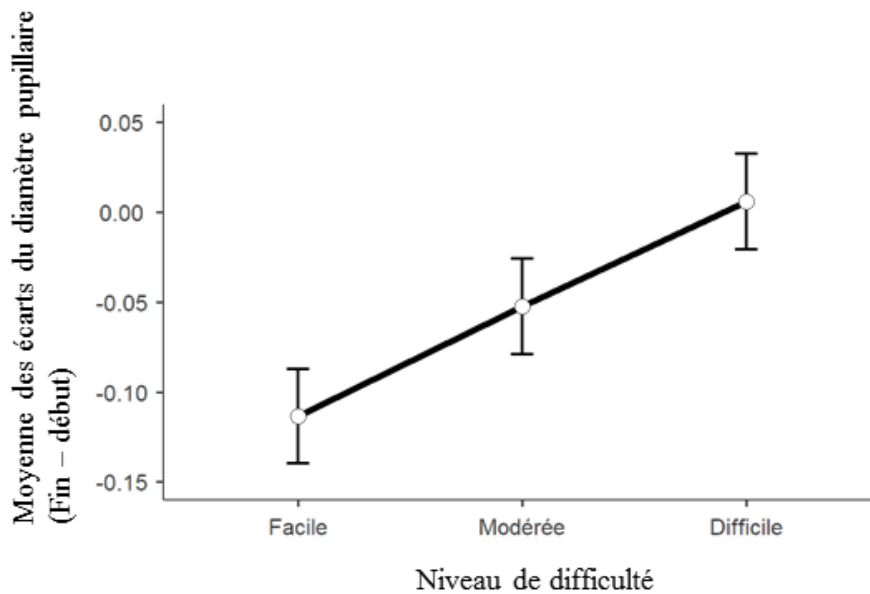


Figure 141. Effets du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire.

Le graphe [Figure 141] montre que le diamètre pupillaire augmente avec le niveau de difficulté. Il est donc significativement supérieur pour le niveau difficile par rapport au niveau facile ( $p=0,004$ ).

## 5.6 Effet de synchronie et indicateurs de performance

Le modèle opérationnel suppose l'existence d'un effet de synchronie sur certains indicateurs de performance. Seront donc testés ici les effets de l'interaction entre le moment de la journée et le chronotype et du niveau de difficulté.

### 5.6.1 Temps de réaction

Tableau 22. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	9,071 1	2	0,011
Chronotype	0,528 6	1	0,467
Moment de la journée	1,620 2	1	0,203
Chronotype * Moment de la journée	0,027 5	1	0,868
Chronotype * Difficulté	0,420 0	2	0,811
Moment de la journée * Difficulté	2,543 6	2	0,280

Le modèle complet [Tableau 22] montre un effet du niveau de difficulté sur le temps de réaction. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,166 et un AIC de 323,75.

**Tableau 23. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle parcimonieux**

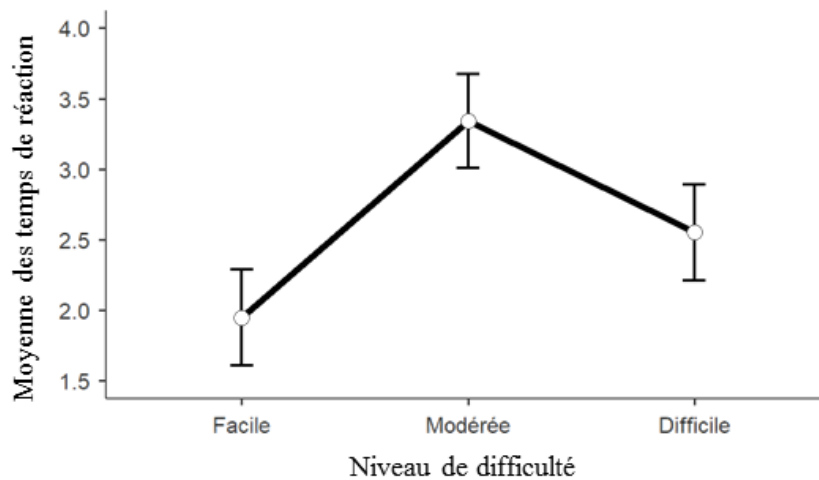
	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	8,69	2	0,013

Le modèle parcimonieux [Tableau 23] a un R<sup>2</sup> de 0,103. Son AIC est légèrement inférieur (315,558) à celui du modèle précédent (315,859).

**Tableau 24. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté**

Post-Hoc Comparisons — Difficulté

Comparaison					
Difficulté	Difficulté	Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Facile	- Difficile	-0,603	0,479	-1,26	0,625
Facile	- Modérée	-1,394	0,475	-2,94	0,010
Modérée	- Difficile	0,791	0,475	1,67	0,287



**Figure 142. Effet du niveau de difficulté sur le temps de réaction**

Le test de comparaison multiple [Tableau 24] montre que l'effet significatif est lié à une différence significative de la moyenne des temps de réaction entre la tâche facile et la tâche modérée. Le temps de réaction est plus court pour la tâche facile comparativement à la tâche modérée [p=0,01 ; Figure 142].

## 5.6.2 Nombre de collisions

**Tableau 25. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	20,321	2	<.001
Chronotype	0,109	1	0,741
Moment de la journée	0,234	1	0,629
Moment de la journée * Chronotype	0,187	1	0,665
Moment de la journée * Difficulté	1,264	2	0,531
Difficulté * Chronotype	0,358	2	0,836

Le modèle complet [Tableau 25] montre un effet significatif du niveau de difficulté sur le nombre de collisions. Le modèle obtenu a un R<sup>2</sup> de 0,249 et un AIC de 318,566.

**Tableau 26. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	22,8	2	<.001

Le modèle simplifié [Tableau 26] a un AIC inférieur (306,958) au modèle précédent (318,566). Il a un R<sup>2</sup> de 0,226.

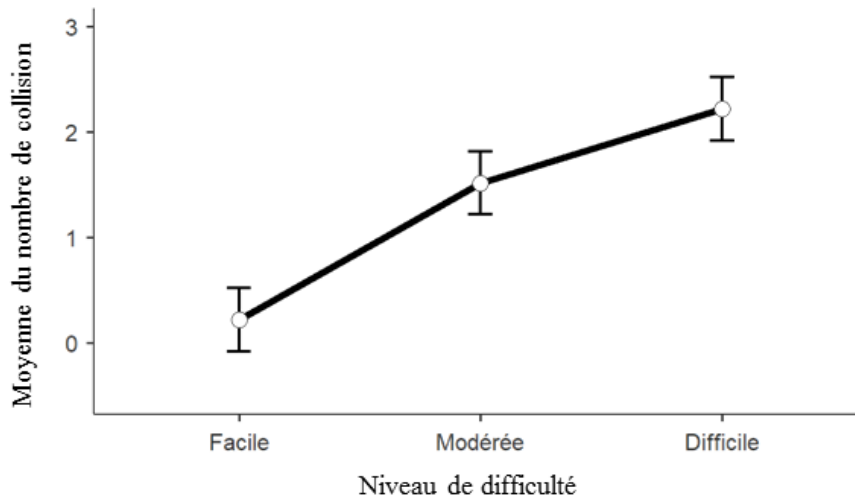
**Tableau 27. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté**

Post-Hoc Comparisons — Difficulté

Comparaison		Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Difficulté	Difficulté				
Facile	Difficile	-2,000	0,425	-4,71	<.001
Facile	Modérée	-1,296	0,425	-3,05	0,007
Modérée	Difficile	-0,704	0,425	-1,66	0,293

Le test de comparaison multiple [Tableau 27] montre qu'il existe des différences significatives entre le niveau facile et les autres niveaux de difficulté (avec niveau modéré, p = 0.007 ; avec niveau difficile, p<0.001).





**Figure 143. Effets du niveau de difficulté sur le nombre de collisions**

Le graphe [Figure 143] montre que le nombre de collisions augmente avec le niveau de difficulté.

### 5.6.3 Nombre de navires sélectionnés après 150 m

**Tableau 28. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	54,862	2	<,001
Chronotype	1,130	1	0,288
Moment de la journée	0,149	1	0,699
Chronotype * Moment de la journée	7,325	1	0,007
Difficulté * Moment de la journée	3,082	2	0,214
Difficulté * Chronotype	0,338	2	0,845

Le modèle complet [Tableau 28] a un R<sup>2</sup> de 0,496 et un AIC de 214,673. Le nombre de navires sélectionnés après 150 m est significativement affecté par le niveau de difficulté et l'interaction entre le chronotype et le moment de la journée.

**Tableau 29. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour un modèle simplifié**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	58 735	2	<.001
Chronotype	1 141	1	0,285

	X <sup>2</sup>	df	p
Moment de la journée	0,151	1	0,698
Chronotype * Moment de la journée	7 392	1	0,007

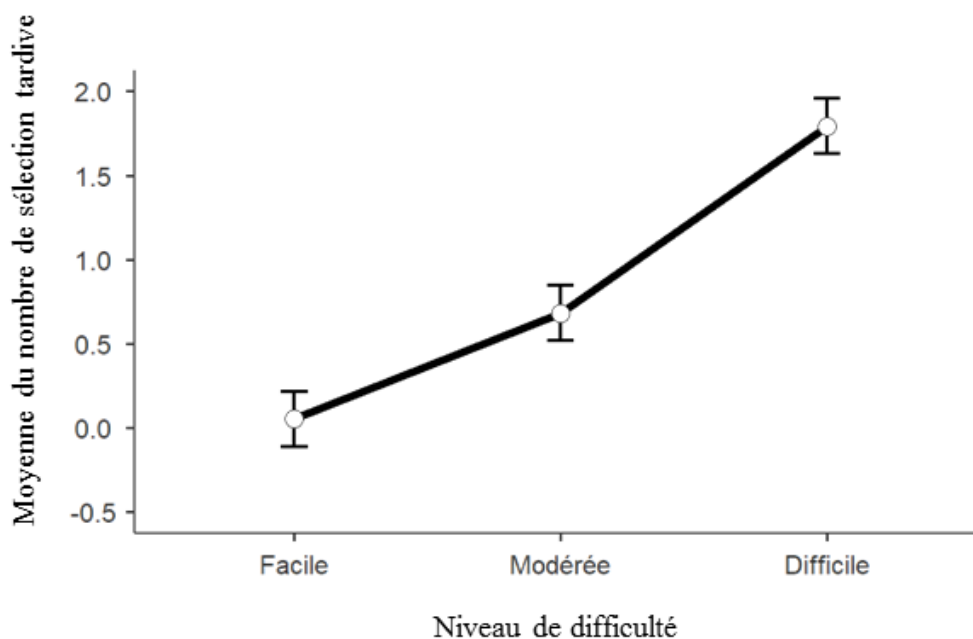
Le modèle simplifié [Tableau 29] a un AIC inférieur (210,375) au modèle complet (214,673). Son R<sup>2</sup> est de 0,472. L'obtention d'un R<sup>2</sup> de 47,2 % montre la pertinence des variables considérées pour déterminer le nombre de sélections tardives.

**Tableau 30. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté**

Post-Hoc Comparisons — Difficulté

Comparaison					
Difficulté	Difficulté	Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Facile	- Difficile	-1 741	0,230	-7,57	< .001
Facile	- Modérée	-0,630	0,230	-2,74	0,019
Modérée	- Difficile	-1 111	0,230	-4,83	< .001

L'analyse Post-Hoc [Tableau 30] montre qu'il existe des différences significatives du nombre de navires sélectionnés après 150 m entre chacun des différents niveaux de difficulté.



**Figure 144. Effet du niveau de difficulté sur le nombre de navires sélectionné après 150 m**

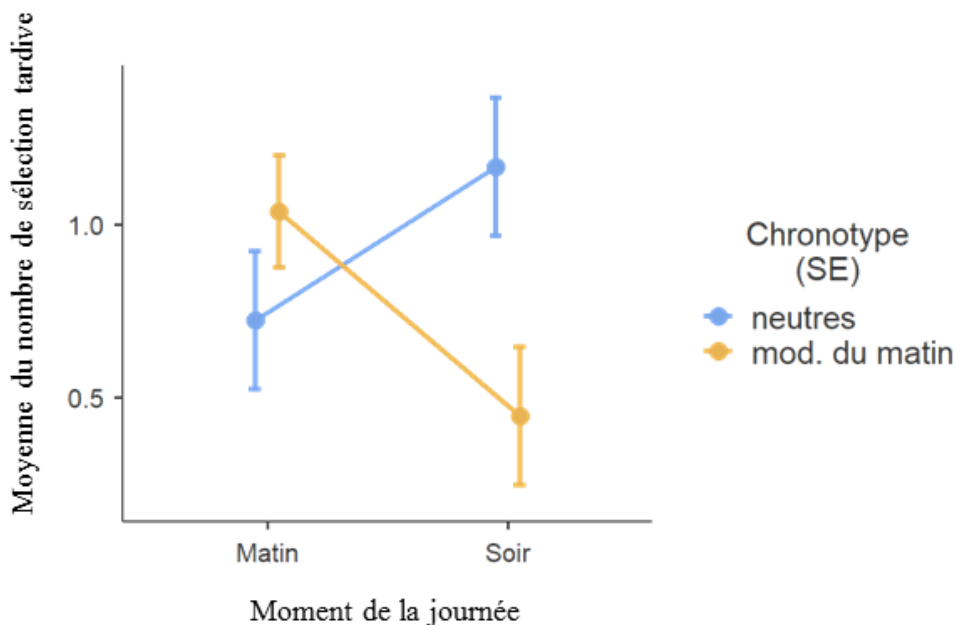
Le graphe [Figure 144] indique que le nombre de navires sélectionnés après les 150 m augmente avec le niveau de difficulté. Ainsi, plus la tâche est difficile et plus le nombre de navires dont le suivi commence après la zone des 150 m est élevé.

**Tableau 31. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Chronotype\*Moment de la journée**

Post-Hoc Comparisons — Chronotype \* Moment de la journée

Comparaison					Différence	SE	z	pbonferroni
Chronotype	Moment de la journée	Chronotype	Moment de la journée					
Neutres	Matin	- Neutres	Soir	-0,444	0,282	1,578	0,688	
Neutres	Matin	- mod. du matin	Matin	-0,315	0,257	1,224	1,000	
Neutres	Matin	- mod. du matin	Soir	0,278	0,282	0,986	1,000	
Neutres	Soir	- mod. du matin	Soir	0,722	0,282	2,564	0,062	
mod. du matin	Matin	- Neutres	Soir	-0,130	0,257	0,504	1,000	
mod. du matin	Matin	- mod. du matin	Soir	0,593	0,257	2,304	0,127	

L'analyse Post-Hoc [Tableau 31] étudiant plus précisément l'effet d'interaction entre moment de la journée et chronotype ne révèle qu'une différence tendancielle du nombre de navires sélectionnés après 150 m entre les individus neutres et modérément du matin lorsque la passation a lieu le soir ( $p < 0.062$ ).



**Figure 145. Effet du moment de la journée sur le nombre de navires sélectionnés après les 150 mètres**

La figure 145 montre effectivement un nombre de navires sélectionnés après 150 m plus élevés le soir chez les individus neutres comparativement aux modérément du matin. Cette différence est bien plus faible le matin.

#### 5.6.4 Nombre de destructions avant 150 mètres

**Tableau 32. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant application du principe de parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	2 015	2	0,365
Chronotype	2 393	1	0,122
Moment de la journée	0,354	1	0,552
Chronotype * Moment de la journée	2 393	1	0,122
Chronotype * Difficulté	1 174	2	0,556
<b>Moment de la journée * Difficulté</b>	6 150	2	<b>0,046</b>

Le modèle complet [Tableau 32] montre un effet significatif de l'interaction entre le moment de la journée et le niveau de difficulté sur le nombre de destructions avant 150 mètres. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,182 et un AIC de 181,006.

**Tableau 33. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle simplifié.**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	1,993 5	2	0,369
Moment de la journée	0,080 4	1	0,777
<b>Moment de la journée * Difficulté</b>	6,518 4	2	<b>0,038</b>

Le modèle parcimonieux [Tableau 33] avec un AIC (180,036) supérieur au modèle précédent et un R<sup>2</sup> de 0,108 révèle également un effet significatif de l'interaction entre le moment de la journée et le niveau de difficulté sur le nombre de destructions avant 150 m.

**Tableau 34. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Moment de la journée\*Difficulté**

Post-Hoc Comparisons — Moment de la journée \* Difficulté

		Comparaison		Différence	SE	z	P <sub>bonferroni</sub>
Moment de la journée	Difficulté	Moment de la journée	Difficulté				
Matin	Difficile	- Soir	Difficile	-0,450 0	0,271	1 658	1 000
Matin	Facile	- Matin	Difficile	-0,066 7	0,256	0,261	1 000
Matin	Facile	- Matin	Modérée	-0,600 0	0,256	2 345	0,286

Post-Hoc Comparisons — Moment de la journée \* Difficulté

Comparaison								
Moment de la journée	Difficulté		Moment de la journée	Difficulté	Différence	SE	z	Pbonferroni
Matin	Facile	-	Soir	Difficile	-0,516 7	0,271	1 904	0,854
Matin	Facile	-	Soir	Facile	-0,183 3	0,271	0,675	1 000
Matin	Facile	-	Soir	Modérée	-0,100 0	0,271	0,368	1 000
Matin	Modérée	-	Matin	Difficile	0,533 3	0,256	2 084	0,557
Matin	Modérée	-	Soir	Difficile	0,083 3	0,271	0,307	1 000
Matin	Modérée	-	Soir	Modérée	0,500 0	0,271	1 842	0,982
Soir	Facile	-	Matin	Difficile	0,116 7	0,271	0,430	1 000
Soir	Facile	-	Matin	Modérée	-0,416 7	0,271	1 535	1 000
Soir	Facile	-	Soir	Difficile	-0,333 3	0,286	1 165	1 000
Soir	Facile	-	Soir	Modérée	0,083 3	0,286	0,291	1 000
Soir	Modérée	-	Matin	Difficile	0,033 3	0,271	0,123	1 000
Soir	Modérée	-	Soir	Difficile	-0,416 7	0,286	1 456	1 000

L'analyse Post-Hoc [Tableau 34] de ce modèle ne permet pas de comprendre l'origine de l'effet significatif de l'interaction entre le moment de la journée et le niveau de difficulté sur le nombre de destructions avant 150 m. En effet, aucune comparaison deux à deux n'est significative.

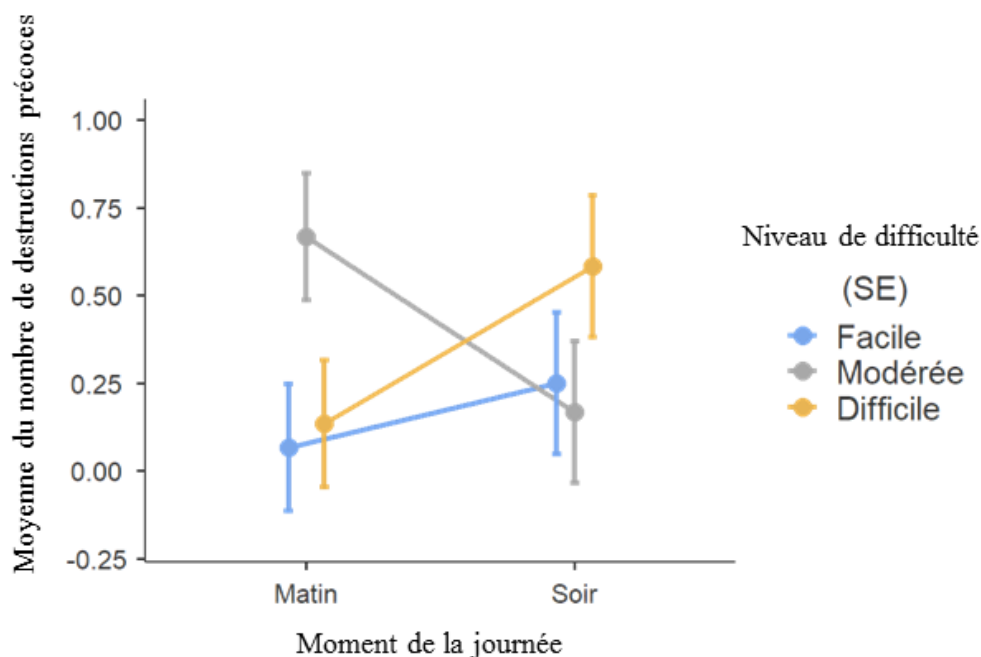


Figure 146. Effets du moment de la journée et du niveau de difficulté sur le nombre de destructions avant 150 mètres

Cependant, malgré un manque de significativité, le graphe représentant le nombre moyen de destructions avant 150 m en fonction du niveau de difficulté et du moment de la journée [Figure 146] montre bien des moyennes différentes en fonction de ces deux facteurs.

## 5.7 Test des effets internes du modèle opérationnel

Le modèle théorique complet a pour but la prise en compte des effets directes, c'est-à-dire les effets de synchronie sur les différentes composantes du modèle. Les internes sont les relations entre les différentes parties intérieures au modèle opérationnel.

### 5.7.1 Moment de la journée, typologie circadienne et niveau de difficulté sur le niveau de vigilance après la tâche

Le modèle hypothétique suppose que le niveau de vigilance après la tâche est expliqué par l'interaction du moment de la journée et du chronotype et le niveau de difficulté de la tâche. Ici le but est de vérifier les effets du moment de la journée, de la typologie circadienne et du niveau de difficulté, afin de vérifier les effets du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance après la tâche.

**Tableau 35. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	2,983 12	2	0,225
Moment de la journée	0,235 42	1	0,628
<b>Chronotype</b>	5,385 58	1	<b>0,020</b>
Difficulté * Moment de la journée	<b>0,005 80</b>	2	0,997
<b>Difficulté * Chronotype</b>	6,462 31	2	<b>0,040</b>
<b>Moment de la journée * Chronotype</b>	4,108 35	1	<b>0,043</b>
Difficulté * Moment de la journée * Chronotype	0,565 17	2	0,754

L'analyse du modèle linéaire généralisée indique que les facteurs pouvant expliquer le niveau de vigilance après la tâche sont : le chronotype, l'interaction entre le chronotype et le moment de la journée, et l'interaction entre le niveau de difficulté et le chronotype. Le modèle obtenu [Tableau 35] a un R<sup>2</sup> de 0,229.

L'application du principe de parcimonie permet l'obtention d'un nouveau modèle [Tableau 36] ayant un R<sup>2</sup> de 0,223 et un AIC inférieur (232,856) à celui du modèle précédemment obtenu (240,186).

**Tableau 36. Résultats du test du rapport de vraisemblance**

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	3,409	2	0,182
Moment de la journée	0,246	1	0,620
<b>Chronotype</b>	5,651	1	<b>0,017</b>

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté * Chronotype	6,523	2	0,038
Moment de la journée * Chronotype	4,310	1	0,038

Les résultats du test du rapport de vraisemblance [Tableau 36] indiquent que les effets significatifs obtenus précédemment restent significatifs dans ce nouveau modèle.

**Tableau 37. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Chronotype\*Niveau de difficulté**

Comparaison								
Difficulté	Chronotype		Chronotype	Difficulté	Différence	SE	z	P <sub>bonferroni</sub>
Difficile	neutres	-	Difficile	mod. du matin	0,147 0	0,373	0,394	1,000
Difficile	neutres	-	Facile	mod. du matin	-0,086 1	0,373	-0,231	1,000
Difficile	neutres	-	Modérée	mod. du matin	-0,136 3	0,373	-0,365	1,000
Facile	neutres	-	Difficile	neutres	-1,109 7	0,392	-2,831	0,070
Facile	neutres	-	Difficile	mod. du matin	-0,962 7	0,373	-2,581	0,148
<b>Facile</b>	<b>neutres</b>	-	<b>Facile</b>	<b>mod. du matin</b>	-1,195 8	0,373	-3,206	<b>0,020</b>
Facile	neutres	-	Modérée	mod. du matin	-1,246 0	0,373	-3,340	0,013
Facile	mod. du matin	-	Difficile	mod. du matin	0,233 1	0,351	0,665	1,000
Modérée	neutres	-	Difficile	neutres	-0,360 0	0,392	-0,919	1,000
Modérée	neutres	-	Difficile	mod. du matin	-0,213 1	0,373	-0,571	1,000
Modérée	neutres	-	Facile	neutres	0,749 7	0,392	1,913	0,837
Modérée	neutres	-	Facile	mod. du matin	-0,446 2	0,373	-1,196	1,000
Modérée	neutres	-	Modérée	mod. du matin	-0,496 4	0,373	-1,331	1,000
Modérée	mod. du matin	-	Difficile	mod. du matin	0,283 3	0,351	0,808	1,000
Modérée	mod. du matin	-	Facile	mod. du matin	0,050 2	0,351	0,143	1,000

Le test de comparaison multiple Post-Hoc [Tableau 37] révèle une différence significative de niveau de vigilance après la tâche entre les individus neutres et les individus modérément du matin dans la condition facile.



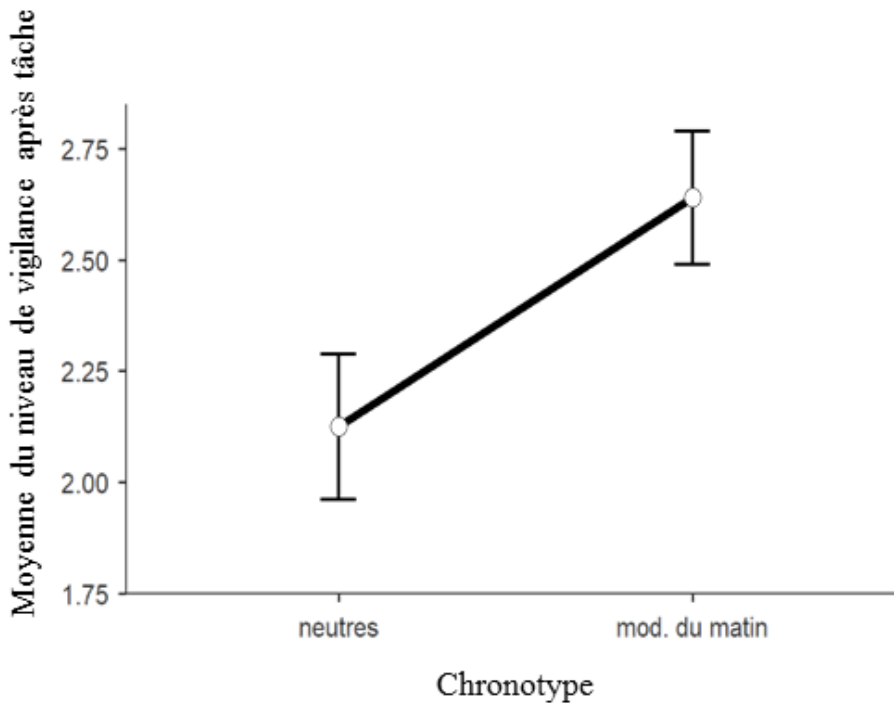


Figure 147. Effet du chronotype sur le niveau de vigilance après la tâche

La figure 147 nous indique que le niveau de vigilance des participants à la typologie circadienne du matin est supérieur à celui des participants neutres.

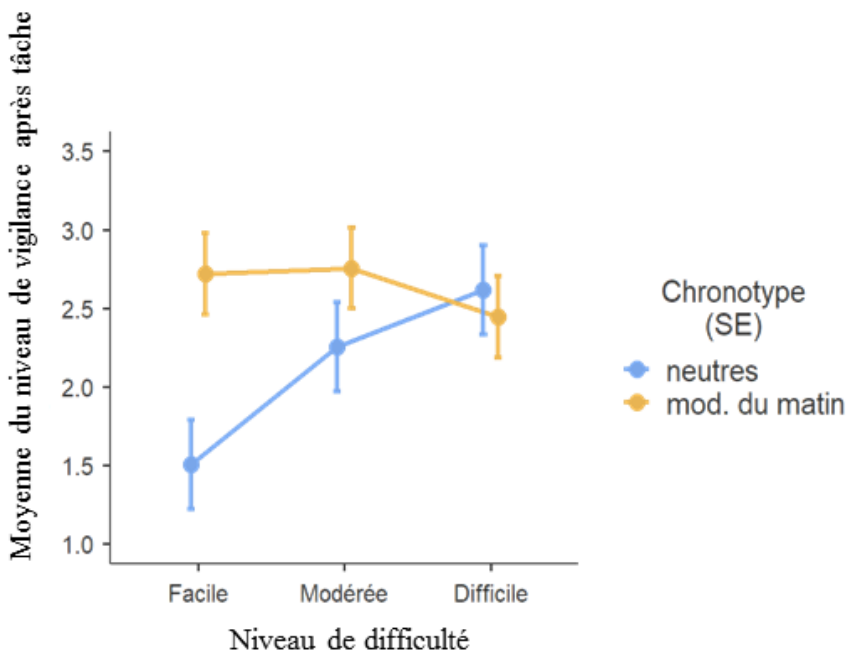


Figure 148. Effet de l'interaction niveau de difficulté\*chronotype sur le niveau de vigilance après la tâche

Le graphe [Figure 148] montre en effet que le niveau de vigilance des participants à la typologie circadienne du matin est significativement plus élevé que celui des participants neutres après la tâche facile. De manière générale, nous pouvons observer que le niveau de vigilance après la tâche reste assez élevé et relativement stable pour les individus modérément du matin, quel que soit le niveau de difficulté de la tâche, alors qu'il augmente progressivement avec le niveau de difficulté de la tâche pour les individus neutres.

Enfin, il existe également un effet significatif [Tableau 36] de l'interaction du chronotype et du moment de la journée.

**Tableau 38. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Moment de la journée \* Chronotype**

Comparaison								
Moment de la journée	Chronotype		Moment de la journée	Chronotype	Différence	SE	z	P <sub>bonferro ni</sub>
Matin	neutres	-	Matin	mod. du matin	-0,964 9	0,302	-3,199	0,008
Matin	neutres	-	Soir	neutres	-0,342 2	0,330	-1,036	1,000
Matin	neutres	-	Soir	mod. du matin	-0,407 4	0,330	-1,233	1,000
Matin	mod. du matin	-	Soir	mod. du matin	0,557 5	0,302	1,848	0,387
Soir	neutres	-	Matin	mod. du matin	-0,622 7	0,302	-2,064	0,234
Soir	neutres	-	Soir	mod. du matin	-0,065 2	0,330	-0,197	1,000

Les résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc [Tableau 38] mettent en évidence une différence significative le matin, entre les participants neutres et ceux modérément du matin.

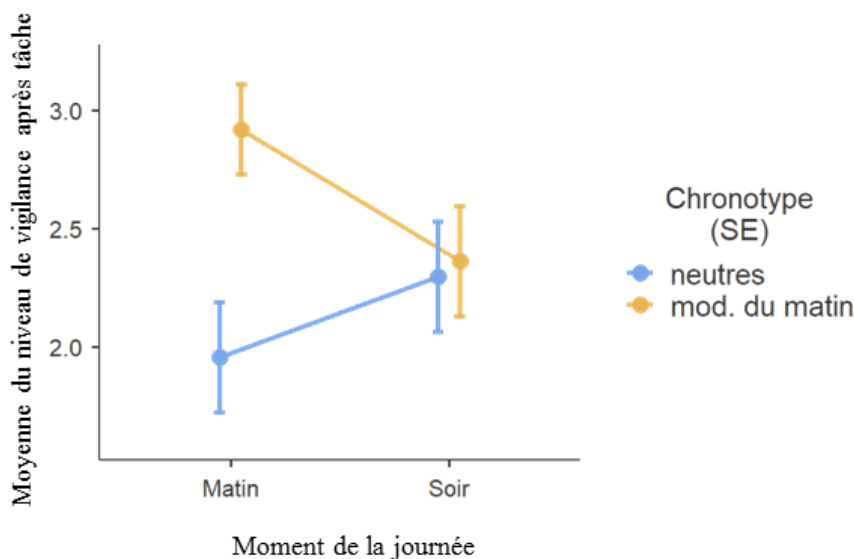


Figure 149. Effet du moment de la journée sur la vigilance en fonction du chronotype

Le graphe [Figure 149] montre que le matin, le niveau de vigilance des participants à la typologie circadienne du matin est supérieur au niveau de vigilance des participants neutres. Cette différence disparaît lors des passations du soir.

### 5.7.2 Moment de la journée, typologie circadienne, niveau de difficulté et évolution du niveau de vigilance

Étudier les effets du moment de la journée et de la typologie circadienne sur le niveau de vigilance différentiel nous permet de connaître l'évolution du niveau de vigilance en fonction des périodes optimales ou non optimales.

Les différences de vigilance étant calculées par la soustraction du niveau de vigilance avant la tâche au niveau de vigilance après, une **donnée positive** correspond à une **hausse du niveau de vigilance**, une **donnée négative** signifie une **baisse du niveau de vigilance** entre le début et la fin de la tâche.

Tableau 39. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	0,994	1	0,319
Difficulté	7,195	2	0,027
Moment de la journée	0,686	1	0,407
Chronotype * Difficulté	14,056	2	<,001
Chronotype * Moment de la journée	0,168	1	0,682
Difficulté * Moment de la journée	1,271	2	0,530
Chronotype * Difficulté * Moment de la journée	0,662	2	0,718

---

X<sup>2</sup>    df    p

---

Le test du rapport de vraisemblance [Tableau 39] montre un effet significatif de la difficulté et de l'interaction du chronotype et du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,252.

L'application du principe de parcimonie permet d'obtenir le modèle suivant :

**Tableau 40. Résultats du test du rapport de vraisemblance après parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Chronotype	0,811	1	0,368
Difficulté	7,241	2	0,027
Chronotype * Difficulté	15,147	2	<,001

Le nouveau modèle, après application du principe de parcimonie a un R<sup>2</sup> de 0,221 comparativement plus faible que celui du modèle de départ, et un AIC (237,445) inférieur à l'AIC (246,195) du modèle précédent. Il révèle un effet significatif du niveau de difficulté et de l'interaction entre chronotype et niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel.

**Tableau 41. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni du Niveau de difficulté**

Comparaison					
Difficulté	Difficulté	Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Facile	- Difficile	-0,498	0,274	-1,820	0,206
Facile	- Modérée	-0,718	0,274	-2,626	0,026
Modérée	- Difficile	0,220	0,274	0,806	1,000

Les résultats du test de comparaison multiple Post Hoc [Tableau 41] montrent une différence significative du niveau de vigilance différentiel entre la tâche facile et la tâche modérée ( $p = 0.026$ ).

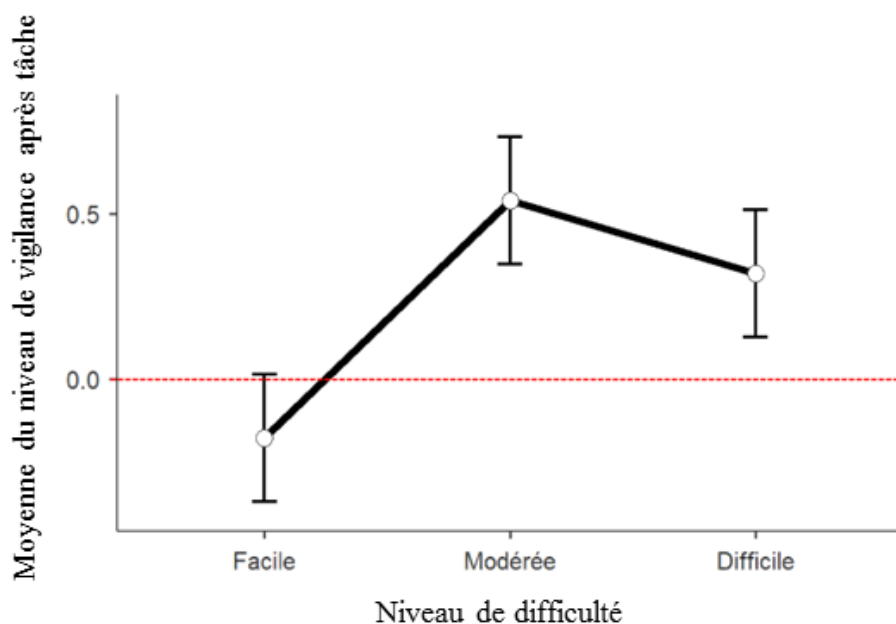


Figure 150. Écart du niveau de vigilance en fonction du niveau de difficulté

La figure 150 montre que le niveau de vigilance diminue entre le début et la fin de la tâche facile, alors qu'il augmente au cours de la tâche modérée.

Tableau 42. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction Difficulté et Chronotype

Chronotype		Difficulté		Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Chronotype	Difficulté	Chronotype	Difficulté				
neutres	Difficile	- mod. du matin	Difficile	0,932	0,387	2,409	0,240
neutres	Facile	- neutres	Difficile	-1,474	0,408	-3,615	0,005
neutres	Facile	- neutres	Modérée	-1,574	0,408	-3,861	0,002
neutres	Facile	- mod. du matin	Difficile	-0,542	0,387	-1,401	1,000
neutres	Facile	- mod. du matin	Facile	-1,020	0,387	-2,638	0,125
neutres	Facile	- mod. du matin	Modérée	-0,883	0,387	-2,282	0,337
neutres	Modérée	- neutres	Difficile	0,100	0,408	0,246	1,000
neutres	Modérée	- mod. du matin	Difficile	1,032	0,387	2,668	0,114
neutres	Modérée	- mod. du matin	Modérée	0,692	0,387	1,788	1,000
mod. du matin	Facile	- neutres	Difficile	-0,454	0,387	-1,173	1,000
mod. du matin	Facile	- neutres	Modérée	-0,554	0,387	-1,432	1,000
mod. du matin	Facile	- mod. du matin	Difficile	0,478	0,365	1,311	1,000
mod. du matin	Facile	- mod. du matin	Modérée	0,138	0,365	0,377	1,000
mod. du matin	Modérée	- neutres	Difficile	-0,591	0,387	-1,529	1,000
mod. du matin	Modérée	- mod. du matin	Difficile	0,341	0,365	0,934	1,000

Le test de comparaison multiple Post-Hoc [Tableau 42] révèle des différences significatives du niveau de vigilance différentiel seulement pour les participants à la typologie circadienne neutre. Il fait état d'une différence significative entre la tâche facile et les deux autres tâches modérée et difficile.

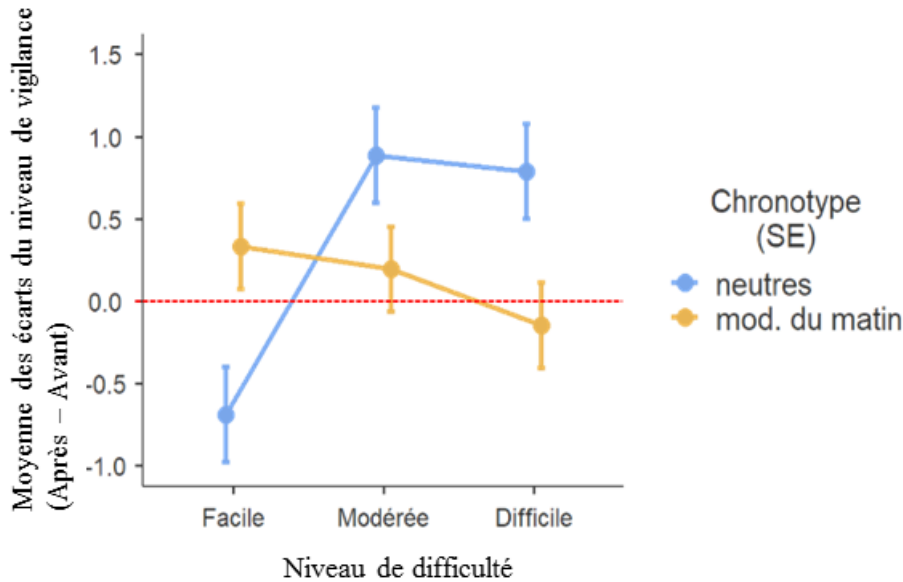


Figure 151. Influence du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance en fonction du chronotype

La figure 151 montre une variation du niveau de vigilance au cours de la tâche plus importante pour les participants à la typologie circadienne neutres, alors que cette variation semble plus stable d'un niveau de difficulté à l'autre pour les individus modérément du matin. Pour les individus neutres, le niveau de vigilance diminue lors de la réalisation de la tâche facile, tandis qu'il augmente lors de la réalisation des tâches modérée et difficile.

### 5.7.3 Niveau de difficulté, niveau de vigilance et diamètre pupillaire

Le modèle opérationnel proposé suppose un effet du niveau de vigilance et du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire. Le diamètre pupillaire étant une valeur différentielle calculée par une soustraction du diamètre pupillaire de fin de tâche au diamètre pupillaire de début de tâche. Les **données positives** correspondent à **une augmentation du diamètre pupillaire**, tandis que les **données négatives** correspondent à **une diminution du diamètre pupillaire**.

Tableau 43. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie

	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	10,511	2	0,005

	X <sup>2</sup>	df	p
Vigilance avant	0,100	1	0,752
Vigilance avant * Difficulté	2,933	2	0,231

Le rapport de vraisemblance [Tableau 43] indique que seul le niveau de difficulté a un effet significatif sur le diamètre pupillaire. Ce modèle a un R<sup>2</sup> de 0,156.

**Tableau 44. Résultats du test du rapport de vraisemblance après parcimonie**

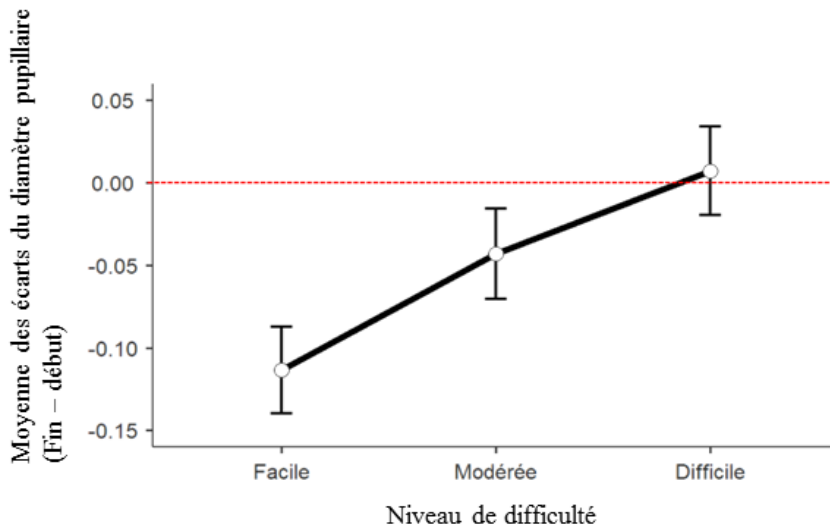
	X <sup>2</sup>	df	p
Difficulté	10,3	2	0,006

Le modèle simplifié [Tableau 44] a un R<sup>2</sup> de 0,120. L'AIC du nouveau modèle est inférieur (-84,961) à l'AIC du modèle d'origine (-82,190).

**Tableau 45. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur le niveau de difficulté**

Comparaison					
Difficulté	Difficulté	Différence	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>
Facile	- Difficile	-0,119 5	0,037 4	-3,20	0,004
Facile	- Modérée	-0,065 4	0,037 7	-1,73	0,249
Modérée	- Difficile	-0,054 1	0,038 1	-1,42	0,467

Le test de comparaison multiple Post-Hoc entre les différents niveaux de difficulté montre l'existence d'une différence significative du diamètre pupillaire entre le niveau difficile et le niveau facile.



**Figure 152. Écart de diamètre pupillaire moyen en fonction du niveau de difficulté**

Le graphe [Figure 152] montre que le diamètre pupillaire augmente avec la difficulté de la tâche. Au cours de la tâche, le diamètre pupillaire augmente très légèrement lors de la réalisation de la tâche difficile, tandis qu'il diminue durant la tâche facile.

#### 5.7.4 Diamètre pupillaire et Conscience de la situation

Le modèle opérationnel fait état d'une possible influence du diamètre pupillaire sur l'évolution des composants de la conscience de la situation, mais d'une absence de relation avec le score global.

##### 5.7.4.1 Diamètre pupillaire et Conscience de la situation détaillée



Correlation Matrix

		Diamètre pupillaire	Priorité entre Évitement et Destruction	Utilisation de la fenêtre d'information	Prise en compte trajectoire	Choix Tâche H	Restitution du Comportement des navires	Nombre de missiles	Conformité entre verbatims et comportement réel
Diamètre pupillaire	Pearson's r	—							
	p-value	—							
Priorité entre Évitement et Destruction	Pearson's r	-0.006	—						
	p-value	0.963	—						
Utilisation de la fenêtre d'information	Pearson's r	-0.110	-0.007	—					
	p-value	0.333	0.954	—					
Prise en compte trajectoire	Pearson's r	-0.058	0.064	-0.004	—				
	p-value	0.628	0.600	0.976	—				
Choix Tâche H	Pearson's r	-0.333	-0.370	0.116	0.386	—			
	p-value	0.096	0.069	0.564	0.052	—			
Restitution du Comportement des navires environnants	Pearson's r	0.163	-0.253	-0.181	-0.197	-0.096	—		
	p-value	0.267	0.089	0.218	0.184	0.715	—		
Nombre de missiles	Pearson's r	-0.020	-0.095	0.177	0.094	0.000	-0.092	—	
	p-value	0.896	0.555	0.251	0.576	1.000	0.663	—	



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

Correlation Matrix

		Diamètre pupillaire	Priorité entre Évitement et Destruction	Utilisation de la fenêtre d'information	Prise en compte trajectoire	Choix Tâche H	Restitution du Comportement des navires	Nombre de missiles	Conformité entre verbatims et comportement réel
Conformité entre verbatims et comportement réel	Pearson's r	0.192	0.045	-0.008	0.000	-0.204	-0.071	NaN	—
	p-value	0.430	0.855	0.973	1.000	0.388	0.817	NaN	—

La matrice de corrélation permettant d'analyser la relation entre le diamètre pupillaire et les composants de la conscience de la situation montre qu'il n'y a pas de relations entre le diamètre pupillaire et la conscience de la situation détaillée.

## 5.8 La performance

Le dernier niveau du modèle opérationnel concerne les effets des éléments antérieurs sur les indicateurs de performance. Pour ce faire, les 2 versions du modèle opérationnel ont été testées pour chaque indicateur de performance.

### 5.8.1 Le temps de réaction

#### 5.8.1.1 Effet du score SA global, du diamètre pupillaire et de la vigilance

Tableau 46. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie

	X <sup>2</sup>	df	p
SA score	0,052 7	1	0,818
Diamètre pupillaire	9,760 7	1	0,002
Niveau de vigilance écart	0,684 8	1	0,408
SA score * Diamètre pupillaire	3,121 8	1	0,077
SA score * Niveau de vigilance écart	0,057 9	1	0,810
Diamètre pupillaire * Niveau de vigilance écart	10,227 8	1	0,001

Le modèle d'origine [Tableau 46] a un R<sup>2</sup> de 0,258. Ce modèle montre des effets significatifs du diamètre pupillaire et l'interaction entre le diamètre pupillaire et le niveau de vigilance différentiel sur le temps de réaction.

Tableau 47. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le modèle parcimonieux

	X <sup>2</sup>	df	p
Diamètre pupillaire	8,124	1	0,004
Niveau de vigilance écart	0,276	1	0,599
Diamètre pupillaire * Niveau de vigilance écart	9 296	1	0,002

Le modèle parcimonieux [Tableau 47] a un R<sup>2</sup> de 0,214 et un AIC inférieurs (300,303) au modèle précédent (301,887). Il rapporte les mêmes effets significatifs que le précédent.

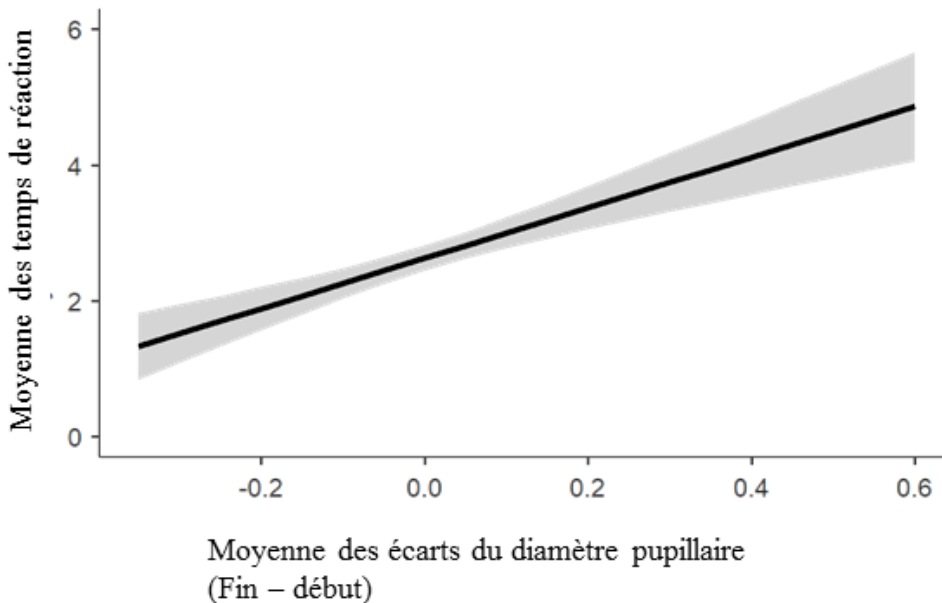


Figure 153. Effet du diamètre pupillaire sur le temps de réaction

Le diamètre pupillaire a un effet significatif sur le temps de réaction. Le graphe [Figure 153] montre ainsi que plus le diamètre pupillaire augmente plus le temps de réaction est élevé.

Une analyse des effets simples entre le diamètre pupillaire et le niveau de vigilance différentiel nous permet de mieux comprendre l'interaction significative entre ces deux facteurs. Tout d'abord le test des modérations sur Jamovi vérifie les effets modérateurs d'une variable continue sous 3 conditions (faible, moyenne, élevé), dans les effets simples. Les 3 conditions pour la variable modératrice sont :

- La condition « faible » représentée par la moyenne – l'écart type (mean-1.SD)
- La condition « moyenne » (mean)
- La condition « élevée » représentée par la moyenne + l'écart type (mean+1.SD).

Une première analyse vérifie les effets simples du diamètre pupillaire sur le niveau de vigilance différentiel [Tableau 48] c'est-à-dire les effets du diamètre pupillaire sur le temps de réaction en fonction des modalités du niveau de vigilance différentiel.

Tableau 48. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire

Moderator levels		95 % Confidence Interval				z	p
Niveau de vigilance écart	Estimate	SE	Lower	Upper			
Mean-1·SD	8,207	1,91	4,47	11,95	4,302	<,001	
Mean	3,717	1,30	1,16	6,27	2,850	0,004	
Mean+1·SD	-0,774	2,02	-4,74	3,19	-0,382	0,702	

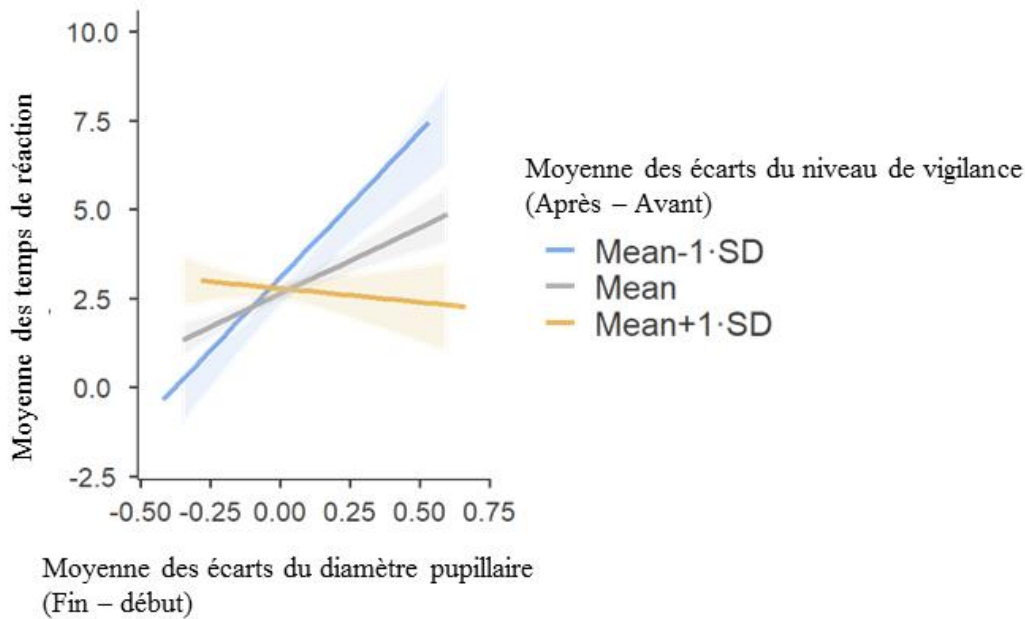


Figure 154. Effets du diamètre pupillaire sur le temps de réaction en fonction du niveau de vigilance

En prenant le niveau de vigilance différentiel comme modérateur des effets du diamètre pupillaire. Le test des effets simples révèle que l'effet modérateur du niveau de vigilance sur le diamètre pupillaire est significatif lorsque le niveau de vigilance est faible ( $p < 0.001$ ) ou moyen ( $p = 0.004$ ).

Le graphe indique que lorsque le niveau de vigilance est faible et que le diamètre pupillaire augmente, le temps de réaction augmente. Lorsque le niveau de vigilance est moyen, et que le diamètre pupillaire augmente, le temps de réaction augmente également.

Tableau 49. Résultat des effets simples du niveau de vigilance différentiel

Simple effects of Niveau de vigilance écart : Omnibus Tests

Moderator levels			
Diamètre pupillaire	X <sup>2</sup>	df	p
Mean-1·SD	8.825	1.00	0.003
Mean	0.276	1.00	0.599
Mean+1·SD	2.953	1.00	0.086

Comprendre les effets de l'interaction du niveau de vigilance différentiel et du diamètre pupillaire nécessite de tester chacune des deux variables comme modérateur des effets de l'autre. Ainsi le tableau 49 présente les effets simples du niveau de vigilance différentiel, en testant les effets modérateurs du diamètre pupillaire. Les résultats révèlent un effet modérateur

significatif du diamètre pupillaire sur les effets du niveau de vigilance différentiel lorsque le diamètre pupillaire est faible.

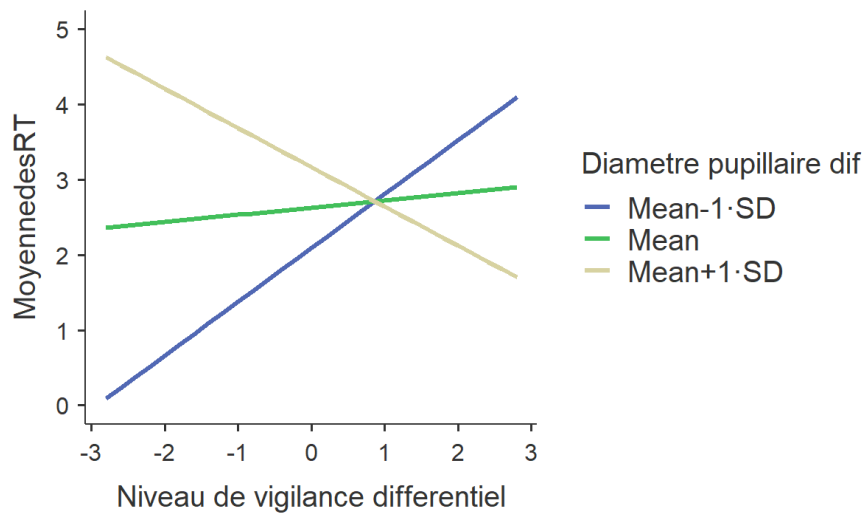


Figure 155. Effets du niveau de vigilance sur le temps de réaction en fonction du diamètre pupillaire

Le graphique [Figure 155] montre que lorsque le diamètre pupillaire est faible, l'augmentation du niveau de vigilance s'accompagne d'une augmentation du temps de réaction.

### 5.8.1.2 Les médiations

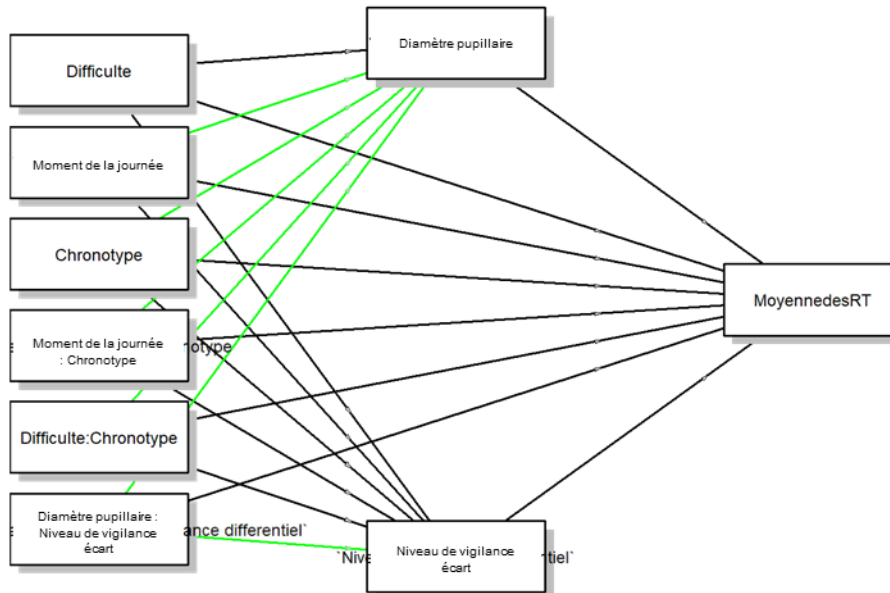


Figure 156. Diagramme du modèle des effets sur le temps de réaction

Les résultats des analyses de médiations directes et indirectes montrent que les effets directs du niveau de difficulté sur le temps de réaction sont médiés par le diamètre pupillaire ( $\beta = 0.12$ ,  $p = 0.026$ ). Par contre, le niveau de vigilance n'est pas une variable médiatrice de l'effet de synchronie sur le temps de réaction.



## 5.8.2 Nombre de collisions.

### 5.8.2.1 Effet du score SA global, du diamètre pupillaire et de la vigilance

**Tableau 50. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie**

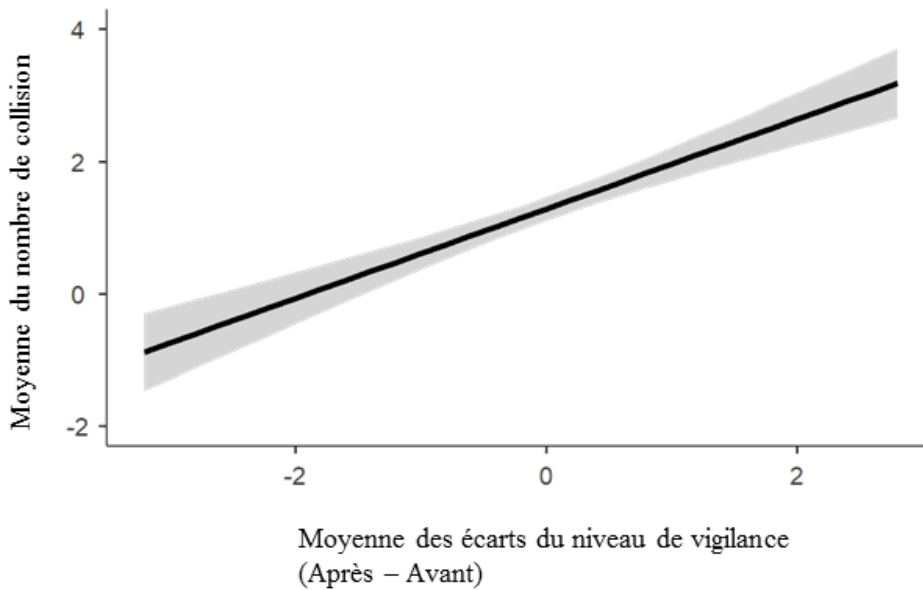
	X <sup>2</sup>	df	p
SA score	0,469	1	0,494
Diamètre pupillaire	0,282	1	0,596
Niveau de vigilance écart	14,618	1	<,001
Diamètre pupillaire * SA score	4,615	1	0,032
Diamètre pupillaire * Niveau de vigilance écart	5,20e-4	1	0,982
Niveau de vigilance écart * SA score	1,661	1	0,198

Le modèle complet [Tableau 50] a un R<sup>2</sup> de 0,206. Il fait apparaître des effets significatifs du niveau de vigilance et de l'interaction entre le diamètre pupillaire et le score de SA sur le nombre de collisions.

**Tableau 51. Résultats du test du rapport de vraisemblance d'un modèle parcimonieux**

	X <sup>2</sup>	df	p
SA score	0,535	1	0,464
Diamètre pupillaire	0,571	1	0,450
Niveau de vigilance écart	13,783	1	<,001
Diamètre pupillaire * SA score	3,730	1	0,053

Le modèle parcimonieux définitif [Tableau 51] a un AIC inférieur (304,727) au modèle précédent (306,909). Le modèle a un R<sup>2</sup> de 0,187. Il révèle un effet significatif du niveau de vigilance différentiel et de l'interaction entre le diamètre pupillaire et le score global de SA sur le nombre de collisions.



**Figure 157. Effet du niveau de vigilance sur le nombre de collisions**

Le graphe [Figure 157] indique une augmentation du nombre de collisions avec l’augmentation du niveau de vigilance.

**Tableau 52. Résultat des effets simples du score de SA**

Simple effects of SAScore: Omnibus Tests

Moderator levels			
Diamètre pupillaire	X <sup>2</sup>	df	p
Mean-1·SD	5,198	1,00	0,023
Mean	0,535	1,00	0,464
Mean+1·SD	0,590	1,00	0,443

L’étude des effets simples du score de SA en fonction du diamètre pupillaire [Tableau 52] montre un effet significatif du score de SA sur le nombre de collisions lorsque le diamètre pupillaire est inférieur au niveau moyen.

**Tableau 53. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire**

Simple effects of Diametre pupillaire : Omnibus Tests

Moderator levels			
SAscore	X <sup>2</sup>	df	p
		1,00	
Mean-1·SD	3,161		0,075

Simple effects of Diametre pupillaire : Omnibus Tests

Moderator levels			
SAscore	X <sup>2</sup>	df	p
Mean	0,571	1,00	0,450
Mean+1·SD	0,971	1,00	0,324

L'étude des effets simples du diamètre pupillaire en fonction du score de SA [Tableau 53] ne montre aucun effet significatif sur le nombre de collisions, quel que soit le score de SA.

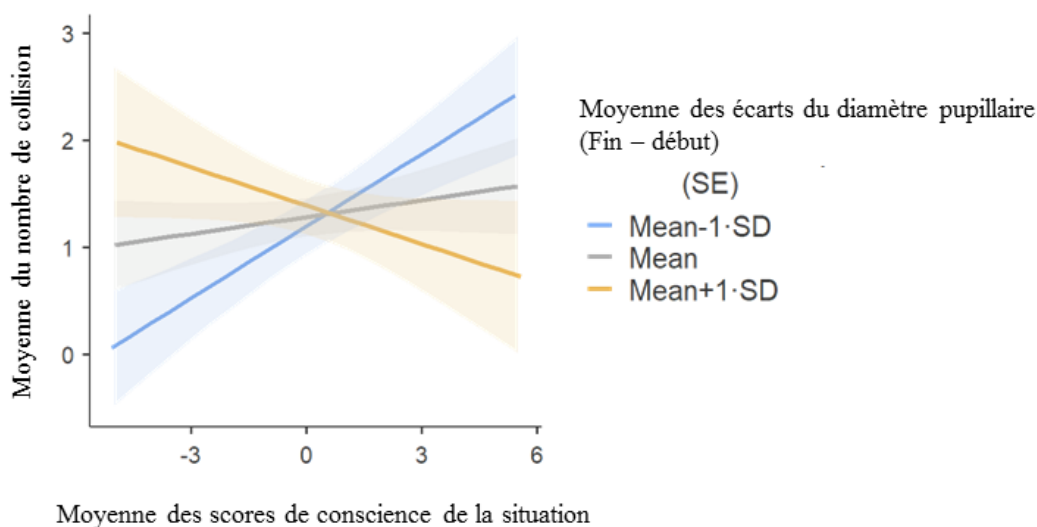


Figure 158. Effets du score de SA sur le nombre de collisions en fonction du diamètre pupillaire

Le graphe indique que, lorsque le diamètre pupillaire est inférieur à la moyenne [Figure 158], l'augmentation du score de SA s'accompagne d'une augmentation du nombre de collisions, lorsque le diamètre pupillaire est égal à la moyenne le nombre de collisions est relativement stable, quel que soit le score de SA, et lorsque le diamètre pupillaire est supérieur à la moyenne, l'augmentation du score de SA s'accompagne d'une diminution du nombre de collisions.

### 5.8.2.2 Effet des différentes composantes de la SA, de la vigilance et du diamètre pupillaire

**Tableau 54. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
Niveau de vigilance écart	7,350	1	0,007
Diamètre pupillaire	1,478	1	0,224
Restitution du comportement des navires	NaN	0	NaN
Nombre de missiles	NaN	0	NaN
Priorité entre évitement et destruction	NaN	0	NaN
Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Utilisation de la fenêtre d'information	0,241	1	0,623
Restitution du comportement des navires * Nombre de missiles	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Priorité entre évitement et destruction	NaN	0	NaN
Nombre de missiles * Priorité entre évitement et destruction	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Nombre de missiles * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Priorité entre évitement et destruction * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Nombre de missiles * Priorité entre évitement et destruction	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Nombre de missiles * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Priorité entre évitement et destruction * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Nombre de missiles * Priorité entre évitement et destruction * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN
Restitution du comportement des navires * Nombre de missiles * Priorité entre évitements et destruction * Prise en compte trajectoire	NaN	0	NaN

Le modèle complet [Tableau 54] montre un effet significatif du niveau de vigilance sur le nombre de collisions, le modèle a un AIC de 62,694 et un R<sup>2</sup> de 0,919.

**Tableau 55. Résultats du test du rapport de vraisemblance d'un modèle parcimonieux**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
Niveau de vigilance écart	13,50	1	<,001
Nombre de missiles	5,62	2	0,060
Restitution du comportement des navires	4,31	1	0,038
Priorité entre Evitement Destruction	4,98	2	0,083
Prise en compte trajectoire	7,90	1	0,005
Restitution du comportement des navires * Prise en compte trajectoire	7,25	1	0,007

Le modèle simplifié [Tableau 55] a un R<sup>2</sup> de 0,776 et un AIC (67,141) supérieur à celui du modèle précédent (62,694).

© Propriété Naval Group SA (2020), tous droits réservés

## Post Hoc Comparisons - Restitution du Comportement des navires

Comparison		Differen ce	SE	z	pbonferro ni
Restitution du Comportement des navires	Restitution du Comportement des navires				
0	- 1	-1.09	0.525	2.07	0.038
.	- .	.	.	.	.
.	- .	.	.	.	.

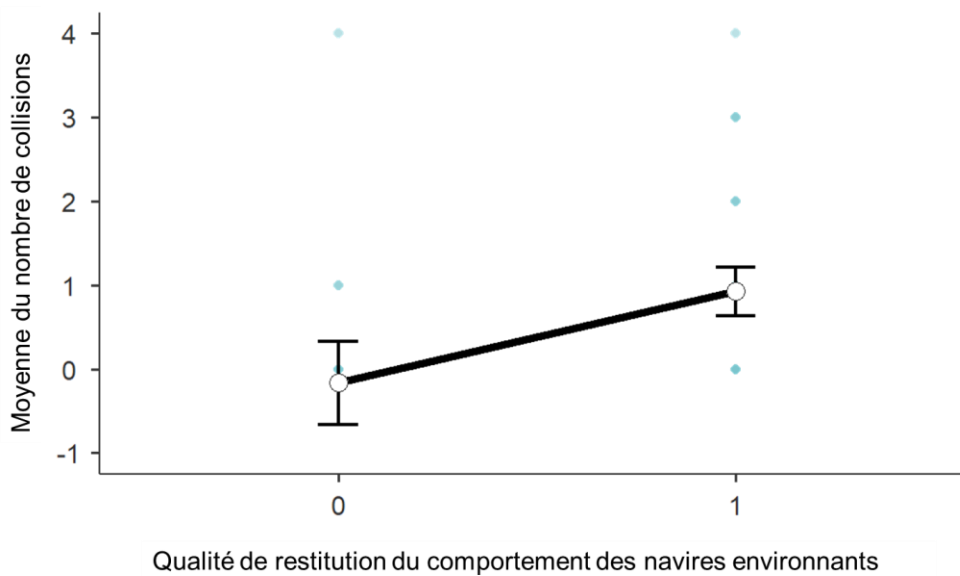


Figure 159. Le nombre de collisions en fonction de la qualité de restitution du comportement des navires environnants

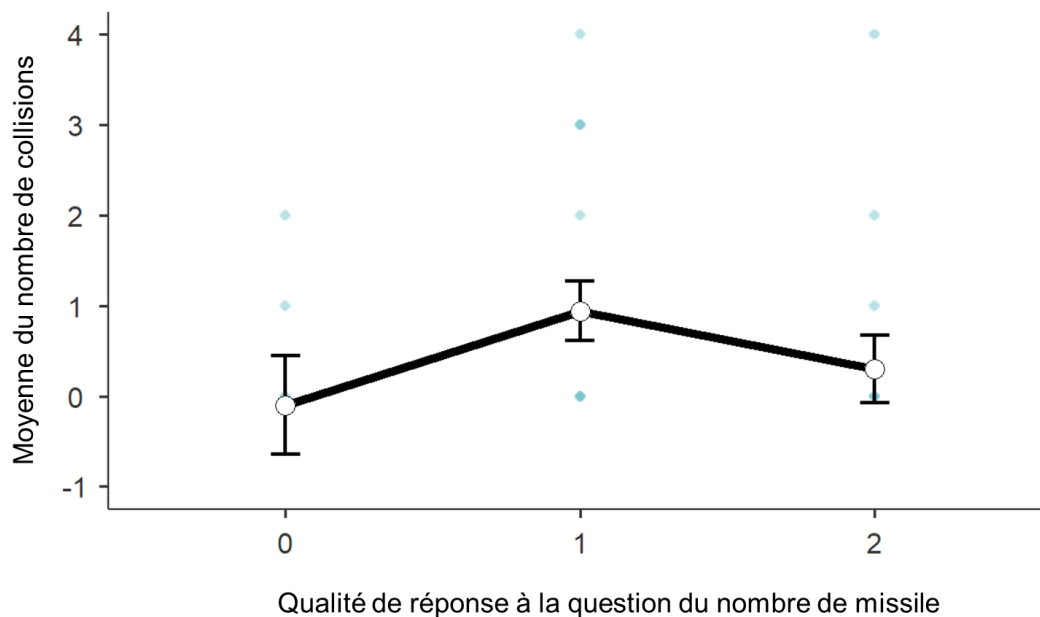
L'analyse Post-Hoc [Tableau 70] montre une différence significative entre la plus basse qualité de restitution et la qualité moyenne. Tandis que le graphe indique que lorsque la qualité de restitution est moyenne, le nombre de collisions est plus élevé que lorsque la restitution est mauvaise [Figure 159].

Tableau 56. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la connaissance du nombre de missiles restants

## Post Hoc Comparisons - Nombre de missiles

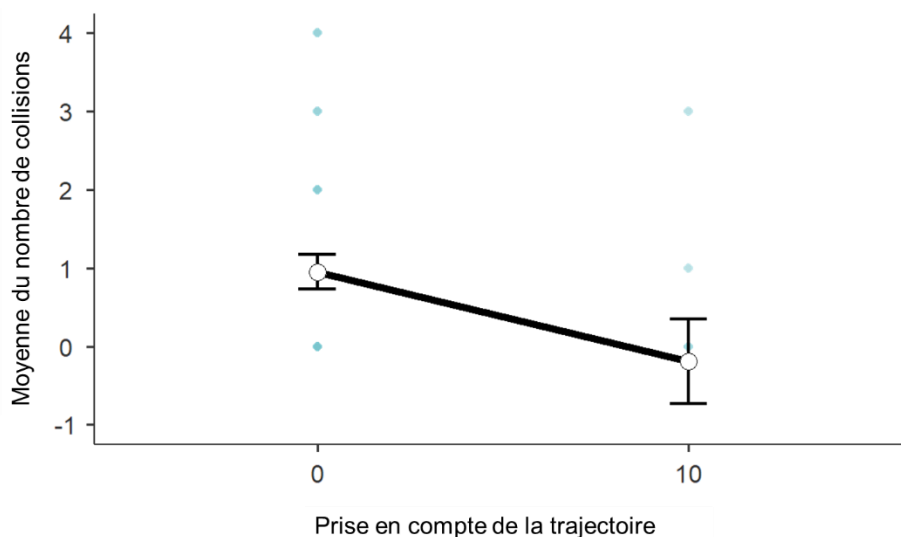
Comparison		Differen ce	SE	z	pbonferro ni
Nombre de missiles	Nombre de missiles				
0	- 2	-0.399	0.588	-0.677	1.000
0	- 1	-1.041	0.506	-2.058	0.119
1	- 2	0.643	0.414	1.551	0.362

L'analyse Post-Hoc des effets de la connaissance du nombre de missiles [Tableau 56] ne permet pas de déterminer l'origine des effets significatifs du nombre de missiles sur le nombre de collisions.



**Figure 160.** Le nombre de collisions en fonction de la qualité de restitution du nombre de missiles.

Le graphe [Figure 160] nous montre une variabilité non significative avec un nombre de collisions plus élevé lorsque la qualité de restitution est moyenne.



**Figure 161.** Nombre moyen de collision en fonction de la prise en compte ou non de la trajectoire.

Le graphe [Figure 161] montre que lorsque la trajectoire est prise en compte le nombre de collisions est inférieur.

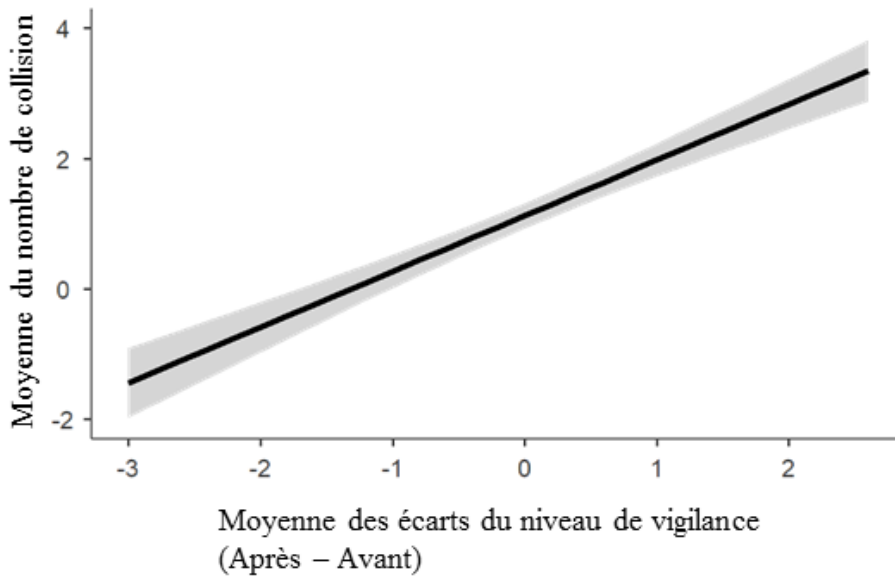


Figure 162. Effet du niveau de vigilance sur le nombre de collisions

Le graphe [Figure 162] indique que plus le niveau de vigilance augmente au cours de la tâche et plus le nombre de collisions augmente.

### 5.8.2.3 Les médiations

#### 5.8.2.3.1 Version score SA

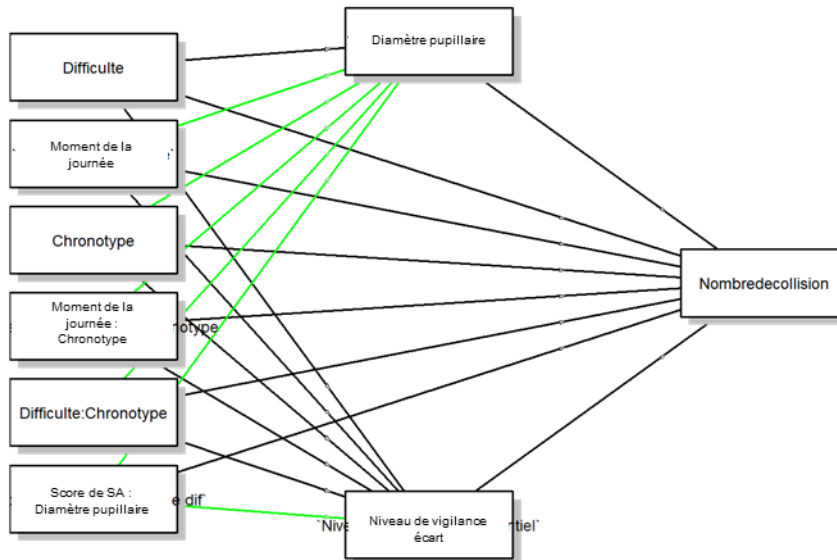


Figure 163. Diagramme du modèle des effets sur le nombre de collisions

Tableau 57. Effets significatifs sur le nombre de collisions

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart $\Rightarrow$ Nombredecollision	0,174 78	0,09 59	- 0,01 31	0,362 69	0,083 59	1,82 31	0,068
	Difficulte2:Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart $\Rightarrow$ Nombredecollision	- 0,191 63	0,09 94	- 0,38 64	0,003 12	- 0,091 64	- 1,92 86	0,054
Component	Difficulte1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart	0,348 72	0,15 24	0,05 01	0,647 33	0,262 31	2,28 89	0,022
	Niveau de vigilance écart $\Rightarrow$ Nombredecollision	0,501 21	0,16 62	0,17 54	0,827 03	0,318 66	3,01 50	0,003
	Difficulte2 $\Rightarrow$ Diamètre pupillaire	0,059 28	0,02 12	0,01 76	0,100 91	0,342 44	2,79 09	0,005



## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
	Difficulte2:Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart	- 0,382 33	0,15 24	- 0,68 10	- 0,083 67	- 0,287 59	- 2,50 91	- 0,012
Direct	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredecollision	0,831 93	0,23 67	0,36 80	1,295 86	0,397 86	3,51 47	<.001
Total	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredecollision	0,8360 5	0,24 27	0,36 04	1,311 72	0,400 05	3,44 48	<.001

Les résultats [Tableau 57] montrent des tendances de médiations des effets niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel ( $\beta=0,083\ 59$  ;  $p=0,068$ ). Et des effets de l'interaction entre le chronotype et le niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel ( $\beta=0,091\ 64$  ;  $p=0,054$ ). Les effets significatifs montrent des effets du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel ( $\beta=0,262\ 31$  ;  $p=0,022$ ), les effets du niveau de vigilance différentiel sur le nombre de collisions ( $\beta=0,318\ 66$  ;  $p=0,003$ ), le niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire ( $\beta=0,342\ 44$  ;  $p=0,005$ ) et l'interaction du chronotype et du niveau de difficulté sur le niveau de vigilance différentiel ( $\beta=0,287\ 59$  ;  $p=0,012$ ).

Les résultats [Tableau 57] montrent un effet direct du niveau de difficulté sur le nombre de collisions, effet qui est médié par le diamètre pupillaire.

5.8.2.3.2 Version SA détaillée

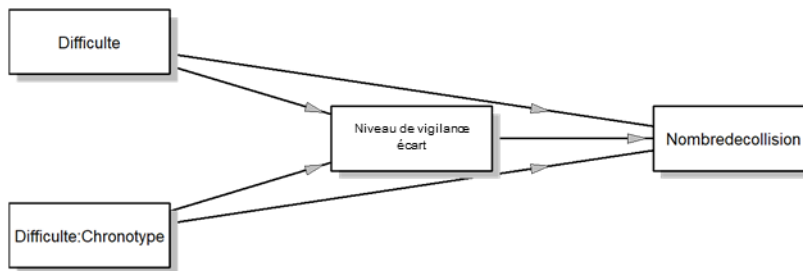


Figure 164. Diagramme du modèle des effets sur le nombre de collisions

Tableau 58. Effets significatifs sur le nombre de collisions

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte2: Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombre de collision	-0,160 3	0,091 6	0,339 9	0,019 2	0,075 62	1,750 6	0,080
Component	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart	-0,289 7	0,155 6	0,594 6	0,015 3	0,217 17	1,861 9	0,063
	Niveau de vigilance écart ⇒ Nombre de collision	-0,425 2	0,170 2	0,758 7	0,091 6	0,264 94	2,498 3	0,012
	Difficulte2: Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,377 1	0,153 7	0,075 9	0,678 4	0,285 41	2,453 6	0,014

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Direct	Difficulte2 ⇒ Nombre de collision	0,872 6	0,234 6	0,412 7	1,332 4	0,411 51	3,719 1	< ,001
Total	Difficulte2 ⇒ Nombre de collision	0,9169	0,2444	0,4378	1,3960	0,43239	3,7508	< ,001

L'analyse des médiations [Tableau 58] indique qu'il n'y a pas d'effet indirect dans ce modèle.

**Tableau 59. Modèle prédictif complet du nombre de collisions**

Full model predicting Nombredecollision

Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	$\beta$	df	t	p
Niveau de vigilance écart	Niveau de vigilance écart	- 0,4252	0,17 7	- 0,77 8	- 0,072 6	- 0,2649 2	7 4	- 2,402 8	0,019
Difficulte1	Modérée - (Facile, Modérée, Difficile)	0,051 4	0,25 2	- 0,45 0	0,552 6	0,023 2 5	7 4	0,204 6	0,838
Difficulte2	Difficile - (Facile, Modérée, Difficile)	0,872 6	0,24 4	0,38 7	1,358 7	0,421 9 3	7 4	3,576 9	< ,001
Difficulte1:Chronotypel	Modérée - (Facile, Modérée, Difficile) : mod. du matin	- 0,013 6	0,24 9	- 0,51 0	0,483 3	- 0,006 3 8	7 4	- 0,054 5	0,957
Difficulte2:Chronotypel	Difficile - (Facile, Modérée, Difficile) : mod. du matin	0,176 8	0,25 2	- 0,32 6	0,679 4	0,083 2 7	7 4	0,701 0	0,486

Au niveau des capacités prédictives du modèle, le modèle montre des effets du niveau de vigilance différentiel sur le nombre de collisions ( $\beta=-0,264\ 94$ ;  $p=0,012$ ), l'interaction du niveau de difficulté et du chronotype a un effet significatif sur le niveau de vigilance ( $\beta=0,285\ 41$ ;  $p=0,014$ ), le niveau de difficulté a également un effet direct sur le nombre de collisions ( $\beta=0,411\ 51$ ;  $p<,001$ )

### 5.8.3 Nombre de navires sélectionnés après 150 m

#### 5.8.3.1 Effet du score global de SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance

**Tableau 60. Résultats du test du rapport de vraisemblance avant parcimonie**

	X <sup>2</sup>	df	p
Niveau de vigilance écart	3,391 00	1	0,066
Diamètre pupillaire	5,314 83	1	0,021
SAscore	1,184 69	1	0,276
SAscore * Niveau de vigilance écart	0,485 16	1	0,486
SAscore * Diamètre pupillaire	8,227 28	1	0,004
Niveau de vigilance écart * Diamètre pupillaire	0,002 52	1	0,960

Le modèle d'origine [Tableau 60] a un R<sup>2</sup> de 0,162. Il présente un effet significatif du diamètre pupillaire et de l'interaction entre le score SA et le diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionnés après 150 m.

**Tableau 61. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle parcimonieux**

	X <sup>2</sup>	df	p
Diamètre pupillaire	5,57	1	0,018
SA score	1,15	1	0,283
SA score * Diamètre pupillaire	6,32	1	0,012

Le modèle parcimonieux [Tableau 61] a un AIC inférieur (242,831) à celui du modèle précédent (245 013) et un R<sup>2</sup> de 0,120. Il révèle les mêmes effets significatifs que le précédent.

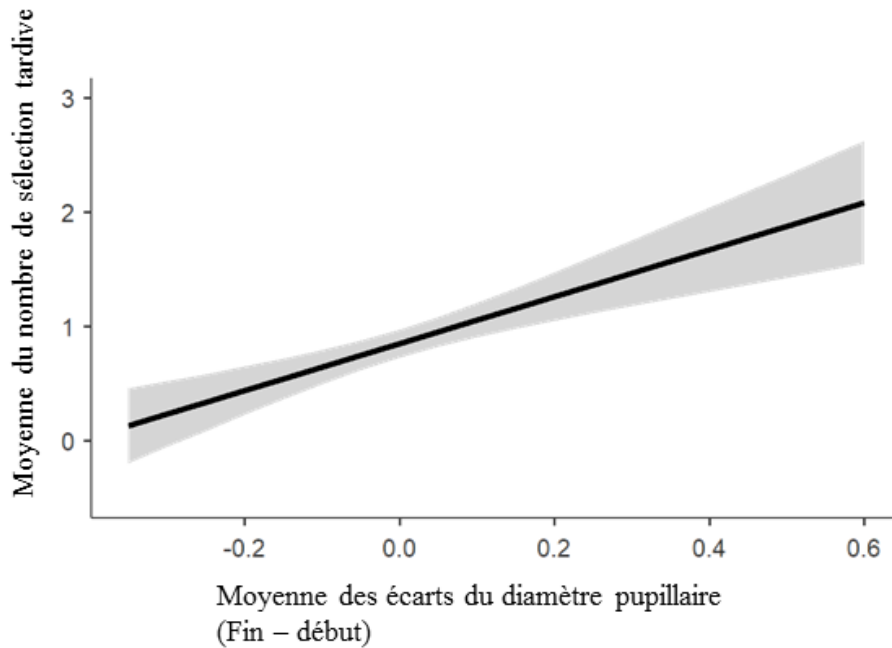


Figure 165. Effet du diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionné après 150 mètres

Le nombre de navires sélectionnés tardivement augmente avec l'augmentation du diamètre pupillaire [Figure 165].

Tableau 62. Résultat des effets simples du score de conscience de la situation

Simple effects of SAScore : Omnibus Tests

Moderator levels			
Diamètre pupillaire	X <sup>2</sup>	df	p
Mean-1·SD	1,57	1,00	0,210
Mean	1,15	1,00	0,283
Mean+1·SD	4,93	1,00	0,026

L'étude des effets simples [Tableau 62] du score de conscience de la situation sur le nombre de navires sélectionnés tardivement en fonction du diamètre pupillaire montre un effet significatif de ce facteur seulement lorsque le diamètre pupillaire est supérieur à la moyenne.

Tableau 63. Résultat des effets simples du diamètre pupillaire

Simple effects of Diametre pupillaire : Omnibus Tests

Moderator levels			
SAscore	X <sup>2</sup>	df	p
Mean-1·SD	10,170 0	1,00	0,001
Mean	5,5670	1,00	0,018
Mean+1·SD	0,049 0	1,00	0,825

L'étude des effets simples [Tableau 63] du diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionnés tardivement en fonction du score de SA montre un effet significatif lorsque le score de conscience de la situation est inférieur ou égal à la moyenne.

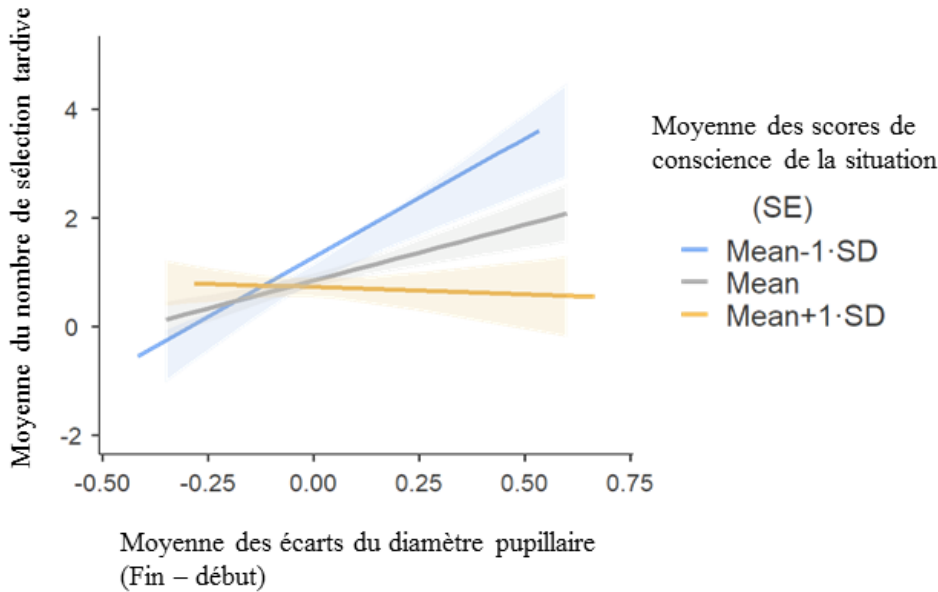


Figure 166. Effet du diamètre pupillaire sur le nombre de navires sélectionnés après 150 mètres, en fonction du score de SA.

Le graphe représentant l'interaction entre le diamètre pupillaire et le score de SA [Figure 166] indique que le nombre de navires sélectionné après 150 m augmente lorsque le diamètre pupillaire augmente dans les conditions où le score de SA est inférieur ou égal à la moyenne. Le nombre de navires sélectionnés après 150 m ne varie en fonction du diamètre pupillaire d lorsque le score de SA est supérieur à la moyenne, il reste stable quel que ce soit le diamètre pupillaire.

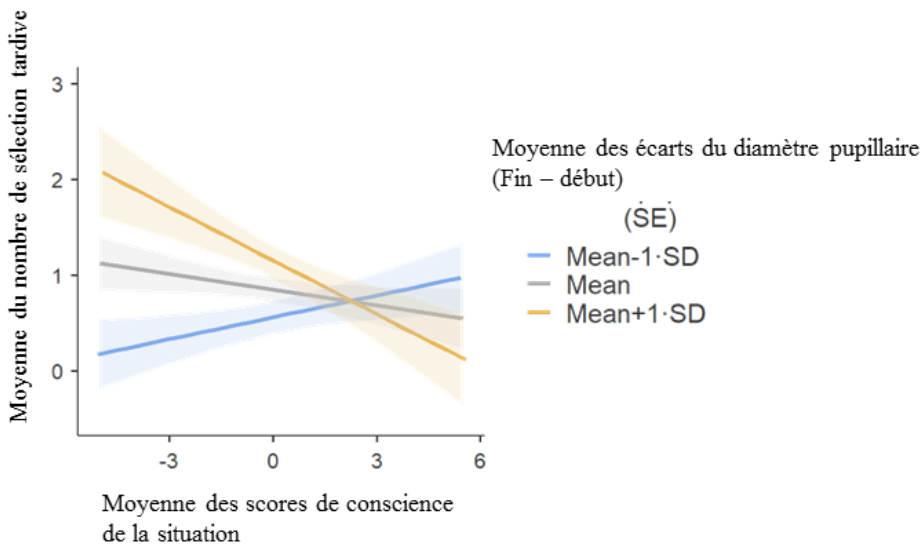


Figure 167. Effet du score de SA sur le nombre de navires sélectionnés après 150 mètres, en fonction du diamètre pupillaire.

Lorsque le diamètre pupillaire est supérieur ou égal à la moyenne, le nombre de navires sélectionnés après les 150 mètres diminue avec l'augmentation du score de SA [Figure 167]. Lorsque le diamètre pupillaire est inférieur à la moyenne, le nombre de navires sélectionnés augmente avec le score de SA.

### 5.8.3.2 Effet des composantes de la SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance

**Tableau 64. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour le nombre de navires sélectionné après les 150 mètres avant parcimonie**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
Diametre pupillaire dif	1.9290	1	0.165
Utilisationdelafenetredinformation	1.4085	1	0.235
Niveau de vigilance differentiel	0.1737	1	0.677
RestitutionduComportementdesnavires	2.6743	1	0.102
Nombredemissiles	NaN	0	NaN
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	NaN	0	NaN
PriseencomptetrajectoireBIN	NaN	0	NaN
RestitutionduComportementdesnavires * Nombredemissiles	0.3251	1	0.569
RestitutionduComportementdesnavires * PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	3.7525	1	0.053
Nombredemissiles * PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	3.0338	2	0.219
RestitutionduComportementdesnavires * PriseencomptetrajectoireBIN	0.4006	1	0.527
Nombredemissiles * PriseencomptetrajectoireBIN	0.0191	1	0.890
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN * PriseencomptetrajectoireBIN	NaN	0	NaN

Le premier modèle [Tableau 64] obtenu ne permet pas de déterminer les paramètres ayant un effet sur le nombre de navires sélectionnés tardivement.

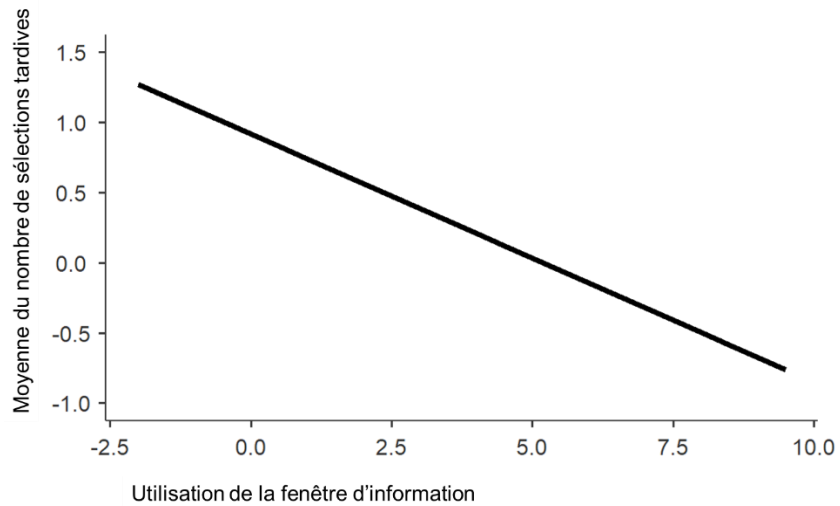
Après la suppression des différents facteurs ayant le moins d'effet sur le nombre de navires sélectionnés après les 150 m, le modèle parcimonieux obtenu [Tableau 80] a un R<sup>2</sup> de 0,168 et un AIC de 77,931.

**Tableau 65. Résultats du test du rapport de vraisemblance parcimonieux.**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
Utilisation de la fenêtre d'information	4,45	1	0,035

Ce modèle [Tableau 65] montre un effet significatif de l'utilisation de la fenêtre d'information sur le nombre de sélections tardives.

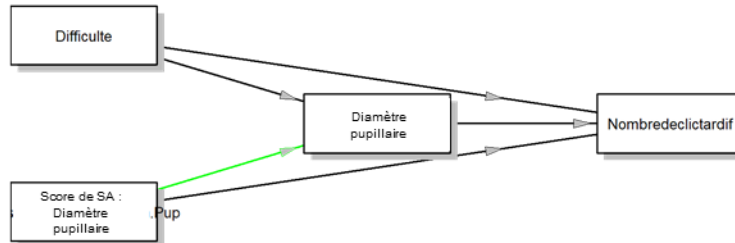


**Figure 168. Nombre de sélections tardives moyen en fonction du nombre d'ouverture de la fenêtre d'information**

Le graphe [Figure 168] indique que plus la fenêtre d'information est ouverte et moins il y'a de sélections tardives.



**5.8.3.3 Les médiations**



**Figure 169. Diagramme du modèle des effets de médiation sur le nombre de sélections tardives**

Pour tester les effets de médiation sur le nombre de sélections tardives, le modèle à vérifier [Figure 169] intègre le niveau de difficulté et l’interaction entre le score global de conscience de la situation et le niveau de difficulté.

**Tableau 66. Effets significatifs sur le nombre de collisions**

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Component	Difficulte2 $\Rightarrow$ Diamètre Pupillaire	0,05928	0,02124	0,01765	0,10091	0,34244	2,7909	0,005
Direct	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	0,93096	0,14437	0,64800	1,21392	0,67689	6,4484	< .001
Total	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	0,94967	0,13934	0,67657	1,22277	0,69067	6,8155	< .001

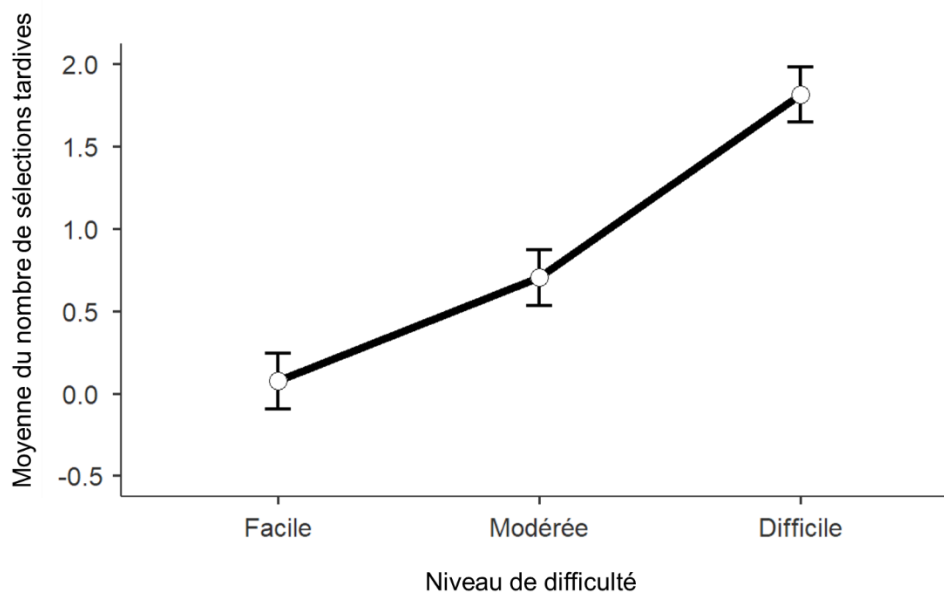
Les résultats obtenus [Tableau 66] n’indiquent aucun effet médiateur du diamètre pupillaire entre le niveau de difficulté et le nombre de navires sélectionnés après 150 m. Cependant, les résultats révèlent un effet direct du niveau de difficulté sur le nombre de sélections tardives et sur le diamètre pupillaire.

**Tableau 67. Modèle complet de prédiction du nombre de sélections tardives**

Full model predicting Nombredelectardif

Names	Effect	Estimate	SE	Lower	Upper	$\beta$	df	t	p
Diamètre pupillaire	Diamètre pupillaire	0,120	0,767	-1,407	1,647	0,0295	74	0,157	0,876
SAscore:Diamètre pupillaire	SAscore:Diamètre pupillaire	-0,179	0,143	-0,463	0,105	0,1326	74	1,259	0,212
<b>Difficulte1</b>	<b>Modérée - (Facile, Modérée, Difficile)</b>	0,931	0,150	0,632	1,230	0,6684	74	6,203	<b>&lt;.001</b>
Difficulte2	Difficile - (Facile, Modérée, Difficile)	-0,266	0,248	-0,760	0,228	0,1527	74	1,071	0,288

Le modèle complet [Tableau 67] indique également un effet significatif du niveau de difficulté sur le nombre de navires sélectionnés tardivement.



**Figure 170. Moyenne du nombre de sélections tardives en fonction du niveau de difficulté**

Le graphe [Figure 170] montre que le nombre de sélections tardives augmente avec le niveau de difficulté.

## 5.8.4 Nombre de destructions avant 150 m

### 5.8.4.1 Effet du score global de SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance

**Tableau 68. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
Niveau de vigilance écart	0,123	1	0,726
Diamètre pupillaire	0,280	1	0,597
SAscore	1,113	1	0,291
SAscore * Niveau de vigilance écart	0,570	1	0,450
SAscore * Diamètre pupillaire	2,513	1	0,113
Niveau de vigilance écart * Diamètre pupillaire	2,26e-4	1	0,988

Le modèle de départ [Tableau 68] a un R<sup>2</sup> de 0,0436 et un AIC de 162,6045. Il n'indique aucun effet significatif des facteurs considérés sur le nombre de destructions précoces.

**Tableau 69. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces sur le modèle parcimonieux**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
SAscore	0,402	1	0,526

Le modèle parcimonieux [Tableau 69] a un R<sup>2</sup> de 0,00519 et un AIC inférieur à celui du modèle précédent de 155,71824.

Les résultats indiquent donc que, dans les modèles vérifiés, aucun des facteurs considérés ne permet de prédire le nombre de destructions avant 150 mètres.

### 5.8.4.2 Effet des composantes de la SA, du diamètre pupillaire et du niveau de vigilance

**Tableau 70. Résultats du test du rapport de vraisemblance pour les destructions précoces**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	NaN	0	NaN
Utilisationdelafenetreinformation	0.7763	1	0.378
PriseencomptetrajectoireBIN	NaN	0	NaN
RestitutionduComportementdesnavires	3.7785	1	0.052
Nombredemissiles	NaN	0	NaN
Niveau de vigilance differentiel	4.4785	1	0.034
Diametre pupillaire dif	0.0633	1	0.801
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN * PriseencomptetrajectoireBIN	NaN	0	NaN
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN * RestitutionduComportementdesnavires	21.9336	1	< .001
PriseencomptetrajectoireBIN * RestitutionduComportementdesnavires	38.2656	1	< .001
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN * Nombredemissiles	0.6573	2	0.720
PriseencomptetrajectoireBIN * Nombredemissiles	0.0206	1	0.886
RestitutionduComportementdesnavires * Nombredemissiles	2.2156	1	0.137

Le modèle de départ [Tableau 70] a un R<sup>2</sup> de 0,973 et un AIC de 5,407. Il indique des effets significatifs de certains facteurs considérés sur le nombre de destructions précoces.

**Tableau 71. Résultats du test du rapport de vraisemblance du modèle simplifié pour les destructions précoces**

Loglikelihood ratio tests

	X <sup>2</sup>	df	p
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	76.11	2	< .001
PriseencomptetrajectoireBIN	89.56	1	< .001
RestitutionduComportementdesnavires	11.91	1	< .001
Nombredemissiles	6.02	2	0.049
Niveau de vigilance differentiel	5.63	1	0.018
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN * RestitutionduComportementdesnavires	84.68	2	< .001
PriseencomptetrajectoireBIN * RestitutionduComportementdesnavires	80.96	1	< .001
RestitutionduComportementdesnavires * Nombredemissiles	3.35	2	0.187

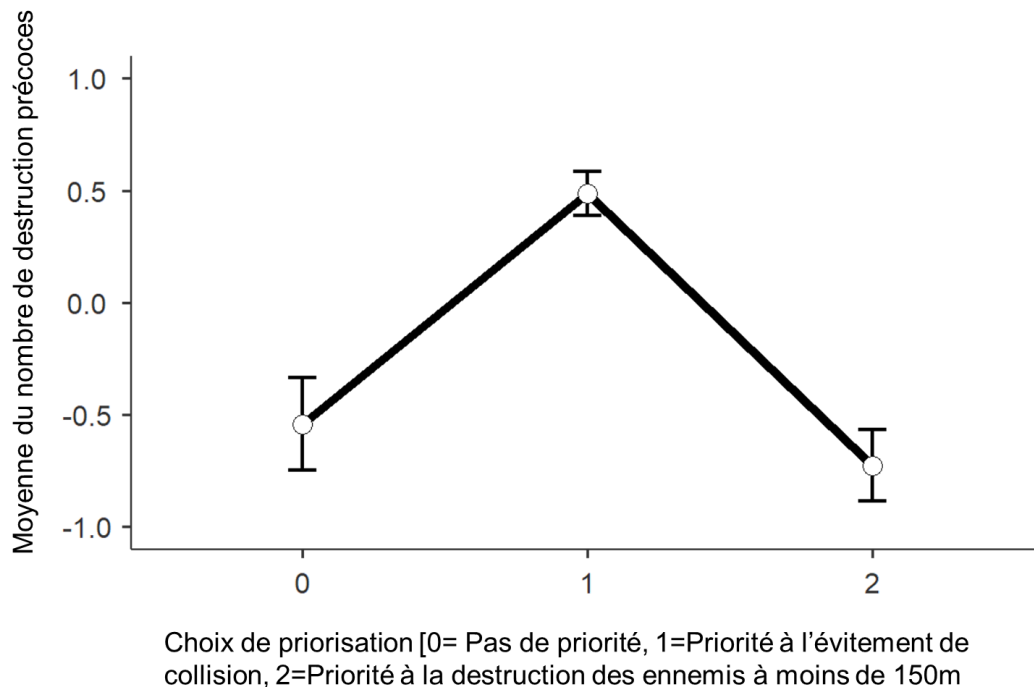
Le modèle simplifié [Tableau 71] a un R<sup>2</sup> de 0,960 et un AIC de 2,922. Il indique que plusieurs des facteurs considérés permettent de prédire le nombre de destructions précoces.

**Tableau 72. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la priorité entre l'évitement et la destruction.**

Post Hoc Comparisons - PrioriteentreEvitementetDestructionBIN

Comparison		Différence	SE	z	P <sub>bonferroni</sub>
PrioriteentreEvitementetDestructionBIN	PrioriteentreEvitementetDestructionBIN				
0	- 2	0.184	0.159	1.16	0.743
0	- 1	-1.029	0.248	4.14	< .001
1	- 2	1.213	0.190	6.38	< .001

L'analyse Post-Hoc [Tableau 72] montre qu'il existe des différences significatives entre les choix de prioriser l'absence de priorité et la priorisation de l'évitement. Il montre également une différence significative entre le choix de l'évitement et le choix de la destruction des navires ennemis.



**Figure 171. Nombre de destructions précoces en fonction de la priorité des sous-tâches**

Le graphe [Figure 171] montre un nombre de destructions précoces plus grand pour les participants ayant choisi de prioriser l'évitement de collision.

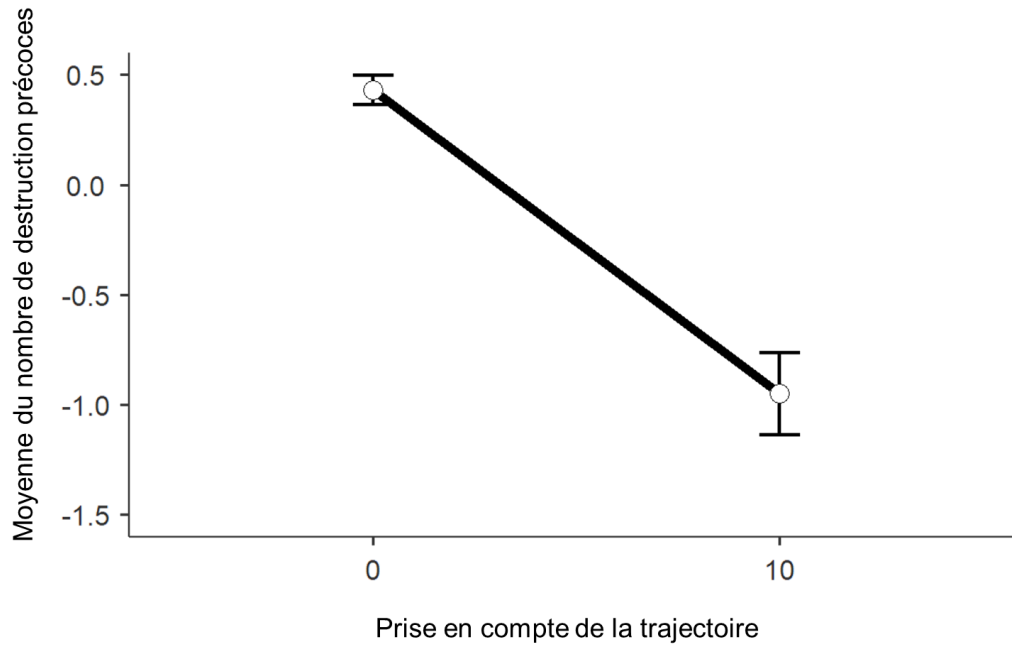


Figure 172. Nombre de destructions précoces en fonction de la prise en compte de la trajectoire.

Le graphe [Figure 172] montre un nombre de destructions précoces plus grand pour les participants qui ne prennent pas en compte la trajectoire des navires.

Tableau 73. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la qualité de la restitution du comportement des navires environnants.

Post Hoc Comparisons - RestitutionduComportementdesnavires

RestitutionduComportement desnavires		RestitutionduComportement desnavires	Differen ce	SE	z	Pbonferr oni
0	-	1	-0.720	0.209	-3.45	< .001
.	-	.	.	.	.	.
.	-	.	.	.	.	.

Les résultats du test de comparaison Post-Hoc [Tableau 73] montrent un effet significatif de la qualité de la restitution sur le nombre de destructions précoces.

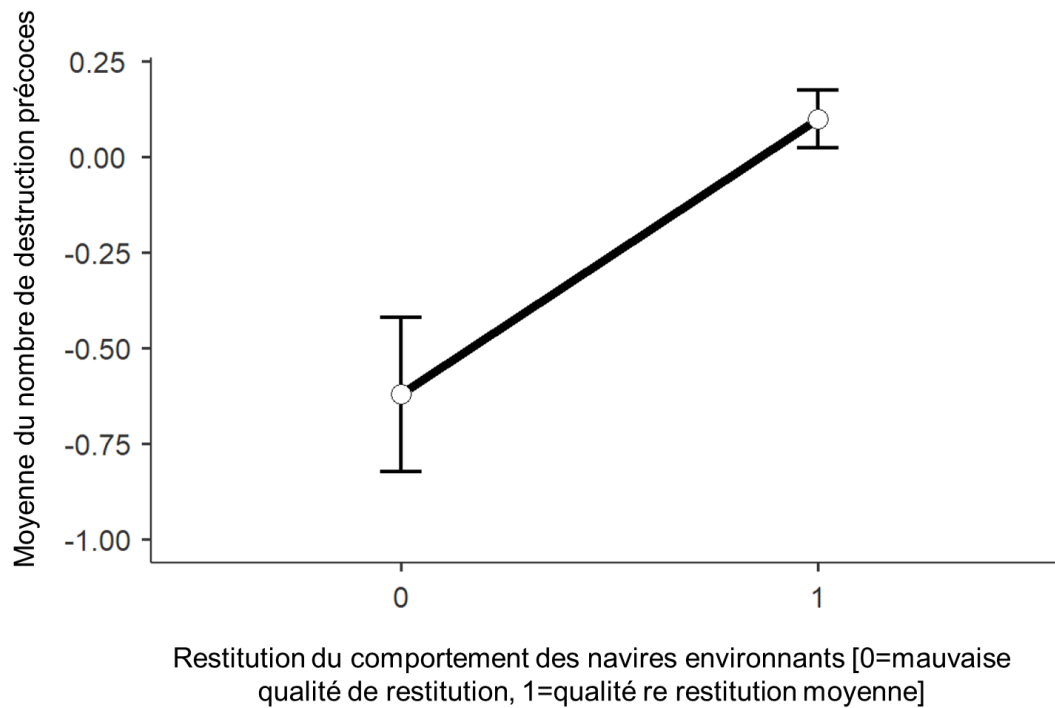


Figure 173. Nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de la restitution du comportement des navires environnants.

Le graphe [Figure 173] montre un nombre de destructions précoces plus élevé pour les individus à la qualité de restitution moyenne. Le comportement de la qualité de la meilleure qualité de restitution ne transparait pas.

Tableau 74. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur la qualité de la restitution du nombre de missiles restants.

Post Hoc Comparisons - Nombredemissiles

Comparison						
Nombredemissiles	Nombredemissiles	Difference	SE	z	p <sub>bonferroni</sub>	
0	- 2	-0.114	0.259	-0.438	1.000	
0	- 1	-0.348	0.184	-1.891	0.176	
1	- 2	0.234	0.160	1.465	0.429	

L'analyse Post-Hoc [Tableau 74] ne permet pas de déterminer la source de l'effet significatif de la qualité de la réponse du nombre de missiles restants sur le nombre de destructions précoces.

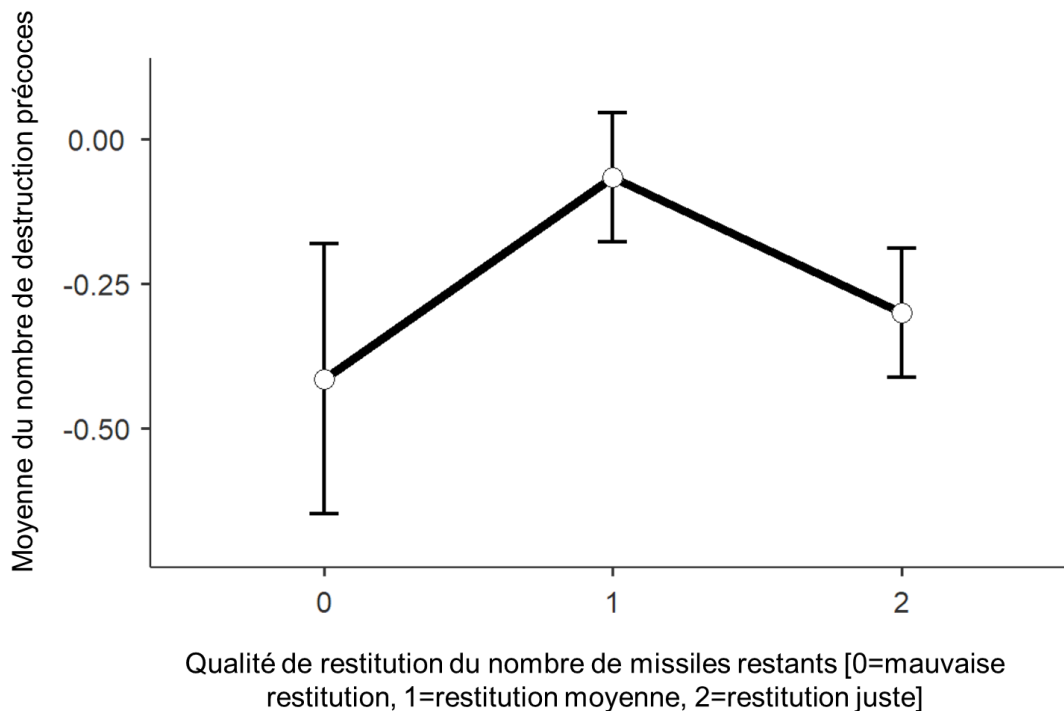


Figure 174. Nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de restitution du nombre de missiles

Bien que les différences ne soient pas significatives. Le graphe [Figure 174] montre un nombre de destructions précoces plus élevé pour le participant ayant une restitution de qualité moyenne et un nombre plus faible pour les participants ayant une mauvaise restitution.

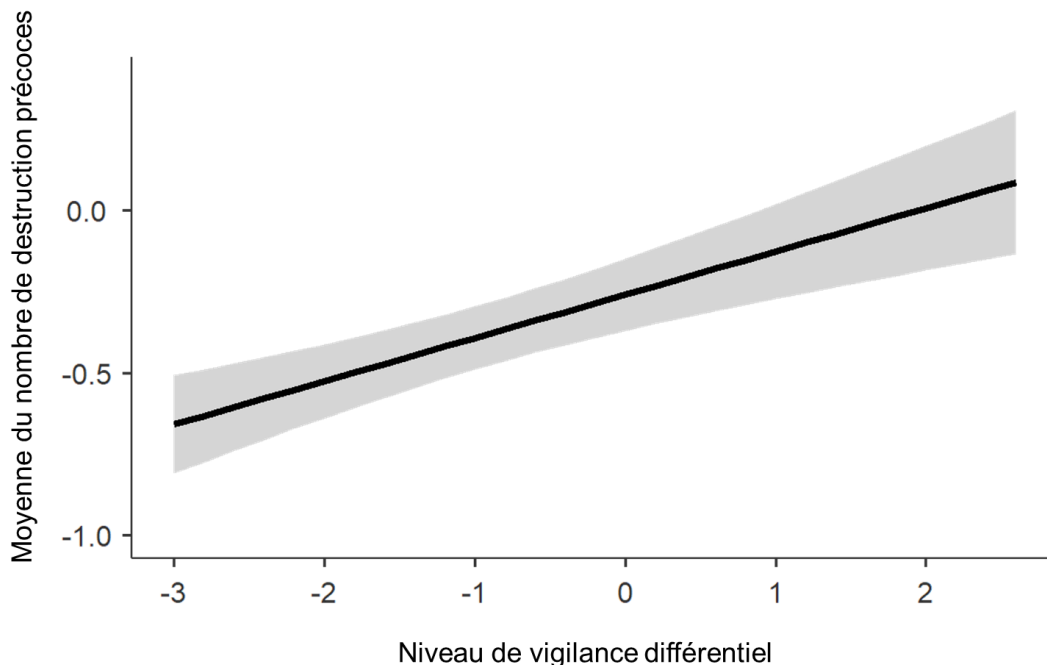


Figure 175. Nombre de destructions précoces en fonction du niveau de vigilance différentiel



Le graphe [Figure 175] indique que le nombre de destructions précoces augmente avec le niveau de vigilance différentiel.

**Tableau 75. Résultats du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction de la priorisation des sous-tâches et la qualité de restitution du comportement des navires**

Post Hoc Comparisons - PrioriteentreEvitementetDestructionBIN \* RestitutionduComportementdesnavires

Comparison				Diffe renc e	SE	z	pbon ferroni
PrioriteentreEv itementetDestr uctionBIN	RestitutionduC omportement desnavires	PrioriteentreEv itementetDestr uctionBIN	RestitutionduC omportement desnavires				
0	0	- 0	1	1.710	0.366	4.669	<.001
0	0	- 2	1	1.487	0.370	4.018	<.001
0	0	- 1	0	2.475	0.429	5.775	<.001
2	0	- 0	1	1.854	0.290	6.397	<.001
2	0	- 2	1	1.631	0.292	5.580	<.001
2	0	- 1	1	1.437	0.310	4.643	<.001
1	0	- 0	1	0.765	0.220	3.482	0.007
1	0	- 2	0	2.619	0.305	8.580	<.001
1	0	- 2	1	0.988	0.215	4.606	<.001
1	0	- 1	1	1.182	0.179	6.600	<.001

L'analyse Post-Hoc [Tableau 75] fait apparaître des effets significatifs montrant une influence mutuelle de la qualité de la restitution et de la priorisation des sous-tâches.

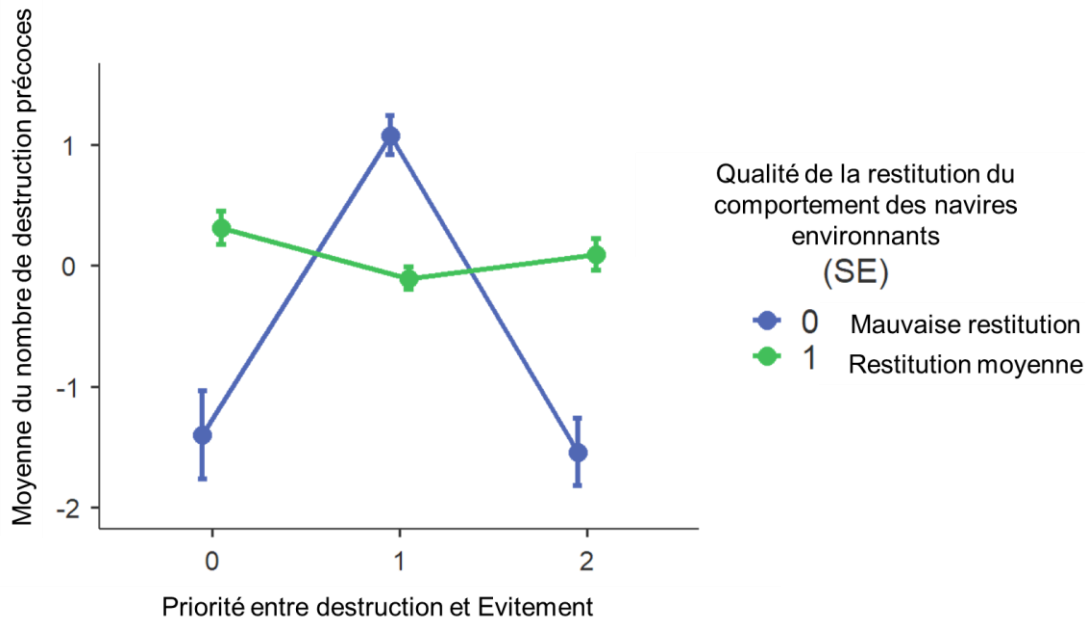


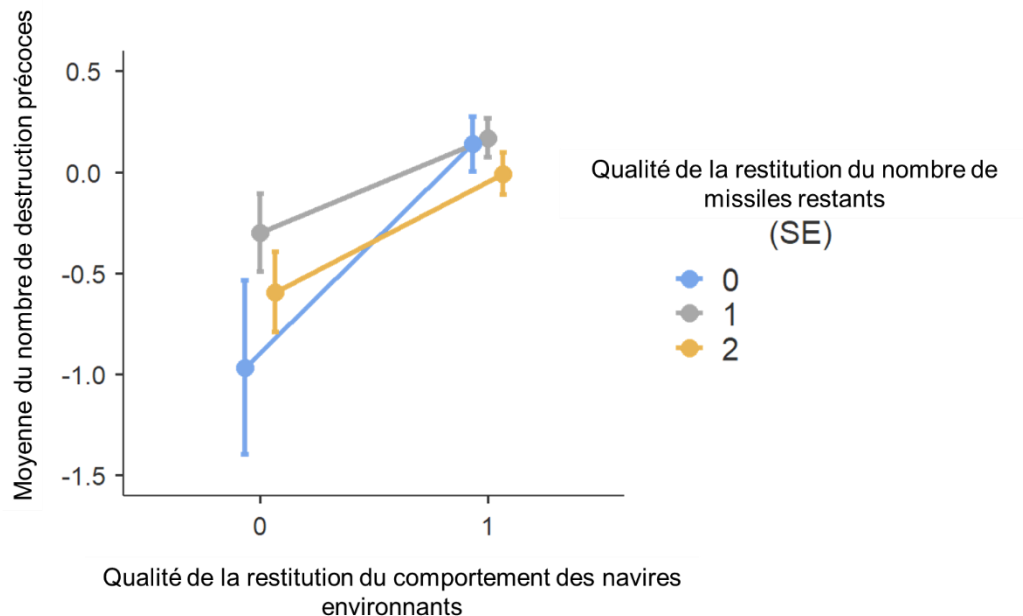
Figure 176. Effet de la priorisation sur le nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de restitution

Le graphe [Figure 176] montre un nombre de plus élevé des destructions précoces lorsque la priorité est à l'évitement des collisions et que la qualité de la restitution du comportement des navires environnants est mauvaise.

Tableau 76. Résultats significatifs du test de comparaison multiple Post-Hoc de Bonferroni sur l'interaction de la qualité de restitution du nombre de missiles restants et la qualité de restitution du comportement des navires

Post Hoc Comparisons - RestitutionduComportementdesnavires \* Nombredemissiles

Comparison								
RestitutionduComp ortementdesnavire s	Nombred emissiles	-	RestitutionduComp ortementdesnavire s	Nombred emissiles	Differ ence	SE	z	Pbonf erroni
1	0	-	0	2	0.73 13	0.2 45	2.9 87	0.04 2
1	1	-	0	2	0.76 17	0.2 23	3.4 12	0.01 0



**Figure 177. Effet de la qualité de la restitution du comportement des navires environnants sur le nombre de destructions précoces en fonction de la qualité de la restitution du nombre de missiles.**

Le graphe [Figure 177] montre que le nombre de destructions précoces est plus faible lorsque la qualité de la restitution du comportement des navires environnants est mauvaise et la qualité de la restitution du comportement des navires est mauvaise également.

### 5.8.5 Relation entre les indicateurs de performance

**Tableau 77. Matrice de corrélation des indicateurs de performance**

Correlation Matrix

		Nombre de clictardif	Nombre de collisions	Nombre de destructions précoces	Moyenne des RT
Nombre de clics tardifs	Pearson's r	—			
	p-value	—			
Nombre de collisions	Pearson's r	0.345	—		
	p-value	0.002	—		
Nombre de destructions précoces	Pearson's r	0.052	0.228	—	
	p-value	0.642	0.041	—	
Moyenne des RT	Pearson's r	0.075	0.095	0.005	—
	p-value	0.512	0.405	0.965	—

La matrice de corrélation entre les indicateurs de performance montre une corrélation moyenne et positive entre le nombre de collisions et le nombre de destructions précoces ( $r=0,228$ ,  $p=0,041$ ). Ainsi qu'une corrélation moyenne et positive entre le nombre de collisions et le nombre de sélections tardives ( $r=0,345$ ,  $p=0,002$ ).

# DISCUSSION

---

L'étude avait pour but de déterminer les facteurs pertinents pour la prise en compte de l'effet de synchronie dans la conception des IHMs adaptatives et de comprendre comment ces facteurs affectent la performance dans une tâche en IHM. Le modèle théorique complet qui a été testé lors de cette expérimentation ne permet pas d'expliquer tous les indicateurs de performance. Nous avons obtenu des modèles prédictifs différents en fonction des indicateurs considérés. Ainsi, comme attendu, des effets de synchronie apparaissent, mais seulement pour le niveau de vigilance et pour un indicateur de performance qu'est le nombre de sélections tardives. Et contrairement au modèle théorique, l'effet de synchronie sur la performance n'est pas médié par le niveau de vigilance.

Cette discussion présente tout d'abord une mise en relation entre les hypothèses formulées et les résultats obtenus. S'en suivra une interprétation des résultats pour déterminer leurs significations au-delà de l'expérimentation. Et enfin, à partir de l'interprétation des résultats, des recommandations seront émises pour la conception d'IHMs adaptatives.

## 6.1 Vérification des hypothèses

L'analyse a pour but de vérifier le modèle théorique. Celui-ci explique la performance grâce à des facteurs chronobiologiques (effet de synchronie, moment de la journée, typologie circadienne), des caractéristiques de la tâche (niveau de difficulté) et de deux construits importants pour la compréhension de la performance (conscience de la situation et charge mentale).

### 6.1.1 Les effets internes du modèle théorique

Le modèle théorique complet explique les effets de synchronie sur la performance. Il se compose de facteurs internes, médiateurs de l'effet de synchronie, qui interagissent et s'affectent mutuellement. La première relation interne du modèle est également un effet direct, il s'agit de l'effet de synchronie sur le niveau de vigilance.

#### 6.1.1.1 Effet de synchronie sur le niveau de vigilance

L'une des hypothèses formulées était l'existence d'un effet de synchronie sur le niveau de vigilance, qui se manifesterait par un niveau de vigilance plus élevé en situation optimale qu'en situation non optimale. Le résultat confirme cette hypothèse. L'effet de synchronie sur le niveau de vigilance des participants à la typologie circadienne du matin montre bien que pour ces derniers le niveau de vigilance est plus élevé le matin que le soir. Mais de plus, que le matin, le niveau de vigilance des participants matinaux est significativement plus élevé que celui des participants intermédiaires.

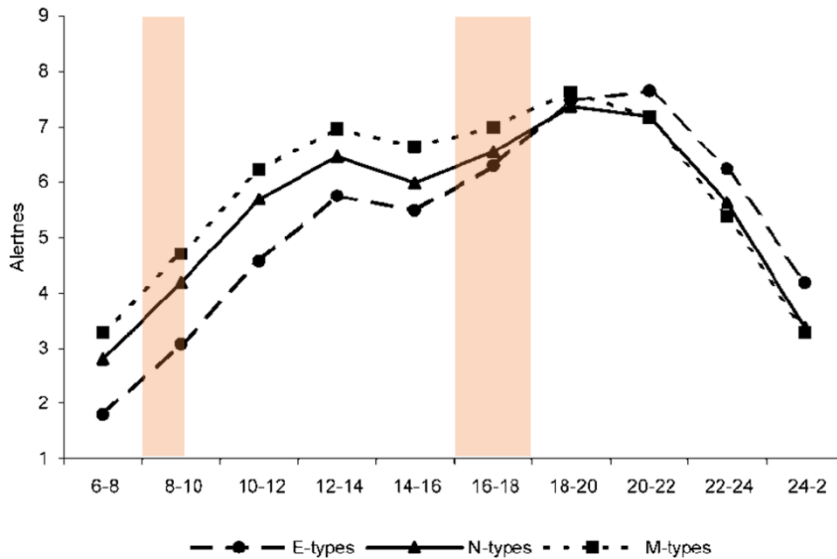


Figure 178. Niveau de vigilance subjectif par le moment de la journée en fonction du chronotype. Adaptée de Diaz-Morales, de Leon, et Sorroche (2007)

Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature (Diaz-Morales, de Leon, et Sorroche, 2007). La figure 178, par exemple, montre que durant les périodes de passation de l'expérimentation [8h00-9h00, 16h30-18h], le niveau de vigilance des individus du matin [M types] est plus élevé que celui des intermédiaires [N types].

### 6.1.1.2 Niveau de difficulté et niveau différentiel de vigilance entre le début et la fin de la tâche

Dans le contexte de la conduite automobile, Paxion (2014) indique que le niveau de vigilance est plus élevé après les tâches complexes pour les individus expérimentés dans le contexte de conduite. L'hypothèse a été faite que le niveau de difficulté pouvait également affecter l'évolution du niveau de vigilance au cours de la tâche. Les résultats confirment cette hypothèse et montrent une différence significative du niveau différentiel de vigilance entre la tâche facile et la tâche modérée. Il existe une diminution de la vigilance au cours de la tâche facile et une augmentation au cours de la tâche modérée.

Le niveau de difficulté agit également sur le niveau différentiel de vigilance en interaction avec le chronotype. Ainsi, il existe une différence significative de la vigilance différentielle entre les participants du matin et les participants intermédiaires, mais seulement pour la tâche facile. Les matinaux ont un niveau de vigilance plus élevé après la tâche facile que les intermédiaires. De manière générale, les résultats montrent une diminution plus importante du niveau de vigilance au cours de la tâche pour les participants intermédiaires que pour les participants matinaux. Les individus intermédiaires semblent plus sensibles à la difficulté de la tâche que les matinaux.

### Modèle prédictif du niveau de vigilance après la tâche

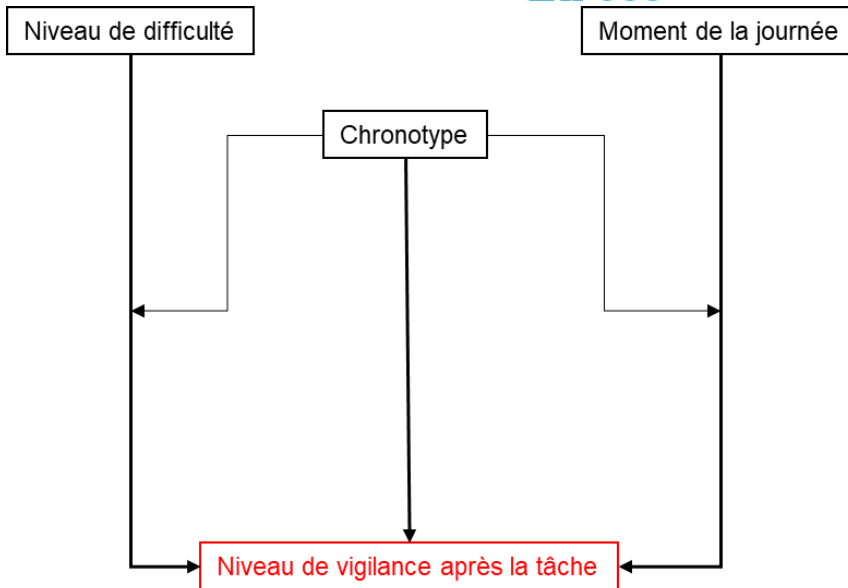


Figure 179. Modèle prédictif du niveau de vigilance après la tâche.

La figure 179 montre le modèle prédictif du niveau de vigilance. Ce modèle valide les facteurs et relations attendus par le modèle théorique.

### 6.1.1.3 La pertinence du diamètre pupillaire comme indicateur de charge mentale

Les résultats montrent que le diamètre pupillaire est un bon indicateur de charge mentale.

Tout d'abord, les résultats montrent la pertinence des critères de difficulté choisis puisque le niveau de difficulté a une influence significative sur différents indicateurs de performance :

- Le temps de réaction est plus faible pour la tâche facile que pour la tâche modérée.
- Le nombre de sélections tardives augmente avec la difficulté.
- Le nombre de collisions atteint son niveau le plus élevé durant la tâche difficile. Il semble également augmenter avec le niveau de difficulté.

En mettant en relation la difficulté de la tâche et le diamètre pupillaire, les résultats montrent l'influence du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire avec une évolution du diamètre qui semble proportionnelle au niveau de difficulté.

Par conséquent, les variations du diamètre pupillaire semblent pouvoir être considérées comme une expression de la charge mentale.

### 6.1.1.4 Niveau de vigilance avant la tâche et diamètre pupillaire



Les hypothèses supposaient que le niveau de vigilance avant la tâche et le niveau de difficulté seraient des prédicteurs de la charge mentale estimée par le diamètre pupillaire. Le but était de vérifier le rôle modulateur du niveau de vigilance sur les effets du niveau de difficulté sur le diamètre pupillaire.

Cependant, les résultats ne montrent pas d'effet du niveau de vigilance avant la tâche sur le diamètre pupillaire, et donc sur la charge mentale.

#### **6.1.1.5 Conscience de la situation et charge mentale comme prédicteurs de l'efficience**

La conscience de la situation et la charge mentale (estimée grâce au diamètre pupillaire différentiel) sont deux concepts importants pour la compréhension de la performance. Nous avons donc supposé que ces deux concepts seraient des prédicteurs de la qualité de la performance individuelle. Les résultats montrent une relation de modulation entre les deux concepts sur un indicateur de performance (nombre de sélections tardives). Ainsi, le nombre de sélections tardives augmente lorsque le diamètre pupillaire différentiel est élevé, mais cette augmentation disparaît lorsque la qualité de la conscience de la situation est élevée. En effet, dans ce cas, le nombre de sélections tardives diminue.

La conscience de la situation et la charge mentale ont donc bien un rôle important sur la performance et agissent de concert.

## 6.1.2 Les effets directs du modèle théorique

Une des questions directrices de cette étude était de vérifier la présence des effets de synchronie en Interaction Homme-Machine et de mettre en lumière leur manifestation le cas échéant. Les résultats indiquent que les effets de synchronie, c'est-à-dire des différences significatives en fonction de la typologie circadienne et du moment de la journée, n'apparaissent que pour certaines variables. Outre l'effet de synchronie sur le niveau de vigilance, les résultats font état d'un effet de synchronie sur le nombre de sélections tardives.

### 6.1.2.1 Effets de synchronie et indicateurs de performance

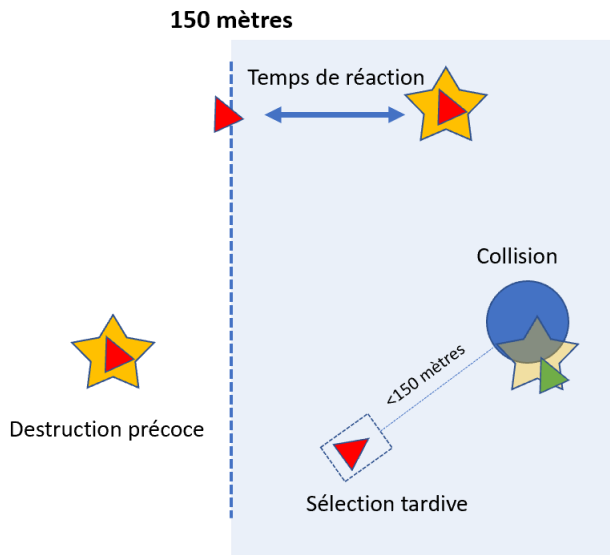


Figure 180. Les quatre indicateurs de performance.

Dans un premier temps, nous rappelons que les indicateurs de performance utilisés dans cette étude [Figure 180] sont : le nombre de collisions, le nombre de destructions précoces, le temps de réaction et le nombre de sélections tardives. Parmi ces 4 indicateurs, seul le nombre de navires sélectionnés alors que les participants ont déjà dépassé la limite des 150 mètres présente un effet de synchronie. Celui-ci s'exprime chez les matinaux, par un nombre plus grand de sélections tardives le matin (période optimale pour les matinaux) que le soir (période non optimale). Dans la tâche effectuée par les participants, la sélection d'un navire est un moyen de suivi de l'évolution de sa distance relative au porteur, mais est également la première étape dans les manœuvres de destruction des navires ennemis.

La littérature permet de donner du sens à cet effet de synchronie, nous pouvons citer 3 explications :

- L'existence d'une différence de capacités d'inhibition entre les périodes optimales et les périodes non optimales. Les capacités d'inhibition, étant plus faibles en période non optimale, pourraient faciliter la production de réponse presque automatique (May, 1999). En se basant sur cette explication, le nombre de sélections tardives plus grand en

période optimale pourrait s'expliquer par une tendance à fournir des réponses rapides chez les participants en période non optimale et plutôt une tendance à inhiber les réponses rapides chez les participants en période optimale.

- Une autre explication est celle d'une différence de stratégie d'allocation des ressources entre les périodes optimales et non optimales (Briganti, 2013). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les participants en situation optimale peuvent s'attarder à d'autres aspects de la tâche, et prendre l'habitude de sélectionner tardivement les navires ennemis.
- Enfin, dans le domaine de la publicité, de nombreuses études font état d'une différence de stratégies de traitement de l'information entre les périodes optimales et non optimales (Rasolofarison, 2011). Cela se manifeste par un traitement de l'information plus détaillée et plus longue en période optimale et au contraire par un traitement rapide et moins élaboré en situation non optimale (Hornik et Miniero, 2009).

Ces 3 niveaux d'explications ne sont pas incompatibles et peuvent tous participer à comprendre cette différence du nombre de sélections tardives entre les participants en situation optimale et non optimale. Le plus grand nombre de sélections tardives en période optimale pourrait être la conséquence d'un traitement de l'information analytique en général plus long en période optimale comparée à la période non optimale.

La littérature montre que les effets de synchronie n'apparaissent pas pour tout type de tâche, même lorsque le niveau de complexité et de difficulté est élevé. May (1999) explique que les tâches n'impliquant pas les capacités d'inhibitions ne font pas apparaître d'effets de synchronie, tandis que Martin et Marrington (2005) expliquent que l'absence d'effet de synchronie peut venir de l'intervention active des processus métacognitifs surveillant et modulant la performance. Ainsi, la conscience de son efficacité cognitive pourrait permettre au participant de faire appel à un effort motivé ou à des stratégies permettant de moduler sa performance, ce qui pourrait masquer les effets du rythme circadien. Dans le cas de notre étude, certains indicateurs de performance pourraient être plus sensibles aux variations des capacités d'inhibitions que d'autres et ainsi ne pas, ou l'être moins, affectés par les effets de synchronie. De plus, le type de tâche s'apparentant à un jeu vidéo peut également agir sur le niveau de motivation des participants durant la tâche et par conséquent agir sur l'apparition des effets de synchronie.

### 6.1.2.2 Effets de synchronie et conscience de la situation

Étant donné le rôle des capacités inhibitrices sur des processus utiles à l'acquisition et au maintien de la conscience de la situation comme la mémorisation (May et al., 1993), l'attention visuospatiale (Dorrian, McLean, Blanks, et Loetscher, 2017) ou la prise de décision (May, 1999), nous avons supposé que la conscience de la situation pourrait être sujette à un effet de synchronie. De la même façon que Caserta et Abrams (2007), en mettant en relation les capacités d'inhibition et la conscience de la situation, expliquent que des capacités d'inhibition réduites devraient avoir un effet sur la conscience de la situation en agissant notamment sur le premier et le second niveau de conscience de la situation.

Cependant, les résultats ne font apparaître aucun effet de synchronie sur la conscience de la situation, que l'on considère le score global ou le détail des indicateurs mesurés. Une explication

© Propriété Naval Group SA (2020), tous droits réservés

possible à cette absence est le fait que la conscience de la situation s'apparente à un métamodèle intégrant de nombreuses variables. L'exemple de la relation entre la conscience de la situation et la charge mentale montre la complexité qui existe dans les relations des autres concepts avec la conscience de la situation. En effet, dans certains cas, ces variables s'influencent, dans d'autres non.

Une autre explication est la variabilité des résultats obtenus sur la conscience de la situation en fonction de la méthode de mesure. Cak, Say et Misirlisoy. (2019) montrent ainsi que l'influence de l'inhibition varie selon la méthode de mesure de la conscience de la situation. Les effets seraient présents en mesure online (avec écran allumé) et non en mesure offline (écran éteint). Ces variations en fonction de la méthode de mesure se retrouvent également chez Özcan, Çakır, et Say (2013). Ces derniers montrent que les capacités d'inhibition prédisent le niveau de conscience de la situation online et offline. Cependant la mesure a été réalisée alors que les participants étaient occupés à réaliser une tâche de pilotage. Comme le disent les auteurs, répondre aux questions sur la conscience de la situation dans ce contexte requiert une bonne gestion des capacités attentionnelles. Or les capacités d'inhibition modulent l'attention, ce qui peut expliquer les résultats obtenus.

Dans notre cas, nous avons choisi d'éviter les problèmes suscités par les mesures offline et online en réalisant la mesure avec l'interface en fonctionnement, ce qui nous rapprocherait de la mesure online, car l'écran est allumé. Mais la mesure est réalisée une fois la tâche terminée, ce qui nous rapprocherait de la mesure offline, car les questions sont posées en dehors de la tâche. En gardant l'interface allumée et en posant les questions dès la fin de la tâche, le but était de minimiser les effets directs des capacités de mémoire sur la mesure.

La variation de méthode peut expliquer l'absence d'effet de synchronie dans notre cas, et signifie qu'il est important de pouvoir varier les méthodes de mesure pour vérifier plus clairement l'existence ou non des effets de synchronie sur la conscience de la situation en prenant en compte les effets mêmes de la méthode de mesure choisie.

Ce que nous remarquons dans notre étude est que l'absence d'effet de synchronie ne signifie pas que ces variables soient exemptes de l'influence des facteurs chronobiologiques. En effet, les résultats font tout de même état d'un effet significatif du chronotype sur les variables suivantes :

- Le choix de priorité entre la sous-tâche tactique et la sous-tâche nautique ;
- La restitution du comportement des navires environnants ;
- La connaissance du nombre de missiles restants.

### 6.1.2.3 Modèles prédictifs de la performance

La vérification du modèle théorique indique des sensibilités variables en fonction des indicateurs de performance, se traduisant par des modèles différents en fonction des indicateurs de performance. De façon générale, s'il y a bien un effet de synchronie sur le niveau de vigilance, l'effet de synchronie sur la performance n'est pas médié par le niveau de vigilance. En effet, le nombre de sélections tardives n'est pas affecté par le niveau de vigilance bien qu'il subisse un effet de synchronie.

#### 6.1.2.3.1 Le temps de réaction.

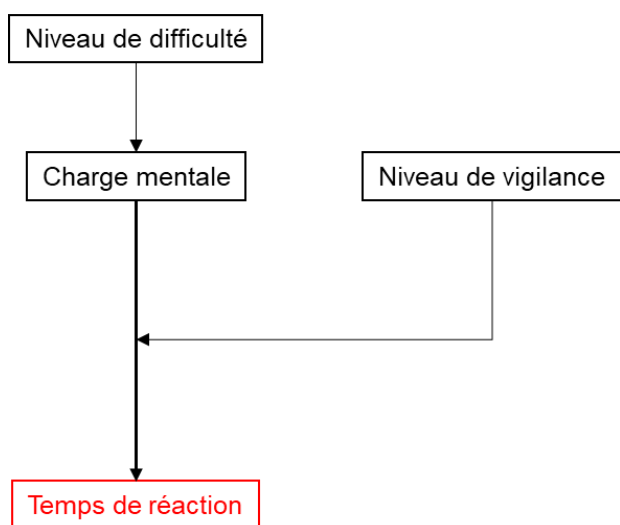


Figure 181. Modèle prédictif du temps de réaction

Le temps de réaction est l'écart temporel entre le début de la situation de consigne (navire ennemi à moins de 150 mètres du porteur) et l'application de la consigne (destruction du navire). Le meilleur modèle prédictif de ce temps de réaction est composé du diamètre pupillaire différentiel (charge mentale) et de l'interaction du diamètre pupillaire différentiel avec le niveau de vigilance [Figure 181]. Les effets du niveau de difficulté qui influencent également le temps de réaction sont médiés par la charge mentale (diamètre pupillaire).

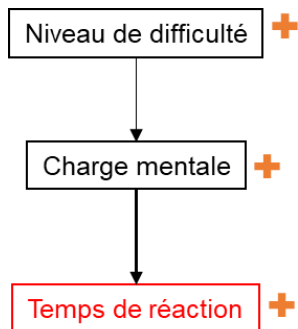


Figure 182. Influence du niveau de difficulté sur le temps de réaction

Les résultats montrent que, plus le niveau de difficulté est élevé, plus la durée entre le début de la situation d'application de la consigne et son application effective est longue [Figure 182]. La charge mentale élevée (qui s'explique par un niveau de difficulté élevé) est associée à un temps de réaction plus grand. En d'autres termes, l'augmentation de la difficulté provoque une charge mentale élevée qui, à son tour, va affecter la durée entre le moment où le navire atteint les 150 mètres et sa destruction. Cela peut s'expliquer, notamment, par un accroissement du nombre de variables à traiter simultanément.

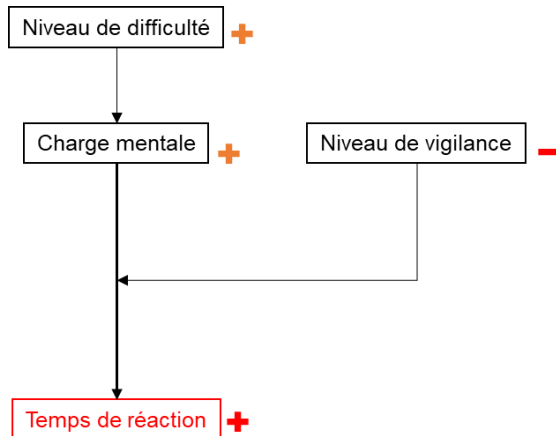


Figure 183. Modulation des effets de la charge mentale par le niveau de vigilance.

De plus, l'effet de la charge mentale est modulé par le niveau de vigilance [Figure 183] qui lorsqu'il est faible exacerbe l'effet de la charge mentale sur le temps de réaction et provoque un écart plus long entre l'apparition de la situation d'application de la consigne et son application effective. Ainsi, les résultats semblent suggérer que, plus le niveau de vigilance augmente, plus les effets de la charge mentale sur le temps de réaction sont atténués.

L'effet modulateur du niveau de vigilance subjectif sur les effets de la charge mentale objective peut s'expliquer par le lien des deux facteurs à la quantité de ressources cognitives disponibles (Feltman, 2016 ; Galy et Mélan, 2015). Dans une situation où le niveau de vigilance est faible, et donc les ressources cognitives disponibles plus faibles, une charge mentale élevée entrainera une diminution des performances due au manque de ressources cognitives.

#### 6.1.2.3.2 *Le nombre de destructions précoces.*

Les modèles prenant en compte le score global de conscience de la situation ne permettent pas d'obtenir un modèle prédictif du nombre de navires détruits précocement, c'est-à-dire du nombre de navires qui ont été détruits avant d'atteindre la situation de la consigne qui est celle de 150 mètres du porteur.

Cependant, nous obtenons un modèle prédictif de la conscience de la situation lors que nous prenons en considération les éléments détaillés de ce concept.

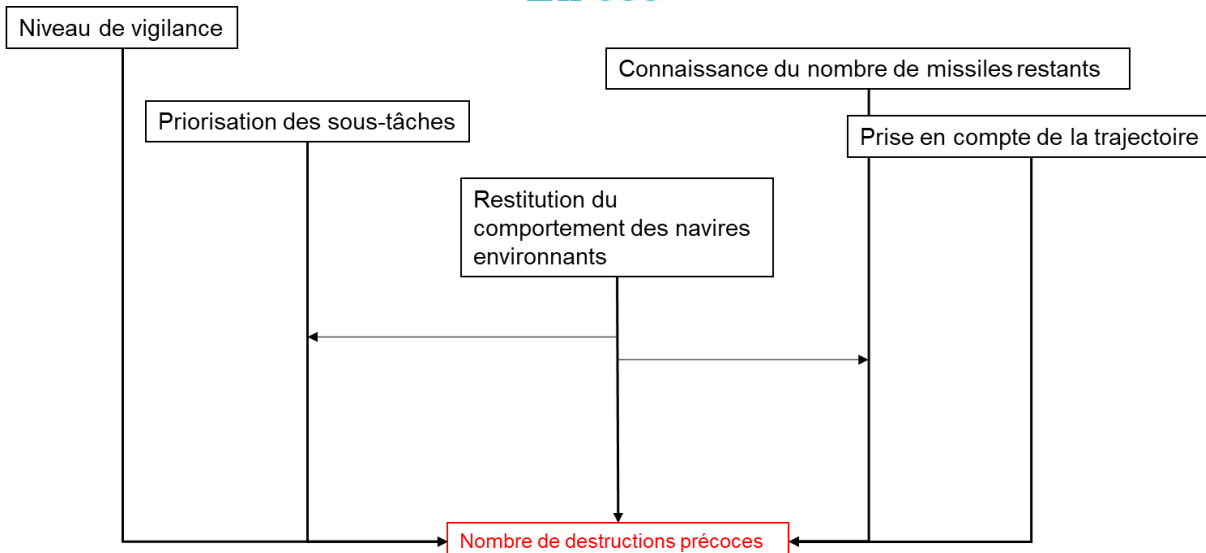


Figure 184. Modèle prédictif du nombre de collisions

Le modèle obtenu montre l'influence de plusieurs éléments de la conscience de la situation et du niveau de vigilance sur la performance (nombre de destructions précoces) [Figure 184].

**Influence du niveau de vigilance sur le nombre de destructions précoces.**

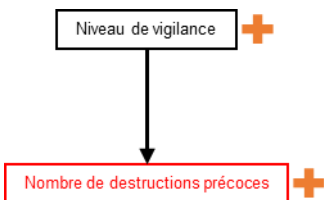


Figure 185. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de destructions précoces.

Ainsi, les résultats indiquent qu'un niveau de vigilance élevé est associé à un nombre de destructions précoces élevé. En d'autres termes, les individus ayant un niveau de vigilance élevé agissent plus souvent avant la situation consigne. Une des explications à ce phénomène pourrait être que les participants avec un niveau de vigilance élevé anticipent plus facilement l'action de destruction du navire ennemi en ouvrant la fenêtre des missiles, et se retrouvent à détruire le navire ennemi lorsqu'un risque de collision survient pour tenter d'éviter la collision.

Cela pourrait également expliquer la corrélation entre le nombre de destructions précoces et le nombre de collisions.

**Influence de la priorisation des sous-tâches sur le nombre de destructions précoces.**

Concernant la priorisation des sous-tâches, les résultats montrent que le nombre de destructions est plus élevé lorsque les participants décident de se concentrer sur la tâche nautique, à savoir sur les navires alliés à éviter. Le nombre est plus faible lorsque les participants décident de traiter avec la même priorité les deux sous-tâches, ou lorsqu'ils se concentrent sur la destruction des navires ennemis.

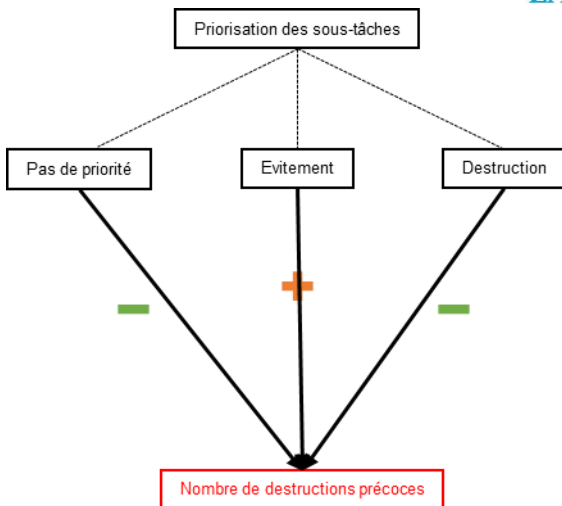


Figure 186. Influence de la priorisation des sous-tâches sur le nombre de destructions précoces.

Durant la réalisation de la tâche, les risques de collisions sont récurrents avec une fréquence qui est fonction du niveau de difficulté. Une des explications possibles à ce phénomène est celle de l'anticipation, et d'un conflit entre les manœuvres de destruction qui empêcherait de réaliser la tâche d'évitement de collision. Ce conflit serait moins présent pour les participants décidant de n'imposer aucune priorité et les participants priorisant la destruction des navires ennemis.

Les cas de destructions précoces ont tendance à apparaître en début de tâche, et varie de 0 à 3. Une autre explication de ce rôle prédictif du plus grand nombre de destructions précoces lorsque la priorisation est à l'évitement des collisions est en réalité inverse. En effet, en subissant des collisions suite à une mauvaise stratégie, les participants prennent conscience de la mauvaise stratégie et la modifient pour éviter les risques de collision. Ils décident donc de donner une priorité au risque de collision.

**Effet de la prise en compte de la trajectoire.**

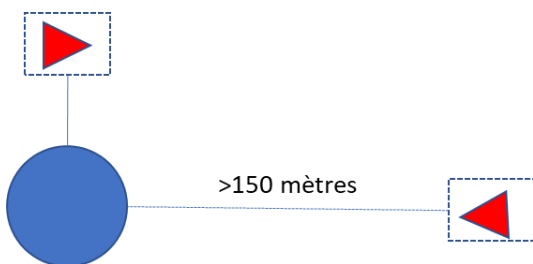


Figure 187. Exemple de situations où la prise en compte de la trajectoire s'avère importante

Durant la réalisation de la tâche, il peut arriver une situation telle que celle décrite dans la figure 187, à savoir qu'un ou plusieurs navires ennemis sont en route de collision avec le porteur, mais à une distance de plus de 150 mètres.



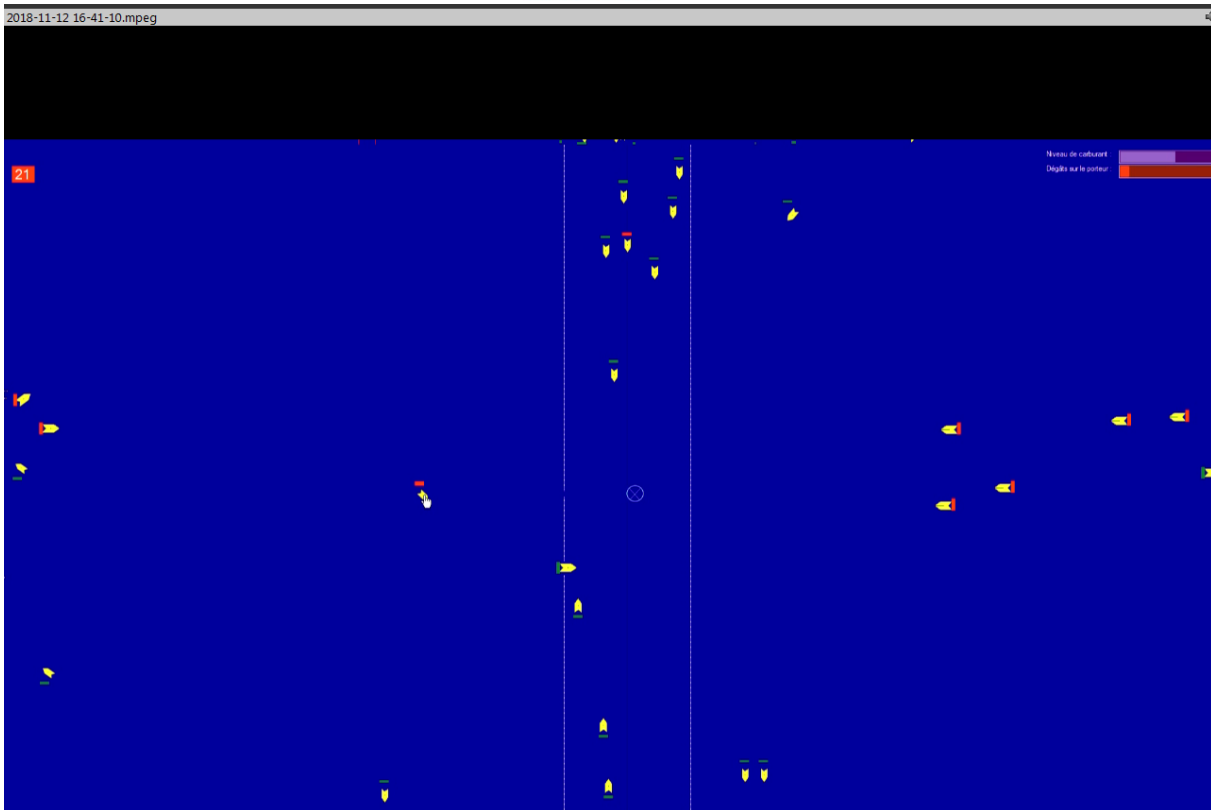


Figure 188. Exemple d'une situation nécessitant la prise en compte du risque de collision avec les navires ennemis.

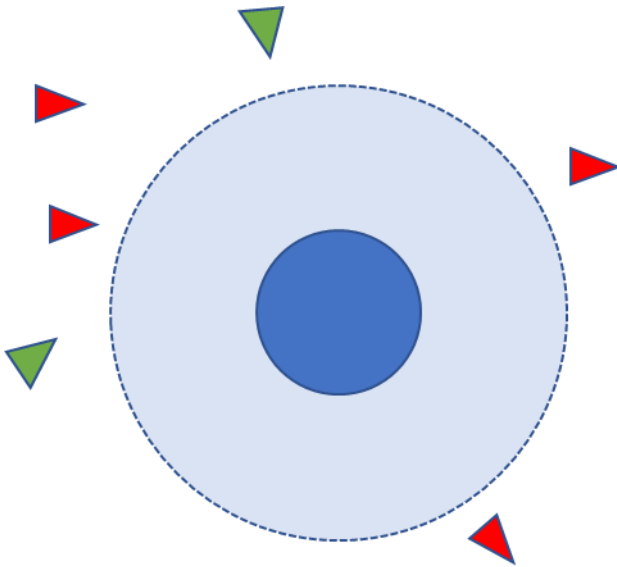
Dans l'exemple ci-dessus [Figure 188], un navire ennemi est lui à moins de 150 mètres, mais pas en route de collision. Sachant que le nombre de missiles est limité et que le porteur ne peut être déplacé en avant ou en arrière, la meilleure réaction est celle de sortir du cadre de la consigne et de prendre en compte des informations supplémentaires comme la trajectoire des navires ennemis. Lorsque les participants ont la « bonne réaction » face à la situation et qu'ils font le choix de donner la priorité au risque de collision, le nombre de destructions précoces est plus faible que lorsqu'ils décident de respecter strictement la consigne.

**Les interactions de la qualité de restitution du comportement des navires environnants avec la connaissance du nombre de missiles restants et la prise en compte de la trajectoire.**

Dans le cas des interactions également, les meilleures qualités de connaissance de la situation sont généralement associées à un nombre élevé de destructions précoces.

Cela renforce l'idée que le nombre de destructions précoces a pu modifier la recherche d'information.

**Effet de la connaissance du comportement des navires environnants.**



**Figure 189. Exemple de situation très simplifié**

La zone des 150 mètres est une zone critique pour l'évitement des collisions et la destruction des ennemis. Le support d'expérimentation permet cependant une vision élargie de la situation [Figure 189]. Certains navires éloignés ont des comportements qui, s'ils sont pris en compte, peuvent offrir un nouveau regard sur les possibilités d'action des navires et sur les informations fournies par le support. La restitution permet de vérifier si le participant a pu remarquer ces comportements ou non.

Les résultats indiquent que, lorsque les participants ont remarqué les comportements des autres navires, leur nombre de destructions précoces est plus élevé. De la même façon que le choix des priorités, ce résultat peut s'expliquer par un changement de stratégie. En effet, les individus ayant subi des collisions associées aux destructions précoces peuvent se trouver plus attentifs à leur environnement que ceux n'ayant que peu ou pas expérimenté de destruction précoce. Par conséquent, une bonne ou moyenne qualité de connaissance peut être associée à un nombre de destructions précoces plus élevé.

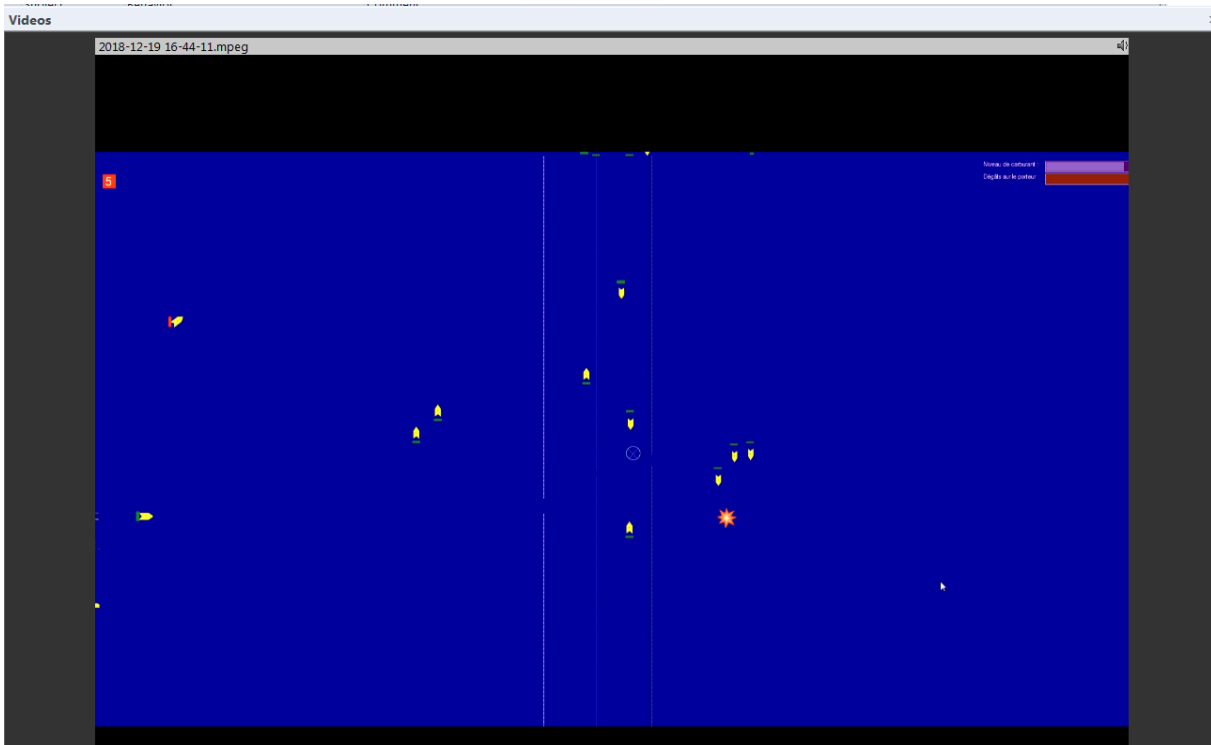


Figure 190. Exemple d'une destruction précoce de la part d'un participant au moment d'un risque de collision

#### 6.1.2.3.4 Le nombre de collisions.

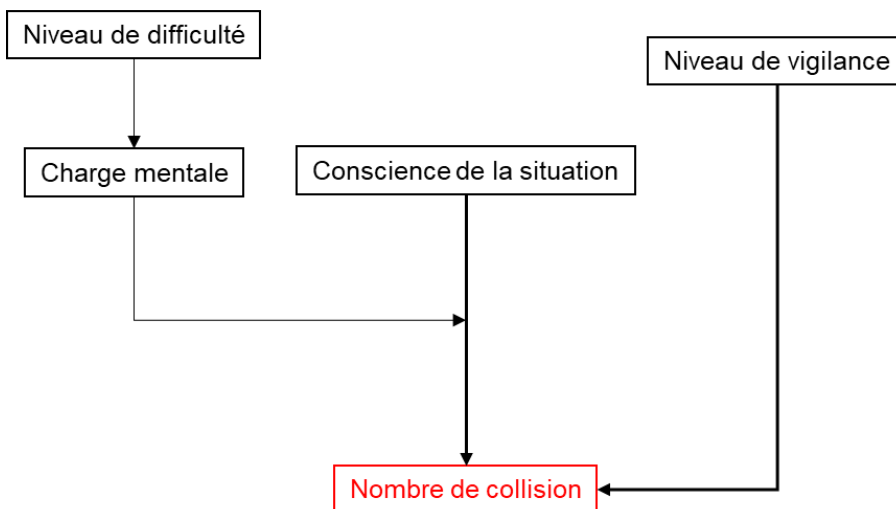


Figure 191. Modèle prédictif du nombre de collisions

Le modèle prédictif obtenu pour le nombre de collisions comporte le niveau de difficulté dont l'influence est médiée par la charge mentale (diamètre pupillaire), dont l'effet est lui-même modulé par la conscience de la situation. Enfin, le niveau de vigilance prédit également le nombre de collisions [Figure 191].

#### **Le niveau de vigilance et le nombre de collisions.**

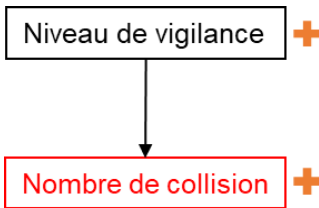


Figure 192. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de collisions.

Les résultats indiquent qu'un niveau de vigilance élevé est associé à un plus grand nombre de collisions [Figure 192]. Un niveau de vigilance élevé était également associé à un plus grand nombre de destructions précoces, et nous savons que les deux variables sont corrélées. L'influence du niveau de vigilance sur le nombre de collisions pourrait donc partiellement s'expliquer de la même façon, par une anticipation de la destruction des navires qui finalement rendrait difficile l'évitement de collisions. Une possible explication serait celle d'une relation entre le niveau de vigilance et les capacités métacognitives. En d'autres termes, les participants ayant un niveau de vigilance élevé, conscients de leurs ressources cognitives, tendraient à surestimer leur capacité de réalisation de la tâche dans un premier temps, avant de mettre à jour leur stratégie.

**Modulation des effets du niveau de vigilance par la conscience de la situation.**

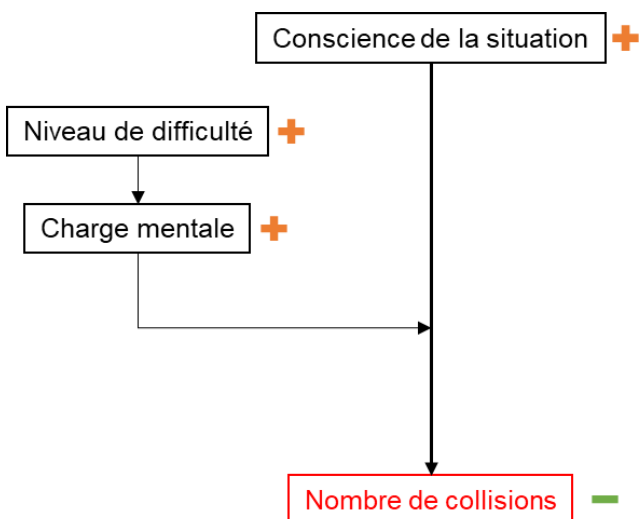


Figure 193. Modulation de la conscience de la situation sur l'effet de la charge mentale sur le nombre de collisions.

Les résultats montrent des effets de modulation de l'influence de la conscience de la situation sur le nombre de collisions et à l'inverse des effets de modulation de la charge mentale sur l'influence de la conscience de la situation sur le nombre de collisions [Figure 193]. Ainsi lorsqu'un niveau de charge mentale élevé est associé à une conscience de la situation élevée, le nombre de collisions diminue. Le modèle prédictif montre l'importance de prendre en compte non seulement la charge mentale, mais également la conscience de la situation puisque les deux concepts agissent de concert sur la performance.

6.1.2.3.5 *Le nombre de sélections tardives*

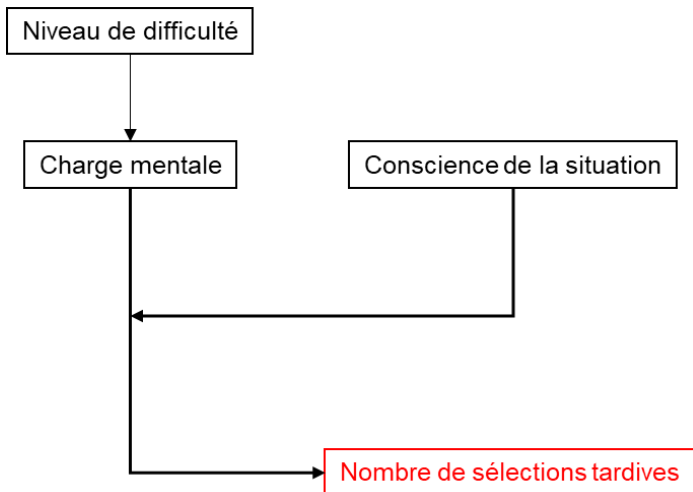


Figure 194. Modèle prédictif du nombre de sélections tardives

Les résultats indiquent que les facteurs prédictifs du nombre de sélections tardives sont la charge mentale (estimée par le diamètre pupillaire différentiel), qui traduit un effet du niveau de difficulté, et l'interaction entre la charge mentale et la conscience de la situation [Figure 194].

**Charge mentale et sélections tardives.**

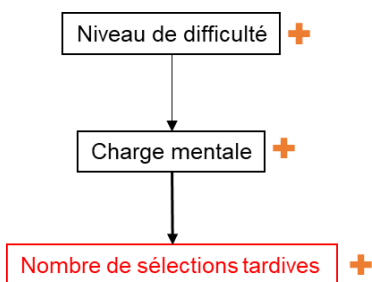


Figure 195. Influence du niveau de vigilance sur le nombre de collisions.

Plus la charge mentale est élevée et plus le nombre de navires sélectionnés tardivement est élevé [Figure 195]. Cela peut s'expliquer par l'augmentation de la difficulté et du nombre de variables à traiter.

**Modulation des effets de la charge mentale par la conscience de la situation.**

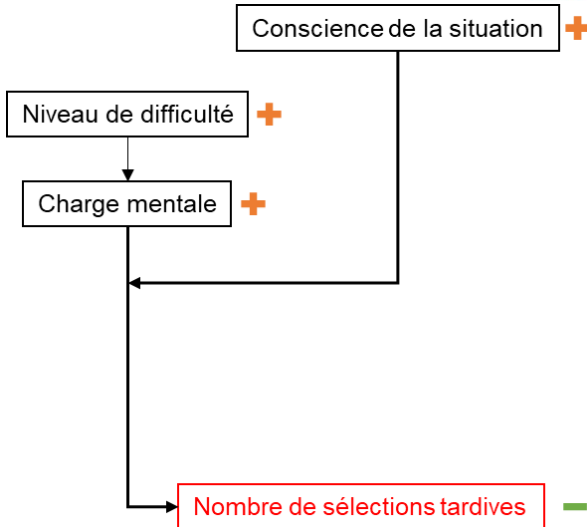


Figure 196. Modulation de la conscience de la situation sur l'effet de la charge mentale sur le nombre de sélections tardives.

Les résultats montrent que la charge mentale, seule, augmente le nombre de sélections tardives lorsqu'elle est élevée, tandis que lorsqu'elle est associée à une conscience de la situation élevée, le nombre de sélections tardives diminue [Figure 196]. Ainsi, l'influence de la charge mentale sur le nombre de sélections tardives est modulée par la conscience de la situation.

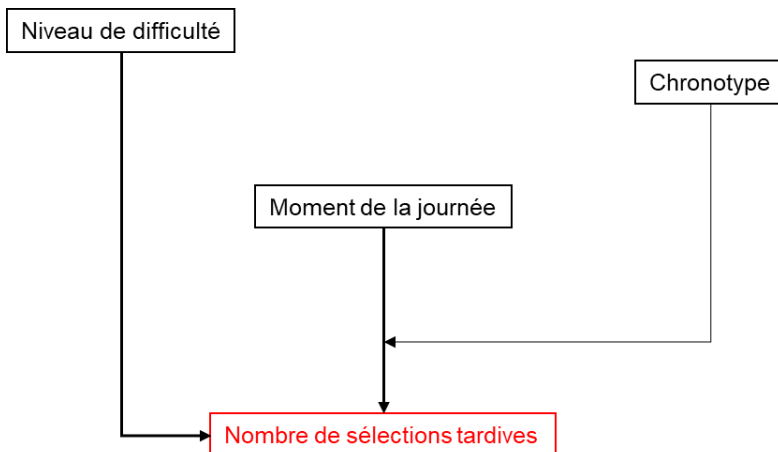


Figure 197. Modèle prédictif du nombre de sélections tardives

Comme expliqué précédemment, le nombre de sélections tardives est également prédit par le modèle de la figure 197, rendant compte d'un effet de synchronie.

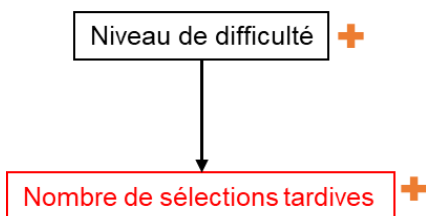


Figure 198. Effets du niveau de difficulté sur le nombre de sélections tardives.

Le nombre de sélections tardives augmente donc significativement avec le niveau de difficulté, et l'interaction entre le moment de la journée et la typologie circadienne montre une tendance

d'un nombre de sélections tardives plus grand durant les périodes optimales, c'est-à-dire le matin pour les matinaux. Ce nombre est plus faible en période non optimale.

Les résultats montrent une corrélation entre le nombre de sélections tardives et le nombre de collisions qui peut s'expliquer par le fait que ces deux indicateurs de performance partagent des facteurs prédictifs en commun tels que la charge mentale, le niveau de difficulté, et la conscience de la situation auxquels les deux indicateurs sont sensibles.

Une autre possibilité serait également que les individus ayant subi des collisions modifient leurs comportements en traitant plus longuement les informations disponibles avant d'agir.

## 6.2 Interprétation des résultats

### 6.2.1 Les rôles du niveau de vigilance

Les résultats font état de deux types de rôles du niveau de vigilance. D'un côté, il a un rôle modérateur en faisant varier les effets d'un autre facteur sur la performance. De l'autre côté, il semble affecter les capacités métacognitives et à travers celles-ci, les stratégies mises en place par les participants. Ces deux rôles sont associés au fait que le niveau de vigilance est une source de variation des ressources cognitives disponibles. Les deux rôles sont décrits dans la littérature notamment par Morris, Pilcher, Mulvihill, et Vander Wood (2017) qui indiquent que le niveau de vigilance variant selon une rythmicité circadienne est un prédicteur de la capacité d'un individu de juger sa propre performance (*performance awareness*). Ainsi un niveau de vigilance faible exacerbe les effets de la charge mentale sur la performance, tandis qu'un niveau de vigilance élevé peut être associé à une surestimation des capacités face à une tâche et conduire à une performance dégradée également avant une mise à jour stratégique.

Le niveau de vigilance et les effets de synchronie semblent être à l'origine d'effets différents sur la performance puisque nous n'observons pas de médiation des effets de synchronie sur la performance par le niveau de vigilance.

### 6.2.2 Les effets de la charge mentale

Les effets de la charge mentale correspondent aux effets couramment rencontrés dans la littérature, c'est-à-dire une augmentation lorsque la difficulté de la tâche augmente, s'accompagnant, sur la durée, d'une baisse de performance (Feltman, 2016).

L'augmentation de la charge mentale semble donc généralement avoir un effet délétère sur la performance. Ce point de vue change cependant lorsque l'on prend en considération des variables supplémentaires. Ainsi, lorsqu'une charge mentale élevée est associée à une bonne qualité de conscience de la situation, les effets de la charge mentale sur la performance sont amoindris.

Au contraire, associée à un niveau de vigilance faible, les effets d'une charge mentale élevée renforcent la dégradation de la performance. Ces résultats montrent l'intérêt qu'il peut y avoir à ne pas traiter la charge mentale comme l'unique prédicteur de la performance, mais de l'associer à d'autres facteurs explicatifs de la performance. Cela permet une approche plus fine de la compréhension de la gestion de la charge mentale à l'aide des systèmes automatisés par exemple.



### 6.2.3 Les effets de la conscience de la situation

La conscience de la situation apparaît seulement comme un facteur modulateur des effets de la charge mentale. Lorsqu'elle est de bonne qualité, les effets délétères de la charge mentale élevée sur la performance sont amoindris. Il n'existe cependant pas de relation directe avec la performance et la conscience de la situation n'a pas de prédicteur parmi les facteurs étudiés. La littérature indique qu'une bonne conscience de la situation augmente les probabilités d'une bonne performance (McCarley, Wickens, Goh, et Horrey, 2002, September). Ainsi, elle n'est pas obligatoirement prédicteur d'une bonne performance, mais elle peut potentialiser l'effet d'autres facteurs.

Lorsque l'on s'intéresse aux variables qui composent la conscience de la situation, la typologie circadienne apparaît comme un prédicteur des qualités de connaissances de l'environnement. Cela pourrait s'expliquer par le rôle de la typologie circadienne dans les variations de certaines capacités cognitives comme les capacités de la mémoire de travail (Piffer, Ponzi, Sapienza, Zingales, et Maestriperi, 2014).

Le degré de connaissances de l'environnement est également associé à des différences de performance, mais cela semble dû plutôt à des différences de stratégies de la part des participants. En effet, les participants ayant commis des erreurs stratégiques, conduisant à de mauvaises performances (collisions), semblent modifier leurs priorités dans les sous-tâches et leurs stratégies de prise d'information.

Quant à la relation entre la conscience de la situation et la charge mentale, elle peut s'expliquer par l'utilisation des ressources cognitives. Hendy (1995) cite notamment deux situations dans la relation entre ces deux concepts. La première est celle dans laquelle la charge cognitive implique des processus n'ayant aucun rapport avec les variables de la conscience de la situation et la seconde dans laquelle un haut niveau de charge mentale intègre les processus utiles pour la conscience de la situation. Dans le premier cas, le développement de la conscience de la situation ou son maintien sera diminué tandis que dans le second cas une charge mentale élevée pourrait être associée au développement d'un bon modèle mental, le maintien et le développement de la conscience de la situation nécessitant des ressources disponibles. La charge mentale et principalement la pression temporelle diminuerait les ressources nécessaires.

### 6.2.4 Les effets de la typologie circadienne

Le chronotype est un facteur prédictif de la priorisation des sous-tâches et de la qualité des restitutions des connaissances sur l'environnement (ex. nombre de missiles restants).

Une explication possible à ces effets est celle d'une variation de capacités d'inhibition (Song et al., 2018). Ainsi, il serait possible que, durant les périodes optimales, les participants du matin, en ayant plus de capacités d'inhibition, aient pu considérer le comportement de navires environnants comme des éléments distracteurs. Leurs capacités d'inhibition auraient pu permettre que cette information ne soit pas traitée en mémoire de travail. Au contraire, pour les participants en période non optimale, les capacités d'inhibition réduites auraient facilité l'accès de cette information à la mémoire de travail. May (1999) explique que, lorsque les éléments distracteurs sont importants pour la réalisation de la tâche alors, les individus ayant une efficacité réduite des capacités inhibitrices profitent de ce niveau d'inhibition faible.

Il est intéressant de citer le cas de deux participants qui, durant la réalisation de la tâche, ont chacun manifesté leur étonnement face au comportement des navires environnants. Lors de la phase de restitution, ils ont pourtant été incapables de restituer ces mêmes comportements. Durant les échanges suivants, ils indiquaient même ne pas avoir perçu les comportements. Dans le même sens, Caserta et Abrams (2007) expliquent qu'une baisse des capacités d'inhibition provoque une détérioration de l'attention sélective. Les individus dans cette situation se retrouveraient donc à traiter de nombreux éléments de l'environnement à cause d'une difficulté à se concentrer seulement sur les éléments pertinents et à limiter le traitement des éléments non pertinents. Or les processus d'inhibition seraient plus importants chez les matinaux (Carciofo, Du, Song, et Zhang, 2014).

Un résultat similaire se retrouve dans la qualité de connaissances du nombre de missiles restants. Les individus intermédiaires ont une meilleure restitution du nombre de missiles restants que les modérément du matin.

Une autre explication serait celle des variations de capacités de la mémoire. Il existe des différences d'efficacité de la mémoire sémantique, notamment entre les matinaux et les vespéraux. Pour les vespéraux, l'efficacité de la mémoire augmente durant la journée tandis que pour les matinaux elle reste équivalente, quel que soit le moment de la journée (Diaz-Morales et Escribano, 2013). Les résultats font apparaître des effets de la typologie circadienne sur des variables associées au rappel d'informations (restitution des comportements environnants, restitution du nombre de missiles restants). Dans les deux cas, les meilleurs résultats sont obtenus par les intermédiaires en comparaison des matinaux. Ces résultats pourraient suggérer une différence de fonctionnement de la mémoire de travail de façon générale entre les deux chronotypes. La littérature fait apparaître une relation entre le chronotype et la performance de la mémoire (Preckel, Lipnevich, Schneider et Roberts, 2011). De façon générale, ces études comparent les matinaux et les vespéraux pour arriver à la conclusion que ces derniers ont de meilleures capacités de mémorisation. Les résultats pourraient indiquer que c'est également le cas entre les matinaux et les intermédiaires, et que les individus ayant une typologie matinale tendraient à avoir des capacités de mémorisation inférieures.

Cependant, dans le cas de cette étude, il faut rappeler que, si les participants à la typologie circadienne du matin ont réalisé la tâche dans une période optimale et non optimale, les individus intermédiaires n'ont pas été placés dans les situations correspondant à leur période optimale ou non optimale.

De façon générale, il existe de nombreuses preuves de relation entre la typologie circadienne et la performance individuelle, et bien souvent sans association avec la période de réalisation de la tâche (Piffer, Ponzi, Sapienza, Zingales, & Maestripieri, 2014). La typologie circadienne est connue comme un facteur de variabilité des capacités cognitives, les résultats montrant souvent des performances plus faibles des matinaux en comparaison aux vespéraux. Peu d'explications claires sont fournies pour comprendre ce phénomène.

## 6.3 Recommandations pour la conception des IHMs adaptatives

Il était considéré que pour prendre en compte les facteurs chronobiologiques tels que les effets de synchronie, une IHM adaptative doit intégrer un modèle de la tâche, un modèle utilisateur et un modèle de l'environnement [Figure 199].

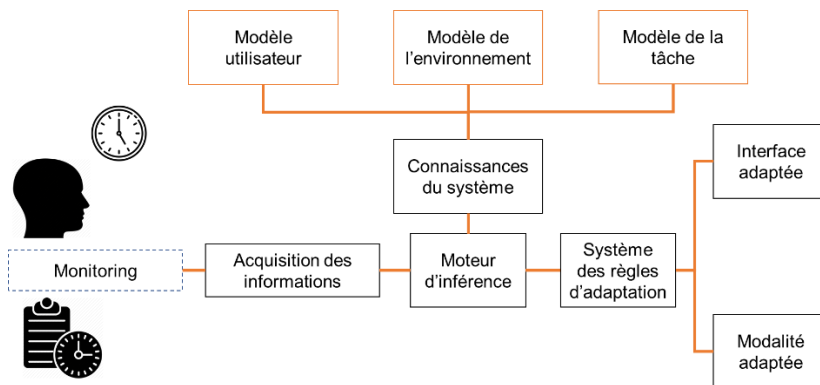


Figure 199. Représentation des fonctions d'un système adaptatif prenant en compte la chronobiologie

Les résultats montrent que, selon l'aspect de la performance auquel nous nous intéressons, les facteurs à intégrer peuvent varier. Pour pouvoir appréhender le plus de situations possible, il est donc important d'étendre les modèles au-delà des facteurs chronobiologiques et d'intégrer la prise en compte de la charge mentale et de la conscience de la situation. En effet, si le but de départ était d'expliquer les effets de synchronie et vérifier leur existence dans un cadre IHM, l'étude a permis de montrer non seulement l'existence des effets de synchronie dans ce contexte, mais également de confirmer les effets directs de facteurs chronobiologiques comme le niveau de vigilance et la typologie circadienne. Elle confirme également le rôle de la conscience de la situation et de la charge mentale sur la performance.

C'est donc la prise en compte d'un modèle utilisateur intégrant la qualité de la conscience de la situation, la charge mentale, le niveau de vigilance et la typologie circadienne qui est proposée ici. Pour appliquer un tel modèle, les recommandations suivantes doivent être prises en compte.

Dans le cas des effets de synchronie, lorsque les périodes optimale et non optimale sont déterminées, il est possible de proposer des modifications de l'interface IHM dans le but de supporter la stratégie de traitement de l'information associée à la période.

Dans un cadre de recommandations ergonomiques de conception d'IHM, les préconisations seront donc différentes en fonction de la période d'utilisation de l'IHM :

- Durant les périodes non optimales, il est nécessaire de focaliser les interfaces sur les informations utiles pour la tâche en cours seulement, et éviter les informations risquant d'être intégrées en mémoire de travail sans être pertinentes par rapport aux objectifs.
- Durant les périodes optimales, il faut accompagner le traitement de l'information détaillée. Ainsi, tout en offrant une interface et des informations plus complètes, il est nécessaire de mettre en avant les événements prioritaires dont la temporalité est réduite.

Pour une prise en compte pertinente des effets des variations de la charge mentale, celle-ci ne doit pas être prise en compte isolément, mais associée au niveau de vigilance et à la conscience de la situation.

Deux situations se présentent alors :

1. Le premier cas est celui d'un niveau de vigilance faible qui s'accompagne d'une charge mentale élevée.

Plusieurs études sont réalisées dans le but de produire des IHMs adaptatives prenant en compte la charge mentale de l'opérateur. Pour ce faire, des seuils sont considérés en fonction de la mesure pour catégoriser l'état de l'opérateur et adapter l'interface en conséquence (Wei, Zhuang, Wanyan, Liu, et Zhuang, 2014). Dans le cas où l'opérateur montre un niveau de vigilance faible, le seuil doit être réadapté en conséquence, un niveau faible provoquant une potentialisation des effets de la charge mentale. La réponse de l'interface IHM doit être la même que celle prévue pour le seuil élevé de charge mentale. Par exemple, dans certains cas, pour une meilleure gestion de la charge mentale, les systèmes réalisent une allocation des tâches intelligentes, en automatisant certaines tâches et en laissant à l'opérateur les tâches les plus importantes. Les systèmes automatisés adaptatifs permettent de faire varier cette allocation en fonction de l'état de l'opérateur (Mouloua, Gilson, Kring, et Hancock, 2001, October). Elles pourraient intégrer un suivi du niveau de vigilance et l'intégrer comme modulateur du seuil d'adaptation.

2. La seconde situation est celle d'un niveau de charge mentale élevé et d'un bon niveau de conscience de la situation.

Cette situation montre l'importance de comprendre les processus impliqués dans le niveau de charge mentale mesuré. Comme le dit Parasuraman, Cosenzo, et De Visser (2009), en plus de la mesure de la charge mentale, il peut être utile d'évaluer également la conscience de la situation. L'évaluation en temps réel de la conscience de la situation est une tâche ardue, les auteurs proposent quelques moyens comme questionner l'opérateur sur les changements éventuels de l'environnement. Cependant, cette méthode provoquerait une modification de la tâche en cours, et en fonction de la situation en cours, elle pourrait s'apparenter à un distracteur. L'utilisation de l'eye-tracker est un autre moyen pour mesurer seulement le niveau de perception de la conscience de la situation (Sirkin, Martelaro, Johns, et Ju ,2017, May), mais celle-ci est également limitée, car si l'eye-tracker permet un suivi du parcours oculaire, poser le regard sur une partie de l'environnement et percevoir l'information n'est pas la même chose. Des travaux restent donc nécessaires pour déterminer le moyen de suivi, mais cette étude confirme l'intérêt d'une telle entreprise.

Lorsque le niveau de vigilance est élevé, le système doit pouvoir accompagner l'opérateur dans l'estimation de ces possibilités d'action. Cependant, dans notre cas, les participants ont travaillé sur une interface non connue, sur laquelle la phase d'entraînement n'a peut-être pas été suffisante pour permettre à certains de juger de leurs marges de manœuvre. Il est donc possible que, dans une situation réelle, cet effet soit effacé par la formation. Comme pour les paramètres précédents, des études complémentaires seront nécessaires afin de déterminer la persistance de cet effet face à de nouveaux facteurs comme celui de l'expertise.

Le rôle de la typologie circadienne dans la formation ou la restitution des connaissances est à éclaircir. Cela permettrait de déterminer la meilleure stratégie de présentation de l'information en fonction du chronotype de l'opérateur.

Cette étude montre l'importance de prendre en compte plusieurs facteurs lors de la conception d'un système adaptatif, car un facteur est souvent associé à d'autres facteurs complémentaires. Cette étude a cependant certaines limites.

## 6.4 Limites de l'étude

Cette étude a été réalisée auprès de participants tout-venant, il ne s'agit donc pas d'une population experte réalisant une tâche propre à son domaine d'expertise. Ce choix a été motivé par la difficulté d'accès à une population militaire et à un simulateur adapté au contexte d'expérimentation. Des études complémentaires seront donc nécessaires avant une application à un domaine particulier comme celui de la navigation.

Le support d'expérimentation a été conçu pour répondre à la problématique en prenant en compte que les individus participants ne sont, pour la majorité, pas experts en navigation maritime. En cela, il ne s'agit pas d'un simulateur reprenant avec exactitude les situations de navigation. Ces deux conditions, simulateurs et participants militaires, sont nécessaires pour vérifier les manifestations des facteurs étudiés dans le contexte maritime.

Cela permettra également d'intégrer des facteurs non étudiés ici tels que le niveau d'expérience, le travail en groupe ou la durée de l'activité.

La majorité des études prenant en compte le chronotype fait une comparaison des individus du matin et du soir, ou des deux extrêmes de ces chronotypes. Dans le cas de cette étude, l'analyse statistique s'est intéressée seulement aux deux populations les plus représentées parmi nos participants. Cette comparaison entre individus modérément matinaux et intermédiaires limite la possibilité d'étendre les résultats aux vespéraux. Cependant, les résultats significatifs montrent l'intérêt qu'il y aurait à étendre la recherche sur la thématique des effets de la chronobiologie dans le contexte IHM. En effet, si les individus aux chronotypes extrêmes sont généralement favorisés dans les études, c'est parce qu'il est d'autant plus facile d'obtenir des différences et les individus ayant un chronotype extrême sont connus pour présenter des variations plus importantes aux facteurs étudiés. De plus, les individus du matin sont considérés comme moins sensibles aux variations circadiennes (Nowack et Van Der Meer, 2018). En d'autres termes, les populations choisies dans cette étude pouvaient supposer une absence des effets de facteurs chronobiologiques significatifs. La présence de ces effets malgré tout est donc très encourageante pour la poursuite des études sur cette thématique et démontre le fait qu'il convient de s'intéresser à l'ensemble des chronotypes possibles, puisque, même entre des chronotypes modérés, des différences apparaissent.

Enfin, le nombre de participants associé au nombre de variables peut être également une limite de cette étude. En effet, la répartition des participants dans les 5 groupes associés aux chronotypes n'est pas équitable, ce qui a participé à une réduction du nombre de participants pris en compte dans l'analyse statistique.



## 6.5 Perspectives

Le développement des IHMs adaptatives peut contribuer à une meilleure sécurité et à l'efficacité des opérations dans différents domaines complexes (Lim, Gardi, Sabatini, Ramasamy, Kistan, Ezer, Vince et Bolier (2018). Cependant, la conception de ces systèmes nécessite de combiner des informations sur l'environnement, sur le système et sur l'opérateur afin de produire des IHM en adéquation avec le contexte. Il est donc nécessaire de mettre en relation différentes disciplines. Une des difficultés actuelles pour la conception de ce type d'IHM concerne le développement de modèle et des algorithmes décrivant la performance et les états cognitifs des opérateurs (Lim et al., 2018).

Le travail présenté ici n'est qu'un pas dans cette vaste problématique, qui avait pour but de faire le lien entre deux domaines qui ne se rencontrent que trop rarement, la chronobiologie et les IHM. Les résultats obtenus sont très encourageants sur le potentiel des études tentant de comprendre comment des facteurs connus pour affecter les capacités cognitives peuvent également affecter la performance en IHM. Ces résultats renforcent également l'idée qu'il est important de prendre un point de vue holistique de la performance dans les réflexions autour des IHMs adaptatives.

En effet, l'erreur de la course à l'automatisation a été de se focaliser sur la surcharge mentale et sur la nécessité de réduire la charge mentale sans prendre en compte les effets de la sous-charge, la fatigue passive ou les effets sur la conscience de la situation des opérateurs, entre autres. Aujourd'hui, des travaux sur des systèmes automatisés adaptatifs font partie des solutions potentielles aux limites de l'automatisation statique (Kaber et Endsley, 2004).

Les recommandations proposées à la suite de cette étude sont autant un appel à des études plus précises et plus proches de contexte d'utilisation réel.

D'autres questions sont soulevées pouvant également conduire à des études complémentaires telles que :

- Comment les effets de synchronie se manifestent dans un contexte collectif comme c'est le cas dans la navigation ?
- Comment se manifeste l'interaction entre ces facteurs chronobiologiques et le niveau d'expérience de l'opérateur sur la performance ?
- Comment intégrer une vision holistique de la charge mentale et l'appliquer dans la conception des IHMs adaptatives ?

# BIBLIOGRAPHIE

---



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774



- á Høvdanum, A. S., Jensen, O. C., Petursdóttir, G., & Holmen, I. M. (2014). A review of fatigue in fishermen: a complicated and underprioritised area of research. *International maritime health*, 65(3), 166-172.
- Adan, A., Archer, S. N., Hidalgo, M. P., Di Milia, L., Natale, V., & Randler, C. (2012). Circadian typology: a comprehensive review. *Chronobiology international*, 29(9), 1153-1175.
- Åkerstedt, T., & Folkard, S. (1995). Validation of the S and C components of the three-process model of alertness regulation. *Sleep*, 18(1), 1-6.
- Akerstedt, T., & Folkard, S. (1996). Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occupational and environmental medicine*, 53(2), 136-141.
- Allen, A. E., Martial, F. P., & Lucas, R. J. (2019). Form vision from melanopsin in humans. *Nature communications*, 10(1), 1-10.
- Allen, A. E., Storch, R., Martial, F. P., Bedford, R. A., & Lucas, R. J. (2017). Melanopsin contributions to the representation of images in the early visual system. *Current Biology*, 27(11), 1623-1632.
- Alshammari, M. (2016). *Adaptation based on learning style and knowledge level in e-learning systems* (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- Alvarez-Cortes, V., Zayas-Perez, B. E., Zarate-Silva, V. H., & Uresti, J. A. R. (2007, September). Current trends in adaptive user interfaces: Challenges and applications. In *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA 2007)* (pp. 312-317). IEEE.
- ANACT (2016). 10 questions sur charge travail. [Consulté sur : <https://www.anact.fr/10-questions-sur-la-charge-de-travail> en janvier 2020]
- Apostol-Mates, R., & Barbu, A. (2019). Fatigue leading to human error: a study based on marine accidents. *Scientific Bulletin" Mircea cel Batran" Naval Academy*, 22(2), 110A-115.
- Authority, C. A. S. (2014). Biomathematical Fatigue Models. *Civil Aviation Safety Authority*.
- Aykin, N. M., & Aykin, T. (1991). Individual differences in human-computer interaction. *Computers & industrial engineering*, 20(3), 373-379.
- Bach, C., & Scapin, D. L. (2005). Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels : définitions, justifications et exemples.

- Barclay, N. L., & Myachikov, A. (2017). Sustained wakefulness and visual attention: moderation by chronotype. *Experimental brain research*, 235(1), 57-68.
- Barclay, N. L., Eley, T. C., Parsons, M. J., Willis, T. A., & Gregory, A. M. (2013). Monozygotic twin differences in non-shared environmental factors associated with chronotype. *Journal of biological rhythms*, 28(1), 51-61.
- Barthe, B., Gadbois, C., Prunier-Poulmaire, S., & Quéinnec, Y. (2004). Travailler en horaires atypiques. In *Ergonomie* (pp. 129-144). PUF Paris.
- Bass, Len & Faneuf, R. & Little, Reed & Mayer, N. & Pellegrino, B. & Reed, S. & Seacord, S. & Sheppard, S. & Szczur, M.. (1992). *A metamodel for the runtime architecture of an interactive system*. ACM Sigchi Bulletin.
- Bedny, G., & Meister, D. (1999). Theory of activity and situation awareness. *International Journal of cognitive ergonomics*, 3(1), 63-72.
- Bennett, C. L., Petros, T. V., Johnson, M., & Ferraro, F. R. (2008). Individual differences in the influence of time of day on executive functions. *The American journal of psychology*, 349-361.
- Berthelon, C., & Galy, E. (2018, October). Can the effect of low doses of alcohol on subjective and physiological alertness of young drivers be balanced by effort?.
- Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & behavior*, 90(2-3), 196-208.
- Bloch, V. (1966). Les niveaux de vigilance et l'attention, in Fraisse, P. et coll., *Traité de psychologie expérimentale*, Paris : PUF, 1973, 3, 83-130.
- Boyer, S. (2009). *Contribution de l'analyse du signal vocal à la détection de l'état de somnolence et du niveau de charge mentale*. (Doctoral dissertation).
- Briganti, A. M. (2013). *Time of day preferences and resource allocation* (Thèse de doctorat). LSU, Louisiana
- Briganti, A. M. (2013). *Time of day preferences and resource allocation* (Thèse de doctorat). LSU, Louisiana
- Bruck, D., & Pisani, D. L. (1999). The effects of sleep inertia on decision-making performance. *Journal of sleep research*, 8(2), 95-103.
- Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. *User modeling and user-adapted interaction*, 11(1-2), 87-110.

- Byun, H. E., & Cheverst, K. (2004). Utilizing context history to provide dynamic adaptations. *Applied Artificial Intelligence*, 18(6), 533-548.
- Cain, B. (2007). *A review of the mental workload literature*. Defence Research And Development Toronto (Canada).
- Cak, S., Say, B., & Misirlisoy, M. (2019). Effects of working memory, attention, and expertise on pilots' situation awareness. *Cognition, Technology & Work*, 1-10.
- Calvary, G., & Coutaz, J. (2002). Plasticité des Interfaces: une nécessité. *Information-Interaction-Intelligence, Actes des deuxièmes Assises nationales du GDR I*, 3, 247-261.
- Camara, F., Calvary, G., Demumieux, R., & Ganneau, V. (2010). Premiers retours d'expérience sur l'utilisabilité et les usages de systèmes interactifs plastiques.
- Carciofo, R., Du, F., Song, N., & Zhang, K. (2014). Chronotype and time-of-day correlates of mind wandering and related phenomena. *Biological Rhythm Research*, 45(1), 37-49.
- Carvalho, F. G., Hidalgo, M. P., & Levandovski, R. (2014). Differences in circadian patterns between rural and urban populations: an epidemiological study in countryside. *Chronobiology international*, 31(3), 442-449.
- Caserta, R. J., & Abrams, L. (2007). The relevance of situation awareness in older adults' cognitive functioning: A review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 4(1), 3.
- Cazabat, S., Barthe, B., & Cascino, N. (2008). Charge de travail et stress professionnel: deux facettes d'une même réalité?. Étude exploratoire dans un service de gérontologie. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (10-1).
- Chalandon, X. (1998) - Situation Awareness : de la perception à la conscience de la situation – Etude de la régulation d'une situation tactique par des pilotes de combat". Mémoire de DEA d'Ergonomie. EPHE.
- Chalandon, X. (2003). Situation awareness en conception système. In *Actes du Colloque EPIQUE*.
- Chalandon, X. (2007). Conscience de la situation: invariants internes et invariants externes.
- Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: a systematic review. *Applied ergonomics*, 74, 221-232.
- Chauvin, C. (2010). Le facteur humain et la sécurité maritime. *Revue Maritime*, (489), 14.

- Chauvin, C., Clostermann, J. P., & Hoc, J. M. (2008). Situation awareness and the decision-making process in a dynamic situation: avoiding collisions at sea. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 2(1), 1-23.
- Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 26-37.
- Chen, Y. V., Qian, Z. C., & Lei, W. T. (2016, June). Designing a situational awareness information display: Adopting an affordance-based framework to amplify user experience in environmental interaction design. In *Informatics* (Vol. 3, No. 2, p. 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Ciaramella, A., & Vettigli, G. (2013). Machine Learning and Soft Computing Methodologies for Music Emotion Recognition. In *Neural Nets and Surroundings* (pp. 427-436). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Coutaz, J., & Calvary, G. (2012). HCI and software engineering for user interface plasticity.
- Damasio A., *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*, Paris, Odile Jacob, 1994.
- de MONTMOLLIN, M. (Ed.). 2007. *Vocabulaire de l'ergonomie*. Toulouse : Octares Edition.
- de Winter, J. C., Eisma, Y. B., Cabrall, C. D. D., Hancock, P. A., & Stanton, N. A. (2019). Situation awareness based on eye movements in relation to the task environment. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 99-111.
- Debroise, X. (2010). *Erreurs humaines en aéronautique: une étude du lien entre attention et erreurs* (Doctoral dissertation, Bordeaux 2).
- Dejonghe, D., & Greco, L. (2015). *Rééducation attentionnelle chez sept patients cérébrlésés adultes: intérêt du logiciel Cogniplus* (Doctoral dissertation).
- Delannoy, J. (2016). *Emotions et Sommeil Effets d'une induction émotionnelle diurne sur le sommeil et la réactivité émotionnelle au réveil*. (Doctoral dissertation).
- Dey, A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal and ubiquitous computing*, 5(1), 4-7.
- Di Nocera, F., Mastrangelo, S., Colonna, S. P., Steinhage, A., Baldauf, M., & Kataria, A. (2016). Mental workload assessment using eye-tracking glasses in a simulated maritime scenario. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*.

- Díaz-Morales, J. F., & Escribano, C. (2013). Circadian preference and thinking styles: Implications for school achievement. *Chronobiology international*, 30(10), 1231-1239.
- Díaz-Morales, J. F., & Sánchez-López, M. P. (2005). Composite scales of morningness and preferences: preliminary validity data in Peruvian undergraduates. *Ergonomics*, 48(4), 354-363.
- Díaz-Morales, J. F., de Leon, M. C. D., & Sorroche, M. G. (2007). Validity of the morningness-eveningness scale for children among Spanish adolescents. *Chronobiology international*, 24(3), 435-447.
- Dillon, A., & Watson, C. (1996). User analysis in HCI: the historical lesson from individual differences research.
- Dinges, D. F., & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior research methods, instruments, & computers*, 17(6), 652-655.
- Dorrian, J., McLean, B., Banks, S., & Loetscher, T. (2017). Morningness/eveningness and the synchrony effect for spatial attention. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 401-405.
- Dragicevic, P. (2005, juillet 22). Les modèles d'interface de référence. Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse [https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/48279/filename/2\\_2modelesinterface\\_referen.html](https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/48279/filename/2_2modelesinterface_referen.html)
- Duffy, E. (1962). *Activation and behaviour*, New York, J. Wiley
- Endsley, M. R. (1993). A survey of situation awareness requirements in air-to-air combat fighters. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 157-168.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in. *HUMAN FACTORS*, 37(1), 32-64.
- Endsley, M. R. (2015). Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4-32.
- Endsley, M. R. (2017). Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. In *Situational Awareness* (pp. 129-156). Routledge.
- Endsley, M. R., B. Bolte and D. G. Jones. 2003. *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*. London; NY: Taylor Francis.
- Endsley, M.R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement* (pp.1–21). Mahwah, NJ:Erlbaum.
- Escribano, C., & Díaz-Morales, J. F. (2016). Are achievement goals different among morning and evening-type adolescents?. *Personality and Individual Differences*, 88, 57-61.

- Euzenat, J., Pierson, J., & Ramparany, F. (2006, January). Gestion dynamique de contexte pour l'informatique pervasive.
- Feltman, K. A. (2016). The effects of time of day and circadian rhythm on performance during variable levels of cognitive workload (Doctoral dissertation)
- Fernandes, A., & Braarud, P. Ø. (2015). Exploring measures of workload, situation awareness, and task performance in the main control room. *Procedia Manufacturing*, 3, 1281-1288.
- Fischer, G. (2001). User modeling in human–computer interaction. *User modeling and user-adapted interaction*, 11(1-2), 65-86.
- Folkard, S. (1981). Shiftwork and performance. In L. C. Johnson, D. I. Tepas, W. P. Colquhoun, & M. J. Colligan (Eds.), *Biological rhythms, sleep and shiftwork, Advances in sleep research* (pp. 283-305). Lancaster : M.T.P. Press Limited.
- Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Prinzl, L. J., & Scerbo, M. W. (1999). Evaluation of an adaptive automation system using three EEG indices with a visual tracking task. *Biological psychology*, 50(1), 61-76.
- Gadbois, C., & Queinnec, Y. (1984). Travail de nuit, rythmes circadiens et régulation des activités. *Le travail humain*, 47(3), 195-225.
- Gaillard, A. W. K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 36(9), 991-1005.
- Galy, E. (2002). *Fluctuations circadiennes des performances de mémorisation et de discrimination chez des travailleurs postés: rôle de la modalité perceptive et du niveau de vigilance* (Doctoral dissertation, Toulouse 2).
- Galy, E. (2013). *Temps de travail pour tant de travail* (Synthèse d'habilitation à diriger des recherches). UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE, Aix-en-Provence.
- Galy, E. (2016). Approche intégrative de la charge mentale de travail: une échelle d'évaluation basée sur le modèle ICA (Individu–Charge–Activité).
- Galy, É., & Gaudin, C. (2014). Vigilance et tension : effet de l'organisation du travail et de la perception de la situation de travail. *Le travail humain*, 77(4), 301-323.
- Galy, E., & Mélan, C. (2015). Effects of cognitive appraisal and mental workload factors on performance in an arithmetic task. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 40(4), 313-325.



- Ganneau, V., Demumieux, R., Calvary, G., & Camara, F. (2014). Premiers retours d'expérience sur l'utilisabilité et les usages de systèmes interactifs plastiques. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 1.
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. *Hilldale, USA*, 1(2).
- Goubet, L. (2014). Quelles sont les conséquences des horaires postés, au cours des stages, sur le sommeil et le mode de vie des étudiants sages-femmes?.
- Gould, K. S., Røed, B. K., Koefoed, V. F., Bridger, R. S., & Moen, B. E. (2006). Performance-shaping factors associated with navigation accidents in the Royal Norwegian Navy. *Military Psychology*, 18(sup1), S111-S129.
- Greicius, M. D., & Menon, V. (2004). Default-mode activity during a passive sensory task: uncoupled from deactivation but impacting activation. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(9), 1484-1492.
- Greicius, M. D., Kiviniemi, V., Tervonen, O., Vainionpää, V., Alahuhta, S., Reiss, A. L., & Menon, V. (2008). Persistent default-mode network connectivity during light sedation. *Human brain mapping*, 29(7), 839-847.
- Hasher, L., Goldstein, D., & May, C. P. (2005). It's About Time: Circadian Rhythms, Memory, and Aging. *Health Care*, 20(1), 15-24.
- Hendy, K. C. (1995). *Situation awareness and workload: Birds of a feather?*. Defence and Civil Institute of Environmental Medicine.
- Herder, E. (2003, June). Utility-based evaluation of adaptive systems. In *the proceedings of the Second Workshop on Empirical Evaluation of Adaptive Systems, at the 9th International Conference on User Modeling, UM2003, Pittsburg, USA, pp. 25Y30*.
- Hermitte, Y. (2017). *Approche chronopsychologique de la conduite automobile: effet du moment de la journée sur les performances attentionnelles et de conduite simulée selon l'âge, le sexe et la typologie des conducteurs* (Doctoral dissertation).
- Hickie, I. B., Naismith, S. L., Robillard, R., Scott, E. M., & Hermens, D. F. (2013). Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression. *BMC medicine*, 11(1), 79.
- Hilditch, C. J., Dorrian, J., & Banks, S. (2016). Time to wake up: reactive countermeasures to sleep inertia. *Industrial health*, 2015-0236.

- Hilditch, C. J., Dorrian, J., Centofanti, S. A., Van Dongen, H. P., & Banks, S. (2017). Sleep inertia associated with a 10-min nap before the commute home following a night shift: A laboratory simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 411-415.
- Holden, R. J., Scanlon, M. C., Patel, N. R., Kaushal, R., Escoto, K. H., Brown, R. L., et al. (2011). A human factors framework and study of the effect of nursing workload on patient safety and employee quality of working life. *BMJ quality & safety*, 20(1), 15-24.
- Horne, J. A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International journal of chronobiology*.
- Hornik, J., & Miniero, G. (2009). Synchrony effects on customers' responses and behaviors. *International Journal of Research in Marketing*, 26(1), 34-40.
- Hudlicka, E., & Mcneese, M. D. (2002). Assessment of user affective and belief states for interface adaptation: Application to an Air Force pilot task. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(1), 1-47.
- Hursh, S., Redmond, D., Johnson, M., Thorne, D., Belenky, G., Balkin, T., Storm, W., Miller, J., Eddy, D., 2004. Fatigue models for applied research in warfighting. *Aviation Space Environ. Med.* 75 (3), A44– A56
- Inocente, C. O. (2015). *Narcolepsie chez l'enfant: caractéristiques cliniques et approches thérapeutiques* (Doctoral dissertation, Lyon 1).
- INSTITUT NATIONAL DU SOMMEIL ET DE LA VIGILANCE (INSV). Trouble de la vigilance : une menace ignorée. [Consulté sur : <https://institut-sommeil-vigilance.org/les-troubles-de-la-vigilance/> en janvier 2020]
- Ishee, J. H., & Titlow, L. W. (1986). Diurnal variations in physical performance. *Perceptual and motor skills*, 63(2), 835-838.
- Izzetoglu, M., Bunce, S. C., Izzetoglu, K., Onaral, B., & Pourrezaei, K. (2007). Functional brain imaging using near-infrared technology. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 26(4), 38.
- Jameson, A. (2001, December). User-adaptive and other smart adaptive systems: Possible synergies. In *Proceedings of the first EUNITE Symposium* (pp. 13-14).
- Jameson, A. (2002). Adaptive interfaces and agents. *Humancomputer interaction handbook*, A. Sears, ed.



- Jameson, A. (2009). Adaptive interfaces and agents.(A. Sears & JA Jacko, Eds.) HumanComputer Interaction Design Issues Solutions and Applications, 105-130.
- Jankowski, K. S. (2015). Composite Scale of Morningness: psychometric properties, validity with Munich ChronoType Questionnaire and age/sex differences in Poland. *European Psychiatry*, 30(1), 166-171.
- Johannsdottir, D., Run, K., Herdman, D., Chris, M., & LeFevre, D. (2005). The role of working memory in maintaining situation awareness. In *2005 International Symposium on Aviation Psychology* (p. 333).
- Kaber, D. B., & Endsley, M. R. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(2), 113-153.
- Kaber, D. B., & Prinzl III, L. J. (2006). *Adaptive and adaptable automation design: A critical review of the literature and recommendations for future research.*
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Vol. 1063). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux. ISBN 978-1-4299-6935-2
- Kim, J., Lee, A., & Ryu, H. (2013). Personality and its effects on learning performance: Design guidelines for an adaptive e-learning system based on a user model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(5), 450-461.
- Koch, B. C., Nagtegaal, J. E., Kerkhof, G. A., & Ter Wee, P. M. (2009). Circadian sleep–wake rhythm disturbances in end-stage renal disease. *Nature Reviews Nephrology*, 5(7), 407.
- Koch, B. C., Van der Putten, K., Van Someren, E. J., Wielders, J. P., Ter Wee, P. M., Nagtegaal, J. E., & Gaillard, C. A. (2010). Impairment of endogenous melatonin rhythm is related to the degree of chronic kidney disease (CREAM study). *Nephrology Dialysis Transplantation*, 25(2), 513-519.
- Kokar, M. M., Matheus, C. J., & Baclawski, K. (2009). Ontology-based situation awareness. *Information fusion*, 10(1), 83-98.
- Kontrymowicz-Ogińska, H. (2012). Chronotype–Behavioural Aspects, Personality Correlates, Health Consequences.
- Lamont EW, Amir S. Circadian and Ultradian Clocks/Rhythms. In: George FK, Michel Le M, Richard FT, editors. *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*. Oxford: Academic Press; 2010. p. 257-261.

- Lancelot, R., & Lesnoff, M. (2005). Sélection de modèles avec l'AIC et critères d'information dérivés. *CIRAD, Montpellier*.
- Leconte, P. (1988). Les rythmicités de l'efficacité cognitive. *L'Année psychologique, 88(2)*, 215-236.
- Leconte-Lambert, C. (1985). Vigilance et cognition: approche chronopsychologique de l'attention (Doctoral dissertation, Lille 3).
- Lee, H. J., Rex, K. M., Nievergelt, C. M., Kelsoe, J. R., & Kripke, D. F. (2011). Delayed sleep phase syndrome is related to seasonal affective disorder. *Journal of affective disorders, 133(3)*, 573-579.
- Lenné, M. G., Triggs, T. J., & Redman, J. R. (1997). Time of day variations in driving performance. *Accident Analysis & Prevention, 29(4)*, 431-437.
- Leplat, J. (2002). Eléments pour une histoire de la notion de charge mentale. In M. Jourdan & J. Theureau (Eds.), *Charge mentale: notion floue et vrai problème*. Toulouse: Octarès.
- Levandovski, R., Sasso, E., & Hidalgo, M. P. (2013). Chronotype: a review of the advances, limits and applicability of the main instruments used in the literature to assess human phenotype. *Trends in psychiatry and psychotherapy, 35(1)*, 3-11.
- Lim, L., & Turk, A. (1999). Individual differences and human computer interaction.
- Lim, Y., Gardi, A., Sabatini, R., Ramasamy, S., Kistan, T., Ezer, N., et al. (2018). Avionics human-machine interfaces and interactions for manned and unmanned aircraft. *Progress in Aerospace Sciences, 102*, 1-46.
- Macdonald, W., & Bendak, S. (2000). Effects of workload level and 8-versus 12-h workday duration on test battery performance. *International Journal of Industrial Ergonomics, 26(3)*, 399-416.
- Mairesse, F., & Walker, M. A. (2010). Towards personality-based user adaptation: psychologically informed stylistic language generation. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 20(3)*, 227-278.
- Marlot, S. Berrez, D. Pelisse, B. Mauvieux, Chronobiologic perspectives of black
- Marmaras, N., & Kontogiannis, T. (2001). Cognitive task. *Handbook of industrial engineering, 1013-1040*.
- Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of eye-related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing, 3*, 2854-2861.

- Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of eye-related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing*, 3, 2854-2861.
- Martin, P. Y., & Marrington, S. (2005). Morningness–eveningness orientation, optimal time-of-day and attitude change: Evidence for the systematic processing of a persuasive communication. *Personality and Individual Differences*, 39(2), 367-377.
- Martino, M. M. F. D., Pasetti, K. F. D. M., & Ceolim, M. F. (2010). Morningness/eveningness chronobiological assessment of Dental students: chronotype. *Sleep science*, 3(1), 7-10.
- Massachusetts Institute of Technology. (s. d.). MIT Media Lab: Affective Computing Group. Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse <https://affect.media.mit.edu>
- Maury, P., & Queinnec, Y. (1992). Influence of time of 24-hour day on depth of processing in recall memory. *British journal of psychology*, 83(2), 249-260.
- May, C. P. (1999). Synchrony effects in cognition: The costs and a benefit. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(1), 142-147.
- May, C. P., Hasher, L., & Stoltzfus, E. R. (1993). Optimal time of day and the magnitude of age differences in memory. *Psychological Science*, 4(5), 326-330.
- McCarley, J. S., Wickens, C. D., Goh, J., & Horrey, W. J. (2002, September). A computational model of attention/situation awareness. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 46, No. 17, pp. 1669-1673). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- McElroy, T., & Mosteller, L. (2006). The influence of circadian type, time of day and class difficulty on students' grades.
- McGuinness, B., & Ebbage, L. (2002). *Assessing human factors in command and control: workload and situational awareness metrics*. BAE SYSTEMS BRISTOL (UNITED KINGDOM) ADVANCED TECHNOLOGY CENTRE.
- Mckiernan, K. A., Kaufman, J. N., Kucera-Thompson, J., & Binder, J. R. (2003). A parametric manipulation of factors affecting task-induced deactivation in functional neuroimaging. *Journal of cognitive neuroscience*, 15(3), 394-408.
- Meite, A. (2009). *Approche chronopsychologique de la conduite automobile: effet du moment de la journée sur les performances attentionnelles et de conduite simulée selon l'âge, le sexe et la typologie des conducteurs* (Doctoral dissertation, Tours).

- Miller, C. A. (1999). Bridging the information transfer gap: Measuring goodness of information fit. *Journal of Visual Languages & Computing*, 10(5), 523-558.
- Montmollin, M. (2007). *Vocabulaire de l'Ergonomie*. (2aed.) Toulouse. France : Éditions Octarès.
- Morris, D. M., Pilcher, J. J., Mulvihill, J. B., & Vander Wood, M. A. (2017). Performance awareness: Predicting cognitive performance during simulated shiftwork using chronobiological measures. *Applied ergonomics*, 63, 9-16.
- Mostafa, M., Crick, T., Calderon, A. C., & Oatley, G. (2016, December). Incorporating emotion and personality-based analysis in user-centered modelling. In *International conference on innovative techniques and applications of artificial intelligence* (pp. 383-389). Springer, Cham.
- Mouloua, M., Gilson, R., Kring, J., & Hancock, P. (2001, October). Workload, situation awareness, and teaming issues for UAV/UCAV operations. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 45, No. 2, pp. 162-165). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Myers, B., Hollan, J., Cruz, I., Bryson, S., Bulterman, D., Catarci, T., ... & Ioannidis, Y. (1996). Strategic directions in human-computer interaction. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(4), 794-809.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology* freeman: san francisco.
- Newell, A., & Card, S. K. (1985). The prospects for psychological science in human-computer interaction. *Human-computer interaction*, 1(3), 209-242.
- Noldus. (s. d.). The Observer XT. Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse <https://www.noldus.com/content/whats-new-observer-xt-11>
- Nowack, K., & Van Der Meer, E. (2018). The synchrony effect revisited: chronotype, time of day and cognitive performance in a semantic analogy task. *Chronobiology international*, 35(12), 1647-1662.
- O'Brien, H. L., Dickinson, R., & Askin, N. (2017). A scoping review of individual differences in information seeking behavior and retrieval research between 2000 and 2015. *Library & Information Science Research*, 39(3), 244-254.

OBS Studio. (s. d.). Open Broadcaster Software | OBS. Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse <https://obsproject.com/fr>

OMI. (2019, Janvier). Directives sur la Fatigue. Seaways, 7-9

Özcan, O. O., Çakır, M. P., & Say, B. (2013). Exploring the Effects of Working Memory Capacity, Attention, and Expertise on Situation Awareness in a Flight Simulation Environment. In *17th International Symposium on Aviation Psychology* (p. 98).

Parasuraman, R., Cosenzo, K. A., & De Visser, E. (2009). Adaptive automation for human supervision of multiple uninhabited vehicles: Effects on change detection, situation awareness, and mental workload. *Military Psychology, 21*(2), 270-297.

Paxion, J. (2014). *Complexité des situations, expérience, tension et vigilance: quels impacts sur la charge de travail et les performances de jeunes conducteurs?* (Doctoral dissertation).

Peter-Derex, L. (2016). *Les micro-éveils chez l'homme : étude par enregistrements intracérébraux.* (Doctoral dissertation).

Piffer, D., Ponzi, D., Sapienza, P., Zingales, L., & Maestripieri, D. (2014). Morningness–eveningness and intelligence among high-achieving US students: night owls have higher GMAT scores than early morning types in a top-ranked MBA program. *Intelligence, 47*, 107-112.

Pope, D. R. (2011). *The effects, in healthy adults, of 'morningness-eveningness' on information processing speeds for visual and auditory input: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.) in Psychology at Massey University, Albany, New Zealand* (Doctoral dissertation, Massey University).

Preckel, F., Lipnevich, A. A., Schneider, S., & Roberts, R. D. (2011). Chronotype, cognitive abilities, and academic achievement: A meta-analytic investigation. *Learning and Individual Differences, 21*(5), 483-492.

Prinzel III, L. J., & Kaber, D. B. (2006). Adaptive and Adaptable Automation Design: A Critical Review of the Literature and Recommendations for Future Research.

Quistrebert-Davanne, V., Labat, J. J., & Nizard, J. (2016). Biais attentionnel chez le patient douloureux chronique. Nature, évaluation et intérêts clinique et thérapeutique. *Douleur et Analgésie, 29*(1), 48-56.

© Propriété Naval Group SA (2020), tous droits réservés

- Ramdani Beauvir, C. (2013). *Effets de la vigilance sur le contrôle de l'erreur chez l'homme: études comportementales et électrophysiologiques* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).
- Rasmussen, J., 1986. *Information Processing and Human–Machine Interaction: An approach to Cognitive Engineering*. NorthHolland, New York.
- Rasolofoarison, D. (2011). *Influence de la fatigue du consommateur sur le processus de traitement visuel d'une publicité* (Doctoral dissertation, Jouy-en Josas, HEC).
- Reinberg A, Smolensky MH, Riedel M, et al. (2015). Chronobiologic perspectives of Black Time –Accident risk is greatest at night: An opinion paper. *Chronobiol Int.* 32:1005–18
- Roberts, T. L., & Moran, T. P. (1983). The evaluation of text editors: methodology and empirical results. *Communications of the ACM*, 26(4), 265-283.
- Rochon, P. (2011). *Rythme de la vigilance et de la cognition* (Doctoral dissertation, Bordeaux 2).
- Roenneberg, T., & Merrow, M. (2007, January). Entrainment of the human circadian clock. In *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology* (Vol. 72, pp. 293-299). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Roenneberg, T., Kuehnle, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Merrow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current biology*, 14(24), R1038-R1039.
- Rothrock, L., Koubek, R., Fuchs, F., Haas, M., & Salvendy, G. (2002). Review and reappraisal of adaptive interfaces: toward biologically inspired paradigms. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(1), 47-84.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), 1161.
- Russell, J. A., & Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: dissecting the elephant. *Journal of personality and social psychology*, 76(5), 805.
- Saisema, J., Johns, J., Chokchisiriwatt, D., Areeyawongsatit, T., & Johns, N. P. THE RELATIONSHIP OF CHRONOTYPE AND SLEEP QUALITY OF UNIVERSITY STUDENTS.
- Salmon P., Neville, M., Stanton, A., Ladva, D., Jenkins, D.P., Walker, G.H. and Rafferty, L. (2007). *Measuring Situation Awareness during Command and Control Activity: A Comparison of Brunel University Measures Study Human Factors Integration Defence Technology Centre 2007, HFIDTC/2/1.2.5/3, Version 2/ 25 September 2007.*



- Salmon, P.M. (2008). Measuring Situation Awareness during Command and Control Activity : A Comparison of Measures Study.
- Schimmack, U., & Reisenzein, R. (2002). Experiencing activation: Energetic arousal and tense arousal are not mixtures of valence and activation. *Emotion*, 2(4), 412.
- Shawa, N., Rae, D. E., & Roden, L. C. (2018). Impact of seasons on an individual's chronotype: current perspectives. *Nature and science of sleep*, 10, 345.
- Simonin, J., & Carbonell, N. (2007). Interfaces adaptatives Adaptation dynamique à l'utilisateur courant. *arXiv preprint arXiv:0708.3742*.
- Simple Effects, Simple Contrasts, and Main Effect Contrasts. (s. d.). Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse <https://www.semanticscholar.org/paper/Simple-Effects%2C-Simple-Contrasts%2C-and-Main-Effect/73a9994f031239115264556fbd3adb524f3>
- Sirkin, D., Martelaro, N., Johns, M., & Ju, W. (2017, May). Toward measurement of situation awareness in autonomous vehicles. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 405-415).
- Smith, K., & Hancock, P. A. (1995). Situation awareness is adaptive, externally directed consciousness. *Human factors*, 37(1), 137-148.
- Song, J., Feng, P., Zhao, X., Xu, W., Xiao, L., Zhou, J., & Zheng, Y. (2018). Chronotype regulates the neural basis of response inhibition during the daytime. *Chronobiology international*, 35(2), 208-218.
- Stanners, M., & French, H. T. (2005). *An empirical study of the relationship between situation awareness and decision making* (No. DSTO-TR-1687). DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION EDINBURGH (AUSTRALIA) LAND OPERATIONS DIV.
- Stanton, N. A., Chambers, P. R., & Piggott, J. (2001). Situational awareness and safety. *Safety science*, 39(3), 189-204.
- Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Salas, E., & Hancock, P. A. (2017). State-of-science: situation awareness in individuals, teams and systems. *Ergonomics*, 60(4), 449-466.
- STATISTICA. (s. d.). Test de Bonferroni. Consulté le 17 mars 2020, à l'adresse <https://www.statsoft.fr/concepts-statistiques/glossaire/t/test-bonferroni.html>

- Sulistyawati, K., Wickens, C. D., & Chui, Y. P. (2011). Prediction in situation awareness: Confidence bias and underlying cognitive abilities. *International Journal of Aviation Psychology*, 21, 153–174.
- Tarpin-Bernard, F. (2006). *Interaction homme-machine adaptative* (Doctoral dissertation).
- Taylor, R.M. (1990) – Situation Awareness Rating Technique : the development of a tool for aircrew system design. In AGARD conference proceedings 478 Situational Awareness in Aerospace Operations. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Testu F. — (1989) Chronopsychologie et rythmes scolaires, Paris, Masson.
- Testu, F. (1979). Les rythmes scolaires. *Revue française de pédagogie*, 47-58.
- Thayer, R. E. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. Oxford University Press.
- Thayer, R. E. (1990). *The biopsychology of mood and arousal*. Oxford University Press.
- Thevenin, D. (2001). *Adaptation en Interaction Homme-Machine: le cas de la Plasticité* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Thevenin, D., Calvary, G., & Coutaz, J. (1999). La plasticité en interaction homme-machine. In *Actes IHM99, Actes de 11ème Conférence Francophone Interaction Homme-Machine (Montpellier, 22-26 novembre)* (pp. 152-155).
- Thevenin, D., & Coutaz, J. (1999, March). Adaptation and plasticity of user interfaces. In *Workshop on Adaptive Design of Interactive Multimedia Presentations for Mobile Users* (pp. 7-10).
- Tirilly, G. (2005). Horaires de travail, sommeil et vigilance chez les marins : quelles incidences sur les risques d'accidents en mer?. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (7-1).
- Totterdell, P., & Rautenbach, P. (1990). Adaptation as a problem of design. In *Adaptive user interfaces* (pp. 59-84). Academic Press.
- Tsang, P. S., & Vidulich, M. A. (2006). Mental workload and situation awareness.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *science*, 185(4157), 1124-1131.
- Van Elslande, P., Jaffard, M., Fouquet, K., & Fournier, J. Y. (2009). De la vigilance à l'attention: influence de l'état psychophysique et cognitive du conducteur dans les mécanismes d'accidents'. *Salon-de-Provence: INRETS report*, (280).



- Vatanever, D., Menon, D. K., & Stamatakis, E. A. (2017). Default mode contributions to automated information processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(48), 12821-12826.
- Via, E. (2017, October). Chief of Naval Operations: Memorandum with Enclosures' Report on the Collision between USS FITZGERALD (DDG 62) and Motor Vessel ACX CRYSTAL'and'Report on the Collision between USS JOHN S MCCAIN (DDG 56) and Motor Vessel ALNIC MC'. In *United States. Office of the Chief of Naval Operations*. United States. Office of the Chief of Naval Operations.
- Vidulich, M. A., & Tsang, P. S. (2015). The confluence of situation awareness and mental workload for adaptable human-machine systems. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 95-97.
- Walkowiak, S., Foulsham, T., & Eardley, A. F. (2015). Individual differences and personality correlates of navigational performance in the virtual route learning task. *Computers in Human Behavior*, 45, 402-410.
- Walse, K. H., Dharaskar, R. V., & Thakare, V. M. (2012). Frame work for adaptive mobile interface: an overview. In *IJCA Proceedings on National Conference on Innovative Paradigms in Engineering and Technology (NCIPET 2012) vol (Vol. 14, pp. 27-30)*.
- Wei, Z., Zhuang, D., Wanyan, X., Liu, C., & Zhuang, H. (2014). A model for discrimination and prediction of mental workload of aircraft cockpit display interface. *Chinese Journal of Aeronautics*, 27(5), 1070-1077.
- Weinbach, N., & Henik, A. (2012). The relationship between alertness and executive control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(6), 1530.
- White, E. J., McMahon, M., Walsh, M. T., Coffey, J. C., & Leonard, O. (2018). Toward a model of human information processing for decision-making and skill acquisition in laparoscopic colorectal surgery. *Journal of surgical education*, 75(3), 749-757.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 159-177.
- Wickens, C. D. (2002). Situation awareness and workload in aviation. *Current directions in psychological science*, 11(4), 128-133.
- Wickens, C. D., McCarley, J. S., Alexander, A. L., Thomas, L. C., Ambinder, M., & Zheng, S. (2007). Attention-situation awareness (A-SA) model of pilot error. In *Human Performance Modeling in Aviation* (pp. 221-247). CRC Press.
- Wickens, C.D. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance*. New York: HarperCollins.

- Williams, E. J., Morgan, P. L., & Joinson, A. N. (2017). Press accept to update now: Individual differences in susceptibility to malevolent interruptions. *Decision Support Systems*, 96, 119-129.
- Wilson, G. F., & Russell, C. A. (2007). Performance enhancement in an uninhabited air vehicle task using psychophysiological determined adaptive aiding. *Human factors*, 49(6), 1005-1018.
- Wittmann, M., Dinich, J., Merrow, M., & Roenneberg, T. (2006). Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiology international*, 23(1-2), 497-509.
- Wu, Y., Miwa, T., & Uchida, M. (2017). Using physiological signals to measure operator's mental workload in shipping—an engine room simulator study. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 16(2), 61-69.
- Xhelilaj, E., & Lapa, K. (2010). The role of human fatigue factor towards maritime casualties. *Universitatii Maritime Constanta. Analele*, 11(13), 23.
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: new perspectives on mental underload and performance. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 178-194.
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Malleable attentional resources theory: a new explanation for the effects of mental underload on performance. *Human factors*, 44(3), 365-375.
- Yu, W. (2007). Characterization of Anesthetic Depth utilizing (Neuroscience Undergraduate Thesis).

# ANNEXES

---



Non sensible Naval Group SA  
Accord de collaboration n° # 6458774

## Annexe 1. Résultats des médiations sur le Temps de réaction.

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ MoyennesRT	0,005 20	0,105 1	- 0,200 8	0,211 2	0,002 27	0,049 5	0,96 1
	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	- 0,057 45	0,063 6	- 0,182 0	0,067 1	- 0,025 10	- 0,903 8	0,36 6
	Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ MoyennesRT	0,290 12	0,129 9	0,035 5	0,544 8	0,125 52	2,233 0	0,02 6
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	- 0,007 62	0,028 7	- 0,063 9	0,048 6	- 0,003 30	- 0,265 6	0,79 1
	Momentdelajournée ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	0,013 79	0,024 0	- 0,033 2	0,060 8	0,007 26	0,574 8	0,56 5
	Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	0,024 28	0,031 2	- 0,036 9	0,085 5	0,012 82	0,778 1	0,43 6
	Momentdelajournée1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	0,017 48	0,026 3	- 0,034 0	0,069 0	0,009 25	0,665 0	0,50 6
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	0,032 01	0,042 1	- 0,050 4	0,114 5	0,013 98	0,760 9	0,44 7
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT	0,063 64	0,069 3	- 0,072 2	0,199 5	0,027 53	0,918 0	0,35 9
	Composant	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire	0,001 07	0,021 6	- 0,041 4	0,043 5	0,006 14	0,049 5
Diamètre pupillaire ⇒ MoyennesRT		4,855 17	1,253 7	2,397 9	7,312 4	0,370 19	3,872 6	<.00 1
Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart		0,314 51	0,149 7	0,021 1	0,607 9	0,248 57	2,101 0	0,03 6
Niveau de vigilance écart ⇒ MoyennesRT		- 0,182 66	0,182 4	- 0,540 2	0,174 9	- 0,100 98	- 1,001 2	0,31 7
Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire		0,059 75	0,021 9	0,016 9	0,102 6	0,339 06	2,733 1	0,00 6
Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart		0,041 73	0,151 5	- 0,255 1	0,338 6	0,032 66	0,275 5	0,78 3
Momentdelajournée1 ⇒ Niveau de vigilance écart		- 0,075 52	0,107 6	- 0,286 3	0,135 3	- 0,071 89	- 0,702 1	0,48 3

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
	Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart	0,132 95	0,107 5	- 0,343 7	0,077 8	- 0,126 98	- 1,236 6	0,21 6
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart	0,095 69	0,107 6	- 0,306 5	0,115 1	- 0,091 65	- 0,889 6	0,37 4
	Difficulte1:Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance écart	0,175 26	0,149 7	- 0,468 7	0,118 1	- 0,138 44	- 1,170 8	0,24 2
	Difficulte2:Chronotype1 $\Rightarrow$ Niveau de vigilance différentiel	0,348 39	0,151 5	- 0,645 2	- 0,051 5	- 0,272 64	- 2,300 2	0,02 1
Direct	Difficulte1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,737 35	0,249 7	0,248 0	1,226 7	0,322 17	2,953 4	0,00 3
	Difficulte2 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,317 70	0,254 6	- 0,816 6	0,181 2	- 0,137 45	- 1,248 0	0,21 2
	MomentdelajournÉe1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,186 55	0,172 8	- 0,152 1	0,525 2	0,098 17	1,079 7	0,28 0
	Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,131 62	0,174 6	- 0,210 6	0,473 8	0,069 50	0,753 8	0,45 1
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,123 75	0,173 1	- 0,463 0	0,215 5	- 0,065 52	- 0,714 9	0,47 5
	Difficulte1:Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,187 37	0,247 2	- 0,671 9	0,297 2	- 0,081 83	- 0,757 9	0,44 9
	Difficulte2:Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,183 70	0,251 7	- 0,309 6	0,677 0	0,079 48	0,729 9	0,46 5
Total	Difficulte1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,802 21	0,269 9	0,273 3	1,331 2	0,366 75	2,972 5	0,00 3
	Difficulte2 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,088 82	0,273 1	- 0,624 0	0,446 4	- 0,040 21	- 0,325 3	0,74 5
	MomentdelajournÉe1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,245 39	0,193 9	- 0,134 7	0,625 5	0,135 12	1,265 5	0,20 6
	Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,173 84	0,193 8	- 0,206 0	0,553 7	0,096 05	0,896 9	0,37 0
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,054 63	0,193 9	- 0,434 7	0,325 4	- 0,030 27	- 0,281 7	0,77 8
	Difficulte1:Chronotype1 $\Rightarrow$ MoyennesRT	0,157 69	0,269 9	- 0,686 6	0,371 3	- 0,072 06	- 0,584 3	0,55 9

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ MoyennedesRT	0,08833	0,2731	-0,4468	0,6235	0,03999	0,3235	0,746

Note. (a) Confidence intervals computed with method: Standard (Delta method)

## Annexe 2. Résultats des médiations sur le Nombre de collision.

Version score SA

Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ Nombredecollision	8,57e-4	0,0195	0,0391	0,03740	4,10e-4	0,0439	0,965
	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,17478	0,0959	0,0131	0,36269	0,08359	1,8231	0,068
	Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ Nombredecollision	0,05438	0,0730	0,1976	0,08879	0,02601	0,7445	0,457
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,03792	0,0774	0,1138	0,18963	0,01814	0,4900	0,624
	MomentdelajournÉe1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,05500	0,0574	0,1675	0,05749	0,03191	0,9582	0,338
	Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,04949	0,0568	0,1608	0,06186	0,02879	0,8711	0,384
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,03082	0,0554	0,1393	0,07770	0,01788	0,5566	0,578
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,10498	0,0839	0,2695	0,05950	0,05021	1,2509	0,211
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,19163	0,0994	0,3864	0,00312	0,09164	1,9286	0,054

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Component	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire	9,34e-4	0,0212	-0,0407	0,04256	0,00540	0,0440	0,965
	Diamètre pupillaire ⇒ Nombredecollision	0,91741	1,1876	-3,2451	1,41029	-0,07595	-0,7725	0,440
	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,34872	0,1524	0,0501	0,64733	0,26231	2,2889	0,022
	Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,50121	0,1662	0,1754	0,82703	0,31866	3,0150	0,003
	Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire	0,05928	0,0212	0,0176	0,10091	0,34244	2,7909	0,005
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,07567	0,1524	-0,2230	0,37432	0,05692	0,4966	0,619
	MomentdelajournÉe1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,10973	0,1086	-0,3225	0,10307	-0,10012	1,0106	0,312
	Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,09874	0,1085	-0,3114	0,11395	-0,09033	0,9099	0,363
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,06149	0,1086	-0,2743	0,15131	-0,05610	0,5663	0,571
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,20946	0,1524	-0,5081	0,08914	-0,15756	1,3749	0,169
Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,38233	0,1524	-0,6810	0,08367	-0,28759	2,5091	0,012	
Direct	Difficulte1 ⇒ Nombredecollision	0,02863	0,2332	-0,4284	0,48564	0,01369	0,1228	0,902
	Difficulte2 ⇒ Nombredecollision	0,83193	0,2367	0,3680	1,29586	0,39786	3,5147	<.001
	MomentdelajournÉe1 ⇒ Nombredecollision	0,06445	0,1651	-0,2591	0,38797	0,03739	0,3905	0,696
	Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	0,03665	0,1624	-0,3550	0,28168	-0,02132	0,2256	0,821
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	0,09698	0,1616	-0,4137	0,21975	-0,05626	0,6001	0,548
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	0,00507	0,2278	-0,4414	0,45158	0,00242	0,0222	0,982
	Difficulte2 : Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	0,06750	0,2407	-0,4044	0,53936	0,03228	0,2804	0,779



## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Total	Difficulte1 ⇒ Nombredecollision	0,2334 9	0,24 27	- 0,24 21	0,709 09	0,111 73	0,96 22	0,336
	Difficulte2 ⇒ Nombredecollision	0,8360 5	0,24 27	0,36 04	1,311 72	0,400 05	3,44 48	<,001
	MomentdelajournÉe1 ⇒ Nombredecollision	0,051 26	0,17 29	- 0,28 77	0,390 19	0,029 75	0,29 64	0,767
	Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	- 0,109 10	0,17 28	- 0,44 79	0,229 65	- 0,063 49	- 0,63 12	0,528
	MomentdelajournÉe1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	- 0,115 41	0,17 29	- 0,45 43	0,223 52	- 0,066 99	- 0,66 74	0,505
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	- 0,127 62	0,24 27	- 0,60 32	0,347 97	- 0,061 07	- 0,52 59	0,599
	Difficulte2 : Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	- 0,0250 6	0,24 27	- 0,50 07	0,450 61	- 0,011 99	- 0,10 33	0,918

Note. (a) Confidence intervals computed with method: Standard (Delta method)

## Version SA détaillée

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,1232	0,0825	- 0,038 5	0,2849	0,05754	1,4929	0,135
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	0,0443	0,0677	- 0,088 4	0,1770	0,02088	0,6539	0,513
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	- 0,0944	0,0762	- 0,243 7	0,0549	- 0,04408	- 1,2388	0,215
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	- 0,1603	0,0916	- 0,339 9	0,0192	- 0,07562	- 1,7506	0,080
Component	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart	- 0,2897	0,1556	- 0,594 6	0,0153	- 0,21717	- 1,8619	0,063

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p	
				Lower	Upper				
Direct	Niveau de vigilance écart ⇒ Nombredecollision	-0,4252	0,1702	-0,7587	-0,0916	0,26494	2,4983	0,012	
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart	-0,1041	0,1537	-0,4054	0,1971	0,07881	0,6775	0,498	
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,2220	0,1556	0,0830	0,5269	0,16639	1,4266	0,154	
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,3771	0,1537	0,0759	0,6784	0,28541	2,4536	0,014	
	Difficulte1 ⇒ Nombredecollision	0,0514	0,2419	-0,4227	0,5256	0,02404	0,2127	0,832	
	Difficulte2 ⇒ Nombredecollision	0,8726	0,2346	0,4127	1,3324	0,41151	3,7191	<,001	
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	-0,0136	0,2398	-0,4836	0,4564	0,00635	0,0566	0,955	
	Difficulte2 : Chronotype1 ⇒ Nombredecollision	0,1768	0,2426	-0,2987	0,6523	0,08338	0,7288	0,466	
	Total	Difficulte1 ⇒ Nombredecollision	0,1746	0,2474	-0,3104	0,6596	0,08157	0,7057	0,480
		Difficulte2 ⇒ Nombredecollision	0,9169	0,2444	0,4378	1,3960	0,43239	3,7508	<,001
Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombredecollision		-0,1079	0,2474	-0,5929	0,3770	0,05043	0,4363	0,663	
Difficulte2 : Chronotype1 ⇒ Nombredecollision		0,0165	0,2444	-0,4626	0,4956	0,00777	0,0674	0,946	

Note. (a) Confidence intervals computed with method: Standard (Delta method)

## Annexe 3. Résultats des médiations sur le Niveau de vigilance

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Difficulte1 $\Rightarrow$ Diamètre pupillaire $\Rightarrow$ Nombredelectardif	1.12e-4	0,002 6 4	- 0,005 0 6	0,005 2 9	8.16e-5	0,042 5	0,966
	Difficulte2 $\Rightarrow$ Diamètre pupillaire $\Rightarrow$ Nombredelectardif	0.0071 2	0.0432 2	- 0.0775 8	0.0918 2	0.0051 8	0.164 7	0.869
Compo- nent	Difficulte1 $\Rightarrow$ Diamètre pupillaire	9.34e-4	0,021 2 4	- 0,040 7 0	0,042 5 6	0,005 4 0	0,044 0	0,965
	Diamètre pupillaire $\Rightarrow$ Nombredelectar dif	0.1200 7	0.7277 6	- 1.3063 2	1.5464 6	0.0151 1	0.165 0	0.869
	Difficulte2 $\Rightarrow$ Diamètre pupillaire	0,059 2 8	0,021 2 4	0,017 6 5	0,100 9 1	0,342 4 4	2,790 9	0,005
Direct	Difficulte1 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	- 0.1794 6	0.1379 2	- 0.4497 8	0.0908 6	- 0.1304 8	- 1.301 2	0.193
	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	0.9309 6	0.1443 7	0.6480 0	1.2139 2	0.6768 9	6.448 4	<.00 1
Total	Difficulte1 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	- 0.1657 2	0.1393 4	- 0.4388 2	0.1073 8	- 0.1205 2	- 1.189 3	0.234
	Difficulte2 $\Rightarrow$ Nombredelectardif	0.9496 7	0.1393 4	0.6765 7	1.2227 7	0.6906 7	6.815 5	<.00 1

Note. (a) Confidence intervals computed with method: Standard (Delta method)

## Annexe 4. Résultats des médiations sur le Nombre de destructions avant 150 m

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Indirect	Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,04347	0,0551	-0,1514	0,0645	-0,05637	-0,789	0,430
	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	0,09552	0,0822	0,0657	0,2567	0,10914	1,161	0,246
	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,00558	0,0230	0,0506	0,0395	-0,00638	0,243	0,808
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	0,02031	0,0808	0,1381	0,1787	0,02050	0,251	0,802
	Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,00975	0,0388	0,0859	0,0664	-0,00984	0,251	0,802
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,06510	0,0766	0,2153	0,0851	-0,07329	0,849	0,396
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,07880	0,0871	0,2495	0,0919	-0,08151	0,905	0,366
	PrioriteentreEvitementetDestruction ⇒ Nombrede missiles ⇒ Nombrede destructionavant150m	0,07802	0,0749	0,0687	0,2247	0,07600	1,042	0,297
Component	Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,18471	0,2203	0,2470	0,6164	0,15990	0,839	0,402
	Niveau de vigilance écart ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,23535	0,1006	0,4325	0,0382	-0,35254	2,340	0,019
	Difficulte1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,40586	0,3034	1,0005	0,1888	0,30959	1,338	0,181
	Difficulte1 ⇒ Diamètre pupillaire	0,03267	0,0447	0,0550	0,1203	0,17550	0,730	0,465
	Diamètre pupillaire ⇒ Nombrede destructionavant150m	-0,17090	0,6634	1,4712	1,1294	-0,03635	0,258	0,797
	Difficulte2 ⇒ Niveau de vigilance écart	-0,08629	0,3414	0,7554	0,5828	-0,05815	0,253	0,800
	Difficulte2 ⇒ Diamètre pupillaire	0,05706	0,0506	0,0422	0,1563	0,27080	1,127	0,260
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,27660	0,3034	0,3180	0,8713	0,20789	0,912	0,362
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Niveau de vigilance écart	0,33483	0,3414	0,3343	1,0039	0,23122	0,981	0,327
PrioriteentreEvitementetDestruction ⇒ Nombrede missiles	-0,21812	0,1894	0,5893	0,1531	-0,23352	1,152	0,249	

## Indirect and Total Effects

Type	Effect	Estimate	SE	95 % C.I. (a)		$\beta$	z	p
				Lower	Upper			
Direct	Nombredemissiles ⇒ Nombrededestructionavant 150m	- 0,357 67	0,14 60	- 0,64 39	- 0,07 15	- 0,325 45	- 2,4 50	0,0 14
	Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,133 18	0,11 36	- 0,08 95	0,35 59	0,172 70	1,1 72	0,2 41
	Difficulte1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,164 05	0,16 71	- 0,16 34	0,49 15	0,187 45	0,9 82	0,3 26
	Difficulte2 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,125 79	0,17 88	- 0,47 62	0,22 46	- 0,126 98	- 0,7 04	0,4 82
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,484 54	0,15 86	0,17 37	0,79 54	0,545 50	3,0 55	0,0 02
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,132 57	0,17 03	- 0,46 64	0,20 13	- 0,137 13	- 0,7 78	0,4 36
	PrioriteentreEvitementetDestru ction ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,4193 3	0,19 06	- 0,79 28	- 0,04 58	- 0,408 49	- 2,2 01	0,0 28
Total	Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,144 43	0,12 76	- 0,10 56	0,39 44	0,196 24	1,1 32	0,2 58
	Difficulte1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,400 41	0,18 27	0,04 23	0,75 85	0,479 41	2,1 91	0,0 28
	Difficulte2 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,028 94	0,19 86	- 0,41 81	0,36 02	- 0,030 61	- 0,1 46	0,8 84
	Difficulte1:Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	0,449 28	0,17 77	0,10 10	0,79 75	0,530 00	2,5 29	0,0 11
	Difficulte2:Chronotype1 ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,135 56	0,19 00	- 0,50 80	0,23 69	- 0,146 93	- 0,7 13	0,4 76
	PrioriteentreEvitementetDestru ction ⇒ Nombrededestructionavant150 m	- 0,5197 1	0,21 38	- 0,93 87	- 0,10 07	- 0,530 50	- 2,4 31	0,0 15

Note. (a) Confidence intervals computed with method: Standard (Delta method)

## Annexe 5. Mail de recrutement des participants

Bonjour,

Dans le cadre de travaux sur les systèmes adaptatifs, nous recherchons des participants pour une expérimentation sur une interface homme-machine. Cette expérimentation s'inscrit dans le contexte d'un travail de thèse en Facteur Humain, avec Chantal MAÏS, au sein de Naval Group Research.

Pour la mettre en place, nous avons besoin de déterminer votre **"rythme de sommeil journalier"**.

A noter que la prise de traitement ou produits ayant des effets sur la somnolence (excitants, psychotropes, somnifères, ...) n'est pas compatible avec cette expérimentation.

Si vous souhaitez participer, veuillez, s'il vous plaît, compléter le questionnaire suivant :

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdQj8qDBKa0S1WSMdxYnl2N\\_O-3Dp9rllBI50l13jFVcnMVBw/viewform?c=0&w=1](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdQj8qDBKa0S1WSMdxYnl2N_O-3Dp9rllBI50l13jFVcnMVBw/viewform?c=0&w=1)

En fonction de votre profil, nous pourrions ensuite revenir vers vous pour la participation.

N'hésitez pas à faire suivre ce message si vous connaissez des personnes susceptibles d'être intéressées.

Avec mes remerciements,



**Hugo NGUMA**  
Doctorant Facteurs Humains  
NAVAL Group Research/CEMIS/FH

NAVAL GROUP Ollioules – 199 av. Pierre-Gilles de Gennes – 83190 Ollioules  
Tel : +33 (0)4 94 15 53 37  
Mail : [hugo.nguma@naval-group.com](mailto:hugo.nguma@naval-group.com)  
[www.naval-group.com](http://www.naval-group.com)

## **Annexe 6. Affiche pour le recrutement de participants**

# FLASH INFO

17/09/2018

## Appel à candidature pour une expérimentation Facteurs Humains

**Dans le cadre d'une thèse réalisée par Hugo Nguma, l'équipe Facteurs Humains recherche des volontaires pour réaliser une expérimentation avec le SEA U LAB de Naval Group.**

Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre d'études Facteurs Humains relatives à l'adaptation des IHM.

L'étude concerne l'interaction entre les aspects psychologiques (charge de travail, conscience de la situation) et des notions physiologiques (vigilance et moment de la journée) affectant la performance.

La réalisation de l'expérimentation est une étape importante qui demande un grand nombre de participants pour assurer une validité statistique des résultats.



### Les étapes

**1-** La sélection des personnes à l'expérimentation se fera sur la base d'un questionnaire sur le rythme du sommeil qui permettra de définir un profil d'utilisateur.

**2-** Les candidats retenus à l'issue de cette première phase participeront à une expérimentation d'une durée d'1 heure maximum leur demandant de réaliser des tâches sur une interface IHM au SEA U LAB situé sur le Technopôle de la Mer à Ollioules.

Contact :

Hugo Nguma

[hugo.nguma@naval-group.com](mailto:hugo.nguma@naval-group.com)

+ 33 4 94 15 53 37



## Annexe 7. Exemple de premier contact avec les potentiels participants

Bonjour XXXX ,

Je reviens vers vous pour donner suite à votre candidature à l'expérimentation en Facteurs Humains.

Le résultat du questionnaire que vous avez rempli indique que vous êtes « Intermédiaire (Ni du matin / Ni du soir) ».

Ce qui me permet de faire appel à vous pour la suite.

Pour pouvoir participer à l'expérimentation, si vous êtes toujours intéressée, il me sera nécessaire de connaître vos disponibilités dans les semaines à venir.

Cela me permettra de construire un calendrier de passations et de vous proposer un créneau libre.

Les principales contraintes étant les suivantes :

- Le moment du début de passation doit être situé entre 08 h 00 et 09 h 30 ou entre 16 h 30 et 18 h 00.
- Si possible, le jour de l'expérimentation doit être précédé d'une nuit « normale » (c'est-à-dire avec votre durée de sommeil habituelle).
- Lors de la passation, il faudra porter un casque E.E.G. (Électro-encéphalogramme). Cela implique l'utilisation d'un gel qui facilite le contact du casque avec le scalp. Dans le cas où vous le voudriez, une douche est présente dans les locaux du Pôle Mer (dans lequel se déroulent les passations). Un lavabo est également disponible à proximité de la salle de passation.

La passation dure au maximum 1 heure.

N'hésitez pas à revenir vers moi si une de ces contraintes pose un problème et je m'adapterai en conséquence.

En vous remerciant,

Hugo NGUMA

## Annexe 8. Questionnaire de Horne et Östberg

### Questionnaire du matin ou du soir

Instructions :

1. Lisez attentivement chaque question avant d'y répondre.
2. Répondez à toutes les questions.
3. Répondez aux questions dans l'ordre.
4. Vous pouvez répondre aux questions les unes indépendamment des autres. Ne revenez pas en arrière pour vérifier votre réponse.
5. Répondez aux questions aussi sincèrement que possible. Vos réponses et les résultats de ce questionnaire resteront confidentiels
6. Faites les commentaires que vous jugerez nécessaires dans la partie prévue sous chaque question.

**\*Obligatoire**

1. Adresse e-mail \*

---

2. Nom et prénom \*

---

3. Sexe \*

*Une seule réponse possible.*

Masculin

Féminin

4. Âge \*

---

5. Porteur de lunettes \*

*Une seule réponse possible.*

- Oui
- Non

6. 1. Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous lèveriez-vous étant entièrement libre d'organiser votre journée ? \* *Une seule réponse possible.*

- Entre 11h et midi
- Entre 09h45 et 11h00 du matin
- Entre 07h45 et 09h45 du matin
- Entre 06h30 et 07h45 du matin
- Entre 05h00 et 06h30 du matin

7. Commentaires

---

---

---

---

---

8. 2. Si vous viviez à votre rythme (celui qui vous plaît le plus), à quelle heure vous mettriez-vous au lit, étant entièrement libre d'organiser votre journée ? \* *Une seule réponse possible.*

- Entre 01h45 et 03h00 du matin
- Entre 00h30 et 01h45 du matin
- Entre 22h15 et 00h30
- Entre 21h00 et 22h15
- Entre 20h00 et 21h00

9. Commentaires

---

---

---

---

---

10. 3. Si vous devez vous lever à une heure précise (plutôt tôt), le réveil vous est-il indispensable ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Pas du tout
- Peu
- Assez
- Beaucoup

11. Commentaires

---

---

---

- 
- 
12. 4. Dans des conditions adéquates (environnement favorable, sans contraintes particulières...), à quel point vous est-il facile de vous lever le matin ? \* *Une seule réponse possible.*

- Pas facile du tout
- Pas très facile
- Assez facile
- Très facile

13.

---

---

---

---

---

14. 5. Comment vous sentez-vous durant la demi-heure qui suit votre réveil du matin? \*

*Une seule réponse possible.*

- Pas du tout éveillé(e)
- Peu éveillé(e)
- Relativement éveillé(e)
- Tout à fait éveillé(e)

15. Commentaires

---

---

---

---

---

16. 6. Quel est votre appétit durant la demi-heure qui suit votre réveil du matin ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Pas bon du tout
- Pas bon
- Assez bon
- Très bon

17.

---

---

---

---

---

18. 7. Comment vous sentez-vous durant la demi-heure qui suit votre réveil du matin ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Très fatigué(e)
- Relativement fatigué(e)
- Relativement en forme
- Très en forme

19. Commentaires

---

---

---

---

---

20. 8. Quand vous n'avez pas d'obligations le lendemain, à quelle heure vous couchez-vous par rapport à votre heure habituelle de coucher ? \* *Une seule réponse possible.*

- Plus de 2 heures plus tard
- 1 à 2 heures plus tard
- Moins d'1 heure plus tard
- Rarement ou jamais plus tard

21.

---

---

---

---

---

22. 9. Vous avez décidé de faire du sport. Un(e) ami(e) vous propose des séances d'1 heure ensemble et ce 2 fois par semaine, de 7 h à 8 h du matin. Ne considérant que le rythme qui vous convient le mieux, dans quelle forme pensez-vous être en l'accompagnant ? \* *Une seule réponse possible.*



- Vous trouvez cela très difficile
- Vous trouvez cela difficile
- Forme raisonnable
- Bonne forme

23. Commentaires

---

---

---

---

---

24. 10. A quel moment de la soirée vous sentez-vous fatigué(e) au point de vous endormir ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Entre 02h00 et 03h00 du matin
- Entre 00h45 et 02h00 du matin
- Entre 22h15 et 00h45
- Entre 21h00 et 22h15
- Entre 20h00 et 21h00

25. Commentaires

---

---

---

---

---

26. 11. Vous souhaitez être au mieux de votre forme pour un examen qui vous demande un effort intellectuel intense durant deux heures. Vous êtes entièrement libre de le passer quand vous le souhaitez. Quelle heure choisiriezvous ? \*

*Une seule réponse possible.*

- De 19 heures à 21 heures
- De 15 heures à 17 heures
- De 11 heures à 13 heures
- De 08 heures à 10 heures

27. Commentaires

---

---

---

---

---

28. 12. Si vous alliez au lit à 23 heures, à quel niveau de fatigue seriez-vous ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Pas du tout fatigué(e)
- Un peu fatigué(e)
- Relativement fatigué(e)
- Très fatigué(e)

29. Commentaires

---

---

---

---

---

30. 13. Pour une raison quelconque, vous vous couchez quelques heures plus tard que d'habitude, mais vous n'êtes pas obligé(e) de vous lever à une heure précise le lendemain. Laquelle des propositions suivantes choisiriez-vous ? \* *Une seule réponse possible.*

- Vous vous réveillez comme d'habitude et vous ne vous rendormez plus
- Vous vous levez comme d'habitude, mais vous vous recouchez par la suite
- Vous vous réveillez comme d'habitude, mais vous vous rendormez
- Vous vous réveillez plus tard que d'habitude

31. Commentaires

---

---

---

---

---

---

32. 14. Vous devez aller chercher un ami entre 4 h et 6 h du matin à l'aéroport. Vous n'avez pas d'obligation le lendemain. Laquelle des propositions suivantes vous convient le mieux ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Vous n'irez au lit qu'une fois l'ami cherché
- Vous faites une sieste avant et dormez après avoir été le chercher
- Vous dormez bien avant et faites une sieste après
- Vous dormez ce qu'il vous faut avant et ne vous recouchez pas après

33. Commentaires

---

---

---

---

---

---

34. 15. Vous devez faire deux heures de travail physique intense, mais vous êtes entièrement libre d'organiser votre journée. Laquelle des périodes suivantes choisiriez-vous ? \*

*Une seule réponse possible.*

- De 08h00 à 10h00
- De 11h00 à 13h00
- De 15h00 à 17h00
- De 19h00 à 21h00

35. Commentaires

---

---

---

---

---

---

36. 16. Vous avez décidé de faire du sport. Un ami vous propose une séance d'entraînement d'1 heure et ce 2 fois par semaine, de 22 h à 23 h. Ne considérant que le rythme qui vous convient le mieux, dans quelle forme pensez-vous être en l'accompagnant ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Bonne forme
- Forme raisonnable
- Vous trouvez cela difficile
- Vous trouvez cela très difficile

37. Commentaires

---

---

---

---

---

38. 17. Si vous deviez choisir un horaire pour travailler 5 heures consécutives, intéressant et bien payé quel que soit l'horaire. Dans quel intervalle de temps souhaiteriez-vous commencer vos 5 heures de travail consécutives? \* *Une seule réponse possible.*

- Entre 17h00 et 04h00 du matin
- Entre 13h00 et 18h00
- Entre 09h30 et 14h30
- Entre 08h00 et 13h00
- Entre 04h00 et 09h00 du matin

39. Commentaires

---

---

---

---

---

---

---

40. 18. A quelle heure vous sentez-vous le plus en forme ? \*

*Une seule réponse possible.*

- Entre 22h00 et 05h00 du matin
- Entre 17h00 et 22h00
- Entre 10h00 et 17h00
- Entre 08h00 et 10h00
- Entre 05h00 et 08h00 du matin

41. Commentaires

---

---

---

---

---

---

---

42. 19. On dit parfois que quelqu'un est un sujet du matin ou un sujet du soir. Vous considérez-vous comme étant du matin ou du soir ? \* *Une seule réponse possible.*

- Tout à fait un sujet du soir
- Plutôt un sujet du soir
- Plutôt un sujet du matin
- Tout à fait un sujet du matin

43. Commentaires

---

---

---

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms



## Annexe 9. Echelle de Thayer

### ECHELLE DE THAYER

PARTICIPANT :

DATE:

HEURE:

Entourez la bonne réponse :

+ + je me sens très

+ je me sens un peu

? je ne sais pas

0 je ne me sens pas du tout

Ne pas utiliser cet espace :

GA :

GD :

HA :

DS :

GA/DS :

### REPONDEZ A TOUTES LES QUESTIONS

Actif (ve) ++ + ? 0

Indifférent (e) ++ + ? 0

Endormi(e) ++ + ? 0

Mal à l'aise +++ ? 0

Energique ++ + ? 0

Calme ++ + ? 0

Fatigué (e) ++ + ? 0

Dynamique ++ + ? 0

Détendu (e) ++ + ? 0

Attentif (ve) ++ + ? 0

Somnolent (e) ++ + ? 0

Inquiet (e) ++ + ? 0

« La pêche » ++ + ? 0

Tranquille ++ + ? 0

Eveillé (e) ++ + ? 0

Enervé (e) ++ + ? 0

Silencieux (se) ++ + ? 0

En forme ++ + ? 0

Tendu (e) ++ + ? 0

Crispé (e) ++ + ? 0

### Dépouillement de l'échelle de Thayer :

- Pour tous les adjectifs sauf attentif et éveillé

++ = 4      + = 3      ? = 2      0 = 1

- Pour attentif et éveillé

++ = 1      + = 2      ? = 3      0 = 4

### Regroupement des adjectifs :

GA (General activation) : actif, énergique, dynamique, la pêche, en forme DS

(Deactivation sleep) : endormi, fatigué, attentif, somnolent, éveillé

HA (High Activation) : mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, crispé

GD (General Deactivation) : indifférent, calme, détendu, tranquille, silencieux