

Conséquences psycho-cognitives et physiologiques d'un exercice d'évacuation d'un sous-marin en plongée.

M. Trousselard^a, C. Ciana^a, A. Roux^a, O. Ferhani^a, P.-A. Barraud^a, P. Baert^b.

a. Département des facteurs humains, pôle de neurophysiologie du stress, IRBA, Antenne de La Tronche CRSSA, BP 87 – 38702 La Tronche Cedex.

b. BCRM Brest, CMBDB, Département FSM, CC 500 – 29240 Brest Cedex 9.

Article reçu le 3 avril 2008, accepté le 2 avril 2009.

Résumé

En 2007, un sous-marin a subi une collision accidentelle lors d'une plongée d'exercice. Quelques mois après cet accident, l'État-major des Forces sous-marines et de la force océanique stratégique organise un exercice d'évacuation d'un sous-marin en pleine mer afin d'optimiser l'entraînement du personnel à l'évacuation. Cet exercice a fait l'objet d'une opération de recherche évaluant : (i) la façon dont l'exercice d'évacuation est perçu par le sujet, (ii) les conséquences physiologiques de la contrainte d'évacuation et (iii) les conséquences de la contrainte d'évacuation sur la performance. Les résultats montrent que cet exercice génère une réaction de stress de courte durée et perturbe certaines capacités mnésiques et attentionnelles. Ces réponses sont amplifiées chez les sujets ayant déjà vécu un accident en mer. Ces résultats soulignent l'intérêt d'un entraînement au plus près de la réalité pour optimiser l'évacuation de l'équipage d'un sous-marin victime d'une avarie grave. Ils posent la question de la détection des sujets victimes de « blessures psychiques » pour le maintien des capacités opérationnelles. Enfin, ils mettent en exergue l'importance des recherches de terrain impliquant une collaboration entre les états-majors, les forces, les médecins d'unité et les chercheurs pour l'amélioration du soutien des militaires.

Mots-clés : Accident. Médecine sous-marine. Stress.

Abstract

DIFFERENTIAL ANALYZE OF PSYCHO-COGNITIVE AND PHYSIO-BIOLOGICAL RESPONSES AFTER AN ESCAPE EXERCISE FROM A DIVING SUBMARINE.

In 2007, a submarine suffered a collision by accident during a diving exercise. Few months after this accident, the submarine head-quarter organized an exercise for escaping subjects in real conditions of diving (Escapex). The military medical service developed a research to assess: (i) anticipatory perception of the escape exercise, (ii) physiological consequences of the escape exercise and (iii) the level of cognitive performances after the escape exercise. Results show a stress reaction associated to decreased cognitive performances in long term memory and intentional tasks. A past submarine accident influences the quality and the intensity of both the physiological responses and the cognitive performances. These results highlight the importance of the training in real conditions to increase the ability to react after such an accident. Also they indicate the importance of detecting subjects with a past experience of a submarine accident. Finally, cooperation between all actors seems very important for conducting researches in operational conditions which are necessary to increase military medical efficacy.

Keywords: Accident. Stress. Submarine medicine.

Introduction.

Au printemps 2007, le Sous-marin nucléaire d'attaque (SNA) *Rubis* a été victime d'une avarie grave. Dans le but d'optimiser l'entraînement à l'évacuation d'un sous-

marin en perdition, un exercice d'Évacuation de sous-mariniens à partir d'un SNA immergé (exercice « Escapex ») a été programmé. La situation d'évacuation en plongée lors d'une avarie constitue une situation critique et inconnue de ces professionnels uniquement entraînés à l'évacuation à partir d'un simulateur. Elle est donc susceptible de générer un état aigu de stress voire d'anxiété dont une des conséquences possibles est une diminution des capacités opérationnelles de l'individu, néfaste aussi bien pour sa survie que celle du groupe. Les conséquences physio-biologiques et mentales d'une situation de stress subaigu à bord d'un équipage victime d'une avarie ont rarement été évaluées. Des auteurs ont néanmoins observé une augmentation du niveau

M. TROUSSELARD, médecin en chef, certifié en neurosciences et sciences cognitives. C. CIAN, ingénieur DGA (ICT), docteur en psychologie cognitive et HDR. A. ROUX, technicien paramédical (TPC). O. FERHANI, ingénieur DGA (IEF), docteur en traitement du signal. P.-A. BARRAUD, ingénieur DGA. P. BAERT, médecin en chef, praticien confirmé.

Correspondance : M. TROUSSELARD, département des facteurs humains, pôle de neurophysiologie du stress, IRBA, Antenne de La Tronche, BP 87 – 38702 La Tronche Cedex.

E-mail : marion.trousselard@gmail.com

d'anxiété lors de l'entraînement aux procédures d'évacuation (équipement et rappel des procédures), qui diminuait après plusieurs exercices (1).

Dans ce contexte, une action de recherche a été développée pour évaluer les conséquences de l'exercice d'évacuation au niveau physio-biologique et psychocognitif en fonction notamment de certaines caractéristiques personnelles des individus participants. Dans la suite de l'accident du *Rubis*, la prise en compte des différences inter-individuelles s'est focalisée sur les antécédents d'accidents de sous-marins au cours de la carrière des sujets. Pour des raisons de sécurité, cet exercice a été précédé d'une séance d'évacuation en simulateur au Centre d'entraînement à la sécurité en immersion (CESI, Île Longue) le mois précédent l'Escapex, ce qui a permis de compléter le travail de recherche en comparant l'impact des conditions d'évacuation (condition réaliste de l'Escapex versus condition de simulateur) sur les réponses physiologiques étudiées.

Le stress.

Le terme de stress désigne la réponse de l'organisme à toute sollicitation positive ou négative qui lui est faite, en vue d'optimiser son adaptation (2). L'agent ou la situation en cause est ainsi appelé « stressueur ». La nature des stressueurs est multiforme. Elle peut être cognitive (états psychologiques menaçants, situations de travail, événements de vie majeurs), c'est-à-dire reconnu directement par le système nerveux central, que l'individu en est conscience ou non. Elle peut aussi être secondaire à des états physiologiques inhabituels (environnements climatiques extrêmes, activités physiques intenses, états inflammatoires). On parle alors de stressueurs non cognitifs, c'est-à-dire perçus secondairement par le système nerveux. Lorsqu'un organisme est soumis à un stressueur, il développe une réaction biologique (*i.e.*, le stress) pour répondre à la contrainte. Il est important de considérer que cette réaction biologique est intégrée dans le temps. Lorsque le stressueur disparaît, le stress laisse place à la récupération mais s'il se maintient un certain temps, l'organisme doit modifier sa réponse pour durer dans le temps. Ce nouvel état d'équilibre, appelé *allostase*, a un coût biologique qui est fonction de la durée et de l'intensité du stress. Les conséquences structurelles pour l'organisme (infarctus, ulcères gastro-duodénaux, etc.) seront d'autant plus importantes que ces deux paramètres sont élevés. La prise en compte de ces éléments implique de comprendre le stress comme une véritable réorganisation de l'organisme pour faire face à la contrainte, c'est-à-dire d'imaginer pour un individu donné que les agressions multiples sont intégrées selon certaines voies qui participent de concert à la réorganisation de son organisme. Comprendre la réorganisation d'un organisme sous contrainte implique donc de déterminer les voies impliquées dans le stress, mais aussi de comprendre leurs interactions.

Un certain nombre d'études a montré que deux axes biologiques étaient activés lors de l'exposition à un stressueur ; on observe d'abord une activation très rapide du système autonome (levée du frein parasympathique

suivie ou non d'une activation sympathique) suivi d'une activation secondaire (latence de plusieurs minutes) de l'axe corticotrope qui vient compléter si nécessaire l'activation autonome (2, 3). Si cette double activation participe à la réponse aigue au stress, il est classiquement considéré que c'est l'activation de l'axe corticotrope qui définit un organisme stressé. La manière dont cette activation se fait est également, dans une certaine mesure, prédictive de l'évolution du stress. Ainsi, le risque qu'un stress aigu dégénère en une pathologie de stress est lié à une activation sympathique excessive associée à une faible production de cortisol (3-7). Si ces données pointent le système autonome comme, au minimum, un indicateur d'un (ou plusieurs) mécanisme(s) impliqué(s) dans la réorganisation de l'organisme face aux stressueurs, l'hyper activation sympathique ne peut être considérée isolément. Elle est la marque d'un déséquilibre de la balance sympathico-parasympathique du système nerveux autonome. Ce dernier est constitué de trois structures phylogénétiquement hiérarchisées : (i) le système vagal vestigial non myélinisé dont l'activation induit un état de mort apparente, (ii) le système sympathique dont l'activation prépare au « fight or flight » et (iii) le système parasympathique myélinisé dont l'activation rend compte du frein vagal cardiovasculaire qui s'exerce dans la vie quotidienne. Dans ce cadre, il faut considérer que la première réponse du système autonome à un stressueur est le mécanisme inhibant le tonus vagal puis, si cela s'avère nécessaire, activant le tonus sympathique avant l'activation du tonus parasympathique vestigial en cas d'échec. C'est donc plus l'activité du tonus parasympathique et sa capacité de réactivité rapide après l'arrêt du stressueur qu'il faut considérer comme un indicateur de tolérance au stress. Cette flexibilité parasympathique peut être facilement observée via la mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (5, 6).

Déterminer des indicateurs de la capacité individuelle de tolérance à la situation de stress repose sur la compréhension des mécanismes à l'origine de l'existence de différents patrons de réponse biologique. Cela implique bien sûr de prendre en compte la qualité objective du stressueur mais aussi la façon dont le stressueur est perçu par le sujet en fonction de ses caractéristiques psychologiques et cognitives (8). Les réactions psychocognitives de l'individu exposé à des événements de stress correspondent à un processus dynamique à la fois perceptif, cognitif et émotionnel, diachronique et synchronique, qui module les réponses biologiques et comportementales. Comprendre ce qui est stressant pour l'individu implique donc de prendre en compte les événements de vie de l'individu et ce que l'on appelle ses ressources personnelles, parmi lesquelles certaines sont des éléments de protection vis-à-vis du stress, et d'autres des facteurs de vulnérabilité. Parmi les ressources personnelles d'un individu, on peut citer : (i) les seuils de perceptions psychologiques et biologiques, (ii) la capacité d'évaluation de la situation et de ses propres capacités à y répondre, (iii) le type de personnalité, (iv) l'état psychophysiologique, cognitif et émotionnel du moment dans l'évaluation de la situation et de soi-même, (v) et enfin, des stratégies de « faire face » (stratégies de

coping), qu'elles soient conscientes ou non. Les ressources cognitives ont donc une importance considérable chez l'homme parce qu'elles viennent médier l'impact des stressseurs sur l'organisme et modifier la nature des réactions physiologiques, émotionnelles et comportementales (8). Il est ainsi bien connu que si le stress est dans une certaine mesure bénéfique en permettant au sujet de mobiliser ses ressources pour faire face, au-delà d'une certaine limite, il exerce également des effets délétères sur les capacités de résistance et les performances, le point de bascule entre ces deux phases dépendant en partie des ressources cognitives de l'individu (8, 9). Ces ressources sont donc primordiales pour la capacité opérationnelle des individus puisqu'elles sont à la base des capacités d'anticipation, d'élaboration des stratégies qui optimisent l'adaptation des comportements à la situation (8). En somme, les situations de stress constituent, pour un individu, la mise en action d'un ensemble de processus de réorganisation multidimensionnelle de l'organisme, mettant notamment en interaction la contrainte (*i.e.*, durée et intensité) et les ressources personnelles, ce qui détermine *in fine* la réponse physio-biologique, les réactions comportementales et le niveau de performances.

Technique d'évacuation individuelle sur sous-marin.

Les sous-marins sont dotés de moyens de survie pour au moins huit jours. Il existe, notamment, à bord un ou plusieurs compartiments refuges permettant à un équipage en difficulté d'attendre l'arrivée et la mise en œuvre de moyens d'évacuation collective (10). Cependant, un accident grave non maîtrisé (incendie, voie d'eau) est susceptible d'imposer l'évacuation immédiate de l'équipage sans attendre une quelconque aide extérieure. Dans ce contexte, la technique d'évacuation repose sur le sasement des naufragés au moyen de combinaisons individuelles de sauvetages (Mark VIII et X ou SM 1 000 ; (fig. 1)). Cette technique est réalisable pour des profondeurs n'excédant pas 180 mètres. Avant de pénétrer dans le sas, le sous-marinier doit se vêtir de cette combinaison hermétique. Celle-ci est équipée au niveau de la main gauche d'un système de branchement destiné à recevoir de l'air sous pression. Cet air délivré par un détendeur assure étanchéité, flottabilité et délivrance d'air au naufragé pendant toute la durée de l'opération de sasement.

Une fois équipé, l'entrée dans le sas d'évacuation se fait au moyen d'une échelle. Le sujet doit se glisser par la porte inférieure du sas, réalisant une ouverture circulaire de 0,8 m de grand axe, en maintenant sa main gauche en l'air afin de ne pas endommager le système de pressurisation de sa combinaison. Une fois dans le sas, la porte inférieure étanche est fermée et le sujet se retrouve seul. Il doit alors communiquer avec le reste de l'équipe de sasement par un marteau fixé dans le sas qu'il cogne contre la paroi un nombre de fois déterminé afin d'indiquer s'il est prêt ou non à être « sassy ». Lorsque le sujet signifie qu'il est prêt, il exécute la manœuvre de pressurisation de sa combinaison par le branchement de sa main gauche, puis



Figure 1. Combinaison Mark X.

le sas est rempli d'eau jusqu'à ce que l'équilibre des pressions soit réalisé permettant l'ouverture de la porte extérieure. Grâce à la flottabilité positive générée par le gonflage de la combinaison, le sujet est propulsé hors du sas et remonte vers la surface à la vitesse de quatre mètres par seconde. Il s'agit d'une phase critique avec des risques médicaux d'autant plus importants que la profondeur d'immersion est grande et que l'expiration forcée qui doit être maintenue continuellement n'est pas correctement exécutée (11, 12).

Cette manœuvre de sasement réalisée dans un espace exigu nécessite donc des habiletés psychomotrices qui sont apprises et validées tous les deux ans lors d'exercices en simulateur au CESI de la base opérationnelle de l'Île Longue. La mise en œuvre du sas est identique à celle d'un sous-marin, mais les conditions de l'évacuation limitent les risques d'accidents de désaturation puisque la hauteur de la colonne d'eau au dessus du sas n'est que de trois mètres. Les principales différences techniques existant entre les deux conditions d'évacuation sont résumées dans le tableau I.

L'exercice d'évacuation en plongée (Escapex) s'est déroulé en novembre 2007 dans la grande rade de Toulon, au large du cap Cepet (Presqu'île de Saint Mandrier). Les sasements ont été réalisés à partir du SNA *Émeraude*, stabilisé en plongée statique par vingt mètres de profondeur grâce à une tonne de flottabilité accrochée en superstructure (fig. 2).

Les sasements ont débutés dans l'après-midi et se sont enchaînés au rythme d'un homme sassy toutes

Tableau I. Principales différences entre les deux conditions d'évacuation.

	Simulateur	Escapex
Localisation	Ile Longue (CESI)	Rade de Toulon
Milieu	Piscine à 33 °C	Mer, Océan
Équipement	Vestiaire, à sec	Zone de survie confinée et humide
Échelle	1 m de haut et 0,8 m de large	3 m de haut et 0,5 m de large
Sas	Double sas communicant pour le sujet et l'instructeur	Tunnel (hauteur 2 m, largeur 1 m)
Éclairage	Possible	Obscurité
Communication	Verbale et code sonore (marteau)	Code sonore (marteau)
Moyens de surveillance	Contrôle visuel permanent de l'instructeur	Aucun
Profondeur	5 m (3 m de remontée)	30 m (15 m de remontée)
Durée	10 à 15 minutes	20 à 30 minutes



Figure 2. SNA Émeraude avec sa tonne de flottabilité sur le pont.

les vingt minutes environ. Seuls six sujets ont été sassés sur les treize prévus initialement en raison de la tombée de la nuit limitant la visibilité. Une fois sassés, les sujets étaient récupérés par un Zodiac®, et acheminés vers un bâtiment de surface pour réalisation d'un bilan médical avant de permettre la poursuite du déroulement de l'étude (fig. 3).

Méthodologie.

La méthodologie de l'étude a été définie pour répondre à trois questions principales : (i) la façon dont l'exercice d'évacuation est perçu par le sujet (simulateur versus Escapex), (ii) les conséquences physio-biologiques de la contrainte d'évacuation et (iii) les conséquences de la contrainte d'évacuation sur la performance. Le tableau II résume, pour chacune des trois questions posées, les variables dépendantes mesurées avec les conditions temporelles de mesure.



Figure 3. Sous-marinières en surfaces.

Matériels et méthodes.

Les sujets.

Treize militaires sous-marinières masculines se sont portés volontaires pour participer à l'Escapex 2007 organisé par l'État-major des forces sous-marines et de la Force océanique stratégique. Ils ont été déclarés aptes à participer aux deux phases de l'exercice (évacuation en simulateur et en mer) par leur service médical d'unité. Chaque sujet a exprimé librement son consentement, sachant qu'il pouvait à tout moment décider de stopper sa participation à l'étude.

Tableau II. Résumé des variables dépendantes avec les conditions temporelles de mesure pour chacune des questions posées dans l'étude.

Questions	Variables Dépendantes	Conditions temporelles de mesures	
1. Façon dont l'exercice est perçu avant l'exercice	Questionnaire d'humeur	Référence, avant simulation, et avant escapex	
	Questionnaire de sommeil	Référence, avant simulation, et avant escapex	
	Excrétion urinaire nocturne de cortisol	Avant simulation, et avant escapex	
2. Conséquences physiologiques	Concentration salivaire d' α -amylase	Référence	
		Simulateur	T0, T1 et T2
	Escapex	T0, T1, T2 et T3	
	Concentration salivaire de cortisol	Référence	
		Simulateur	T0, T1 et T2
	Escapex	T0, T1, T2 et T3	
Tonus parasympathique	Référence		
	Simulateur	T0, T1 et T2	
Escapex	T0, T1, T2 et T3		
3. Conséquences sur la performance	Mémoire à court terme (empan mnésique direct et indirect)	Référence	
		Simulateur	T1 et T2
		Escapex	T1, T2 et T3
	Mémoire à long terme (rappel d'images)	Référence	
		Simulateur	T0, T1 et T2
		Escapex	T0, T1, T2 et T3
	Attention sélective (SRT4)	Référence	
Simulateur		T1 et T2	
Escapex	T1, T2 et T3		

Détermination du profil psycho-cognitif des sujets.

Il s'agit de déterminer le profil psychologique et les stratégies de *coping* qu'utilisent les sous-marinières pour faire face aux situations difficiles voire stressantes. Le style de *coping* n'est pas directement une expression de la personnalité, il est néanmoins influencé par cette dernière. Ces éléments sont indispensables, non seulement pour caractériser la population participant à l'étude, mais aussi pour pouvoir appréhender au mieux les différences individuelles susceptibles d'apparaître dans les réponses des sujets aux deux exercices d'évacuation.

Dans ce cadre et au regard des contraintes opérationnelles, les sujets ont rempli, la veille de l'exercice en simulateur, un questionnaire biographique et des questionnaires d'auto-évaluation pour déterminer : (i) leur personnalité selon le modèle de personnalité en cinq dimensions du NEO-PIR (Névrosisme, Extraversion, Ouverture, Agréabilité, Conscience), classiquement utilisé dans les recherches chez les sujets sains, (ii) leur réactivité émotionnelle (échelles d'anxiété trait et état de Spielberger ; (13)) et (iii) leurs stratégies de faire face (Echelle de *coping* de Lazarus et Folkman ; (8)). La durée de passation de ces questionnaires est de 45 minutes.

Détermination de la façon dont les sujets perçoivent l'exercice.

La manière dont les sujets envisagent les deux situations d'exercice a été évaluée au travers de l'intensité des réactions psychologiques mises en œuvre avant l'exercice, i.e. la qualité du sommeil et de l'humeur. Deux types de questionnaire d'auto-évaluation de 5 minutes chacun ont été utilisés. Le sommeil a été investigué par un questionnaire de terrain validé évaluant par 15 items le sommeil des sujets dans son aspect quantitatif et qualitatif (3). L'humeur a été évaluée par la version française abrégée du *Profile of Mood States* (14) déterminant par une liste de 37 adjectifs, six échelles définissant l'humeur du sujet au moment de la mesure (tension-anxiété, activité-vigueur, fatigue, dépression, colère, confusion). Ces deux questionnaires ont été remplis dans trois situations : (i) la veille de l'exercice en simulateur (référence), (ii) le matin de l'exercice en simulateur et (iii) le matin de l'Escapex. Ces questionnaires ont été complétés par une mesure de l'excrétion nocturne de cortisol urinaire, les nuits précédant chacun des deux exercices, afin de déterminer indirectement le niveau d'anxiété anticipatrice générée.

Détermination des conséquences physiologiques de la contrainte.

La réponse biologique à la contrainte d'évacuation a été évaluée par des prélèvements salivaires de deux types : (i) la mesure de la concentration de l'a-amylase salivaire, reflet indirect du niveau d'activation sympathique (6, 13) et (ii) la mesure de la concentration de cortisol salivaire, méthode validée, renseignant sur le niveau d'activation de l'axe corticotrope (1). Ces mesures ont été réalisées au repos la veille de l'exercice de simulation entre 15 h 00 et 17 h 00 afin de disposer de mesures de référence des activités sympathique et corticotrope (T_{Ref}). Afin d'évaluer la réactivité des axes sympathique et

corticotrope en fonction de l'exercice d'évacuation, les mesures ont été réalisées immédiatement avant chacun des exercices (T_0), immédiatement après (T_1) et à distance (deux heures après pour les deux exercices (T_2) et quatre heures après pour l'Escapex (T_3)). Ces prélèvements, rapides (cinq minutes) et simples de réalisation (le sujet garde en bouche un coton type dentiste), doivent être ensuite centrifugés (5 000 tours par minutes pendant 5 minutes) et congelés pour analyses ultérieures.

Une évaluation du niveau du tonus parasympathique et de sa réactivité a également été conduite. Concrètement, la mesure a consisté en un enregistrement au repos de cinq minutes du rythme cardiaque. Ces enregistrements ont été réalisés dans les mêmes conditions temporelles que les dosages biologiques (tab. II). Ils ont ensuite été analysés par le pôle de neurophysiologie du stress du CRSSA avec le logiciel Prana[®], (Phitools, Chicago). La mesure retenue pour l'évaluation du niveau de tonus parasympathique est l'index LF/HF (Low Frequency, reflet imparfait l'activité sympathique et High Frequency, reflet direct du niveau du tonus parasympathique). Le rapport LF/HF est donc d'autant plus grand que le tonus parasympathique est bas et que le tonus sympathique est élevé (sujet en situation de stress).

Détermination des conséquences de la contrainte sur la performance.

La performance s'évalue usuellement par le « taux d'erreurs » dans la réalisation d'une tâche, ce qui peut être difficile à appréhender pour des aptitudes complexes, comme la capacité opérationnelle. Cela explique qu'elle soit souvent indirectement appréhendée par la mesure du taux d'erreurs dans la réalisation de plusieurs tâches simples définies à partir de paradigmes modélisant les différentes aptitudes qui participent à la réalisation de la tâche complexe. Il existe une somme importante de tests standardisés permettant la comparaison des performances dans différentes situations. Les tests sélectionnés pour cette étude répondent à deux impératifs. Le premier est d'ordre opérationnel puisque l'étude doit s'intégrer dans la programmation des exercices sans perturber le bon déroulement. Il s'agit donc d'une contrainte temporelle à deux niveaux (apprentissage rapide pour obtenir une performance stable et durée de passation des tests courte). Le deuxième est d'ordre scientifique puisqu'il s'agit de définir et de sélectionner les tests pertinents pour évaluer différentes composantes de la tâche complexe.

Au regard de ces objectifs, deux principales fonctions ont été évaluées : (i) la mémoire à court terme (empan mnésique direct) et (ii) l'attention sélective (discrimination d'une lettre parmi quatre possibilités, SRT4). Ces fonctions sont connues pour participer à l'élaboration d'un comportement adapté dans une situation de stress. Une fois un apprentissage de 20 minutes réalisé le jour de référence, la passation de ces tests dure 15 minutes. Les tests n'ont pu être passés juste avant l'évacuation pour des raisons de contraintes opérationnelles, mais les mesures ont été faites à T1 et T2 pour la simulation et T1, T2 et T3 pour l'Escapex.

Protocole expérimental détaillé.

La figure 4 résume le protocole expérimental avec la répartition temporelle des mesures telles qu'elles ont été réalisées.

Pour s'adapter aux horaires des exercices d'évacuation tout en contrôlant l'influence du nyctémère sur les fonctions mentales et les mesures physio-biologiques (10), il était prévu initialement que les sujets disposent d'une journée de repos au CESI avant le début des exercices d'évacuation afin de nous permettre de répéter les mesures de l'ensemble des variables toutes les trois heures au cours du nyctémère. Malheureusement, les contraintes professionnelles des sous-marinières n'ont pas permis de réaliser ces mesures contrôles. Pour l'exercice en simulateur, les mesures ont donc eu lieu le matin pour six sujets et l'après-midi pour les sept autres. Pour l'Escapex, les mesures ont été faites l'après-midi (entre 15 h 00 et 17 h 30). Cependant, cinq des six sujets évacués du sous-marin ont réalisé l'exercice de simulation l'après-midi. On peut donc considérer que la chronobiologie des différentes mesures ne constitue pas un facteur de variation entre la simulation et l'Escapex.

Analyses statistiques.

L'analyse statistique de l'ensemble des données des sous-marinières a été réalisée avec le logiciel SPSS®, (SPSS INC., Chicago, IL, USA, Version 11.0). Des tests de Student pour échantillons appariés et des tests de corrélation ont d'abord été effectués avec le groupe des six sujets ayant participé aux deux exercices pour

comparer les variables entre les deux situations d'évacuation (simulateur vs. Escapex) en fonction des conditions temporelles de mesure. Dans le but d'évaluer l'influence d'un (des) antécédent(s) d'accidents de sous-marin sur les questions posées, des tests de Student pour échantillons indépendants ont été réalisés pour comparer les variables entre le groupe de sous-marinières avec antécédent d'accident et le groupe indemne de tout accident. Pour tous les tests, une probabilité $p \leq 0,05$ était considérée comme significative. Les résultats ont été présentés en termes de tendance (t) lorsque $p \leq 0,1$.

Résultats.

Analyse de la population.

Analyse biographique de la population.

Le tableau III résume les principales caractéristiques biographiques des sous-marinières ayant participé à l'étude. Si tous ont le grade de quartier-maître, ils exercent des spécialités extrêmement diverses (cuisinier, radariste, électro-mécanicien, technicien informatique, mécanicien, radio, infirmier...) dans des SNA différents.

Analyse psycho-cognitive de la population.

Les sous-marinières éprouvent des difficultés psychologiques « de tout un chacun » avec un équilibre entre les satisfactions et les insatisfactions de la vie. Leur anxiété-trait n'est pas différente de celle mesurée dans la population de référence. Sans être de véritables solitaires,

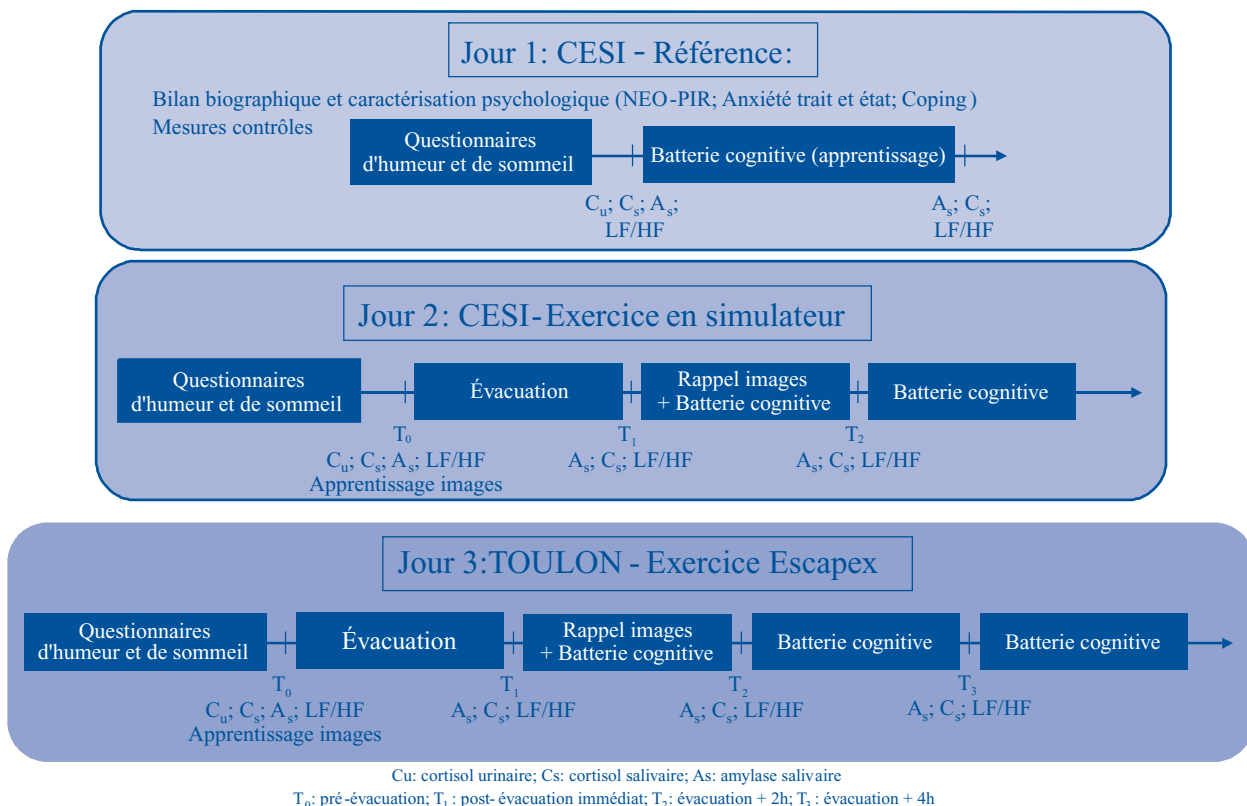


Figure 4. Protocole expérimental réalisé.

Tableau III. Caractéristiques principales de la population en fonction des groupes constitués.

Groupe et effectif (n)	Simulateur (n = 13)	Escapex (n = 6)	Groupe Accident (GA; n = 5)
Âge (moyenne ± écart-type)	30,8 ± 4,6 ans	34,3 ± 2,7 ans	30 ± 5,6 ans
Ancienneté (moyenne ± écart-type)	10,7 ± 5,2 ans	14,7 ± 4,3 ans	10,2 ± 4,86 ans
Qualification plongée Fréquence/population	5 sujets 38,46 %	4 sujets 66,66 %	2 sujets 40 %
Âge (moyenne ± écart-type)	34,5 ± 2,6 ans	29,2 ± 4,3 ans	33 ± 4,24 ans
Nombre d'exercices en simulateur (sans les instructeurs du CESI)	3,0 ± 1,5	4,2 ± 1,2	3 ± 4,2
Nombre d'escapex	0	0	0
Antécédent d'incident(s) en mer Fréquence/population	5 sujets 38,46 %	2 sujets 33,33 %	
Âge (moyenne ± écart-type)	30,0 ± 5,6 ans	33,0 ± 4,2 ans	
Nombre de sujets ayant subi l'accident du SNA <i>Rubis</i> Âge (moyenne ± écart-type)	2 sujets 24,5 ± 2,1 ans	0	

ils apprécient la solitude davantage que la plupart des gens. Dans les relations interpersonnelles, ils font preuve d'empathie mais n'en demeurent pas moins rationnels et réalistes dans la prise en compte des préoccupations et des besoins d'autrui. Leur curiosité intellectuelle est importante. S'ils sont davantage ouverts aux idées et expériences non conventionnelles que la plupart des gens, ils acceptent l'autorité et les traditions. Ils travaillent pour réussir et disposent d'une bonne capacité à entreprendre et à terminer les tâches qu'ils ont à accomplir. Ces résultats inscrivent la population étudiée dans les normes de la population masculine de même âge avec néanmoins une grande homogénéité du groupe.

Les stratégies de réponse face aux événements difficiles des sous-marinières participants sont essentiellement, et de façon importante par rapport à la population de référence, dirigées vers la tâche. Ils ont également tendance à éviter les situations difficiles en privilégiant les possibilités de distraction plutôt que de diversion sociale.

Analyse des conséquences de l'exercice.

Perception de l'exercice d'évacuation avant l'exercice (simulateur vs. Escapex ; n = 6).

Comparaison pour le questionnaire d'humeur.

Deux échelles d'humeur apparaissent différentes entre les trois jours de mesure (fig. 5). On observe d'une part que le niveau d'activité-vigueur exprimé par les sujets est le plus élevé le jour de la simulation et le plus bas le jour de l'Escapex avec un niveau mesuré le jour de référence se situant entre les deux.

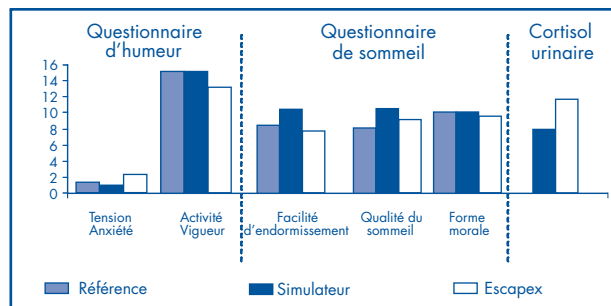


Figure 5. Scores d'humeur et de sommeil (en niveaux des questionnaires) et concentration de cortisol salivaire (nmol/l) en fonction des jours de mesure.

simulant entre les deux. D'autre part, il apparaît que le niveau de tension-anxiété est le plus bas le jour de la simulation et le plus haut le jour de l'Escapex, le niveau mesuré le jour de référence se situant entre les deux.

Comparaison pour le questionnaire de sommeil.

Les différences observées portent sur les échelles évaluant la latence d'endormissement, la qualité du sommeil et la forme morale au réveil (fig. 5). L'endormissement est le plus facile la veille de la simulation et le plus difficile la veille de l'Escapex, le niveau mesuré la veille du jour de référence se situant entre les deux. La qualité du sommeil est mesurée la plus basse la nuit précédant les mesures de référence, la plus haute la nuit précédant la simulation, la nuit ayant précédé l'Escapex se situant entre les deux. La forme morale, identique entre les jours de référence et du simulateur, diminue significativement le jour de l'Escapex.

Comparaison pour l'excrétion urinaire nocturne de cortisol.

L'excrétion urinaire nocturne de cortisol est statistiquement augmentée par l'exercice d'évacuation (fig. 5).

Ces premiers résultats suggèrent que l'exercice Escapex perturbe l'humeur et le sommeil des sujets, générant même une anxiété d'anticipation, comme en témoigne l'augmentation de l'excrétion de cortisol urinaire. Ils indiquent également que le jour de référence ne semble pas constituer un « jour contrôle » pour les mesures. Cette observation n'est peut-être pas surprenante si l'on prend en compte le fait que le jour de référence était un lundi et que certains sujets ont rejoint l'île Longue dans la nuit du dimanche au lundi. Cependant, il faut également envisager la possibilité que ce facteur se conjugue avec une certaine appréhension à l'idée de participer à l'étude dans le cadre d'un exercice important pour la formation. L'absence de mesure de l'excrétion nocturne de cortisol urinaire dans la nuit du dimanche au lundi ne permet pas d'apporter des arguments en faveur de l'une ou l'autre hypothèse.

Conséquences physio-biologiques de la contrainte (simulateur vs. Escapex ; n = 6).

Dosages biologiques.

Les concentrations salivaires moyennes d'α-amylase et de cortisol aux différents temps de mesures sont résumées tableau IV.

Tableau IV. Réponses physiologiques aux différents temps de mesure.

Référence	α -amylase (U/ml)	Cortisol (nmol/l)	LF/HF
	130,7 \pm 126,4	6,95 \pm 6,3	5,01 \pm 2,48
Simulateur	T0 91,63 \pm 69,8	T0 8,48 \pm 4,84	T0 4,29 \pm 2,18
	T1 97,84 \pm 89,9	T1 6,27 \pm 2,61	T1 4,82 \pm 2,73
	T2 147,03 \pm 113,5	T2 3,3 \pm 1,3	T2 2,77 \pm 2,12
Escapex	T0 141,1 \pm 168,03	T0 6,19 \pm 3,1	T0 3,87 \pm 4,34
	T1 117,22 \pm 152,9	T1 13,83 \pm 7,5	T1 7,91 \pm 9,93
	T2 142,43 \pm 145,07	T2 4,24 \pm 2,6	T2 4,23 \pm 5,22
	T3 162,02 \pm 133,15	T3 3,62 \pm 4,33	T3 6,63 \pm 3,82

Les concentrations salivaires d' α -amylase sont élevées avant l'exercice (T0), diminuent en post-exercice immédiat (T1) et s'élèvent tardivement (T2 pour chacun des exercices et T3 pour Escapex). Si les valeurs sont très différentes entre les individus, on observe des corrélations positives entre T0, T1 et T2 pour la simulation et T0, T1, T2 et T3 pour l'évacuation. Aucune corrélation n'est observée avec les concentrations en TRef. Ces résultats suggèrent que, à l'exception des dosages en TRef, la concentration salivaire d' α -amylase suit la même évolution pour chacun des sujets, chaque individu gardant son rang dans le groupe.

Si l'on compare l'effet du type d'exercice (fig. 6), aucune différence statistique n'est observée entre les deux conditions d'évacuation pour T0, T1 et T2 respectivement. Néanmoins, les corrélations positives entre les deux conditions d'évacuation pour chacune des conditions temporelles de dosage, suggèrent que les sujets gardent leur rang entre les deux conditions d'évacuation. L'exercice d'évacuation en soi semble induire une activation sympathique en deux temps, avec une activation juste avant l'exercice que l'on peut supposer être le reflet biologique d'une appréhension quant à l'exercice à venir, et une activation retardée dont la signification n'est pas évidente. Les prélèvements post-évacuation différés ayant été faits en fin d'après-midi, une explication possible repose sur la cinétique naturelle

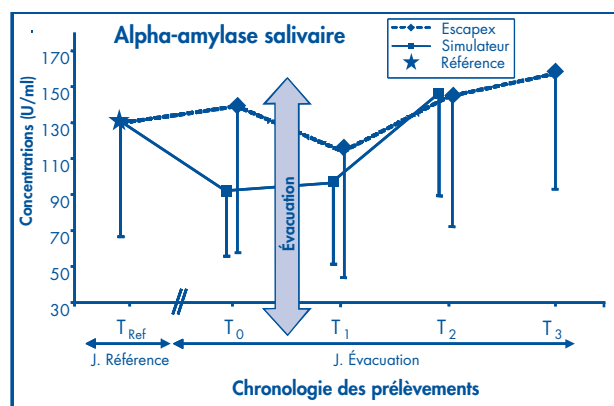


Figure 6. Évolution de la concentration d' α -amylase salivaire (moyennes \pm écart-types) pour chacun des exercices d'évacuation en fonction des jours et des temps de prélèvements.

de l' α -amylase salivaire au cours du nyctémère qui atteint son maximum entre 17h00 et 19h00.

Pour les concentrations salivaires de cortisol, il apparaît que contrairement à l'évacuation en simulateur, l'Escapex induit une augmentation des concentrations immédiatement après l'exercice qui s'amende dans les deux heures après l'évacuation (fig. 7).

L'Escapex s'accompagne donc un stress post-exercice de courte durée. Les corrélations positives entre les différents prélèvements effectués lors de l'Escapex suggèrent que les sujets dont la concentration est la plus élevée en T0, sont ceux qui ont la concentration la plus haute lors du pic de cortisol mesuré en T1 et qui gardent les concentrations les plus hautes malgré la diminution en T2. Par ailleurs, pour les deux exercices, les concentrations en

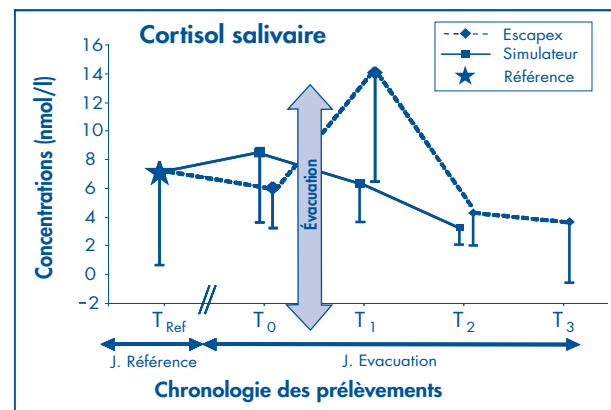


Figure 7. Évolution de la concentration de cortisol salivaire (moyennes \pm écart-types) pour chacun des exercices d'évacuation en fonction des jours et des temps de prélèvements.

post-exercice retardées (T2 pour le simulateur, T2 et T3 pour Escapex) sont plus basses que les concentrations pré-exercice (TRef et T0 (simulation et évacuation)). Ce résultat est probablement à comprendre dans un contexte d'appréhension pré-exercice comme l'ont suggéré les résultats des questionnaires d'humeur et de sommeil, l'excrétion urinaire de cortisol et les dosages salivaires d' α -amylase. Néanmoins, les variations nyctémérales du cortisol sont également susceptibles d'induire ces différences. La concentration de cortisol salivaire diminue au cours de la journée, avec un minimum en fin de journée, or les sujets ont réalisés les exercices dans l'après-midi avec pour le simulateur le recueil des salives de T2 autour de 16 h00 et pour l'Escapex le recueil de T2 autour de 18 heures et celui de T3 autour de 20 h00.

Mesures du tonus parasympathique (LF/HF) (tab. IV).

En simulateur, on n'observe pas de modification du rapport LF/HF entre TRef, T0 et T1 mais une diminution 2 heures après l'exercice. Cette diminution de LF/HF en post-exercice différé traduit une augmentation du tonus parasympathique 2 heures après l'exercice. Ce niveau maximum de tonus parasympathique en post-simulateur retardé suggère que les sujets sont en état de repos 2 heures après l'exercice en simulateur. Pour l'Escapex,

le rapport LF/HF, identique entre T_{Ref} , T_0 , T_2 et T_3 , augmente juste après l'exercice (T_1). L'Escapex induit donc une chute du tonus parasympathique qui revient à son niveau de départ dans les 2 heures. Si les profils de réponse parasympathique apparaissent différents entre les deux exercices (fig. 8), les analyses ne retrouvent aucune différence statistique aux différents temps de mesures. Il existe cependant une dispersion importante des mesures en T_1 pour l'Escapex, susceptible d'expliquer l'absence de différence statistique en T_1 entre les deux exercices.

Par ailleurs, dans le cas de l'Escapex, les rapports LF/HF sont positivement corrélés avec les concentrations salivaires de cortisol pour T_0 , T_1 , T_2 et T_3 . Plus le tonus parasympathique est bas, plus le cortisol salivaire est haut. Contrairement au simulateur, l'Escapex induit une réaction de stress au niveau physio-biologique qui s'amende dans les 2 heures.

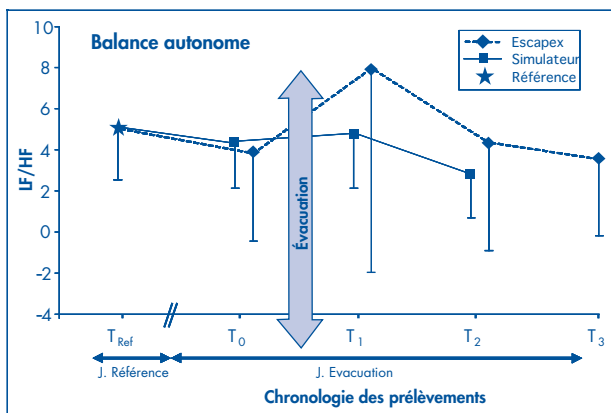


Figure 8. Évolution de la balance autonome (LF/HF; moyennes \pm écart-types) pour chacun des exercices d'évacuation en fonction des jours et des temps de prélèvements.

Conséquences de la contrainte sur la performance (simulateur vs. Escapex; $n = 6$).

On rappelle que les sujets ont effectué l'apprentissage des tests cognitifs le jour de référence et que les performances n'ont pas pu être évaluées avant les exercices d'évacuation. L'analyse des effets de l'exercice sur les performances cognitives testées ne saurait être complète. On observe néanmoins que les performances obtenues pour la mémoire de travail (empan mnésique direct), ont tendance à être moins bonnes immédiatement après l'évacuation (T_1) qu'en post-exercice différé (T_2), et ce quel que soit l'exercice d'évacuation (fig. 9). Les performances en mémoire à court terme sont décrites comme moins bonnes en fin d'après-midi. Cette diminution de l'empan mnésique direct ne peut donc être expliquée par l'heure de mesure dans le nyctémère.

Concernant la tâche d'attention discriminante, les temps de réponse et le nombre de réponses correctes ont été mesurés. Il apparaît que les sujets sont moins rapides immédiatement après l'exercice Escapex qu'après la simulation (fig. 9). Cette différence est néanmoins associée à un nombre de réponses correctes supérieur après l'Escapex qu'après la simulation. Inversement, les temps de réponse mesurés deux heures après sont plus

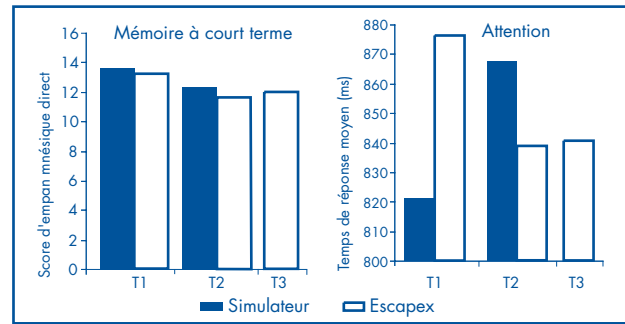


Figure 9. Évolution des performances pour la tâche de mémoire à court terme et la tâche d'attention (temps de réponse) en fonction des temps de passation et des conditions d'évacuation.

rapides pour l'Escapex que pour la simulation. Cette différence est associée à un nombre de réponses correctes légèrement supérieur après l'Escapex qu'après la simulation. L'Escapex semble donc induire une modification de l'attitude attentionnelle dans les suites immédiates de l'évacuation avec des sujets peut-être plus concentrés sur leur tâche. Ce résultat observé dans une tâche monotone connue pour être sensible à l'ennui et la fatigue semble davantage indiquer une augmentation de la mobilisation des ressources attentionnelles dans les suites immédiates de l'Escapex plutôt qu'une augmentation réelle de ces ressources par l'exercice. Finalement, les aptitudes cognitives testées dans les suites immédiates de l'évacuation semblent diminuées, avec un effet plus marqué pour l'Escapex.

Analyse de l'effet du facteur « antécédents d'accident ».

Parmi les cinq sujets ayant rapporté des antécédents d'accidents au cours d'une mission en mer, seuls deux sujets ont participé à l'Escapex. L'effet du facteur « antécédents d'accidents » a donc été analysé sur les données recueillies pour l'exercice en simulateur uniquement en comparant les variables mesurées dans les groupes accident (GA, $n = 5$) et absence d'accident (GAA, $n = 8$).

Caractéristiques des deux populations.

Les sujets victimes d'un accident constituent un groupe légèrement plus jeune (moyenne d'âge, GA : $30,0 \text{ ans} \pm 5,6 \text{ ans}$ et GAA : $31,3 \pm 4,3 \text{ ans}$), avec un peu moins d'années d'expérience (moyenne, GA : $9 \pm 4,7 \text{ ans}$ et GAA : $11,6 \pm 5,6 \text{ ans}$). Le nombre d'expériences en simulateur est identique pour les deux groupes (GA : $3 \pm 2,4$ et GAA : 3 ± 1). Deux des sujets du groupe accidents étaient dans le SNA *Rubis* accidenté en avril 2007 et n'avaient pas repris la mer depuis l'accident. Les trois autres ont été victimes d'accidents divers (blessure personnelle, fausse manœuvre responsable de l'amputation de deux phalanges d'un équipier, incident de plongée lors d'une mission sur un sous-marin). Le profil psychologique moyen (NEO-PIR) n'est pas différent entre les deux groupes. Cependant, il existe des différences non seulement en termes de stratégies de coping avec des stratégies orientées vers l'émotion et

l'évitement plus importantes dans le groupe accident mais aussi en termes d'anxiété-état (Spielberger), les sujets accidentés rapportant au moment de la mesure un niveau d'anxiété supérieur.

Effet de l'existence d'un antécédent d'accident sur la façon de percevoir l'évacuation en simulateur avant l'exercice.

Chez les sujets ayant un « antécédent d'accident » (GA), on observe une tendance à exprimer avant la simulation un niveau de tension-anxiété plus grand, un niveau d'activité-vigueur plus faible et un niveau de fatigue plus grand. Ces sujets expriment également une plus grande latence d'endormissement et une moins bonne qualité de sommeil. Ils ont, par ailleurs, tendance à avoir une excrétion urinaire nocturne de cortisol supérieure à celle des sujets sans antécédent. Ainsi, l'existence d'un « antécédent d'accident » perturbe la façon dont le sujet perçoit l'exercice en simulateur, générant si ce n'est une anxiété d'anticipation, comme le suggère l'augmentation de l'excrétion de cortisol urinaire, au moins une appréhension de l'exercice à venir plus importante.

Effet de l'existence d'un antécédent d'accident sur les conséquences physiologiques de l'évacuation en simulation.

Concernant les concentrations salivaires d' α -amylase et de cortisol, les réponses sont également différentes entre les deux groupes. Chez les sujets GA, la tendance à avoir une activité sympathique plus importante la veille de l'exercice (T_{Ref}) est suivie d'une activité sympathique moins importante en post-exercice immédiat et à distance (T_1 et T_2). À l'inverse, l'activation corticotrope n'est pas différente entre les deux groupes la veille de la simulation (T_{Ref}), mais elle est plus importante en pré (T_0) et post-exercice (T_1 , T_2) pour le groupe GA. Le rapport LF/HF, identique entre les deux groupes pour T_{Ref} , T_0 et T_1 , est plus faible en post-exercice différé (T_2) pour les sujets GA. Ainsi, si l'exercice en simulateur induit un état d'activation pour les sujets indemnes d'accidents, il génère un stress pendant toute la durée de l'exercice pour les sujets aux antécédents d'accident. Cette réaction est cependant associée à une activité parasympathique plus importante dans les deux heures qui suivent l'exercice.

Conséquences de la contrainte sur la performance.

Si aucune différence n'est observée sur les tâches d'empan mnésique entre les groupes, les sujets victimes d'accidents réalisent différemment la tâche d'attention discriminante en T_1 et T_2 (temps de réponse plus rapides, moins de réponses correctes).

Discussion.

Les sous-marinières ne sont pas différents de la population masculine française de même âge.

Le profil psychologique du groupe de sous-marinières étudié apparaît globalement identique à celui décrit pour

la population moyenne française de même âge et sexe, avec néanmoins une plus grande homogénéité du groupe. La faible taille de l'échantillon rend difficile la comparaison de ces résultats avec les quelques études s'intéressant au profil psychologique des sous-marinières. Il a ainsi été observé que les sous-marinières ne constituaient pas une population statistiquement différente des autres populations de marins (4, 5, 7) Une équipe de chercheurs a également décrit, à partir d'une population de 85 sous-marinières, une plus grande proportion de personnalités introverties et obsessionnelles (15). Ces travaux ont également mis en évidence chez ces mêmes sujets l'importance du contrôle interne et de la cohésion du groupe comme modes de défense face aux contraintes opérationnelles. Dans notre groupe, les modes de défense apparaissent être des stratégies de « faire face » rationnelles et non émotionnelles.

Si les sous-marinières sont soumises à une sélection rigoureuse, l'utilisation des tests psycho-techniques a pour seul objectif de déterminer les aptitudes requises pour l'exercice du métier. Cependant, ces tests ne permettent pas d'avoir une image complète de la population constituant le corps. Une étude portant sur un échantillon plus important, de tous grades et de tous âges permettrait de mieux appréhender les caractéristiques personnelles de ce groupe spécifique de marins et de mettre éventuellement en relation certains traits de personnalité et orientation de carrière en termes de spécialité, de durée d'engagement, de satisfaction, etc.

L'exercice en simulateur n'a pas le même coût psycho-physio-biologique que l'Escapex.

Si le plan de formation des sous-marinières prévoit un exercice d'évacuation en simulateur tous les deux ans, l'Escapex a placé les sujets dans une situation potentiellement dangereuse en cas de non-respect des consignes, peu familière et beaucoup plus proche de la situation d'avarie grave nécessitant l'abandon du bâtiment que le simulateur. Aucune étude, à notre connaissance, n'a évalué les conséquences psycho-physio-biologiques d'un exercice d'évacuation (simulateur ou exercice type Escapex). Une seule étude a évalué certaines fonctions cognitives chez quatre sous-marinières maintenus dans une situation expérimentale de survie pendant sept jours, mais elle n'a pas observé de diminution des capacités testées (2).

Si l'on prend en compte l'ensemble des résultats, les deux exercices n'ont pas eu les mêmes conséquences pour les sujets. L'Escapex a induit une anxiété d'anticipation dans les heures précédant l'embarquement dans le SNA plus importante que celle mesurée dans les heures précédant l'exercice de simulation. Cette anxiété est mise en évidence non seulement par les questionnaires subjectifs (humeur, sommeil), mais aussi par l'excrétion urinaire nocturne de cortisol. Alors que l'exercice en simulateur s'est déroulé dans une bonne ambiance, les expérimentateurs, à bord du sous-marin, ont noté l'existence de comportements d'impatience patente chez les sujets, en particulier face aux aléas techniques retardant la stabilisation du sous-marin en plongée

statique, et donc leur évacuation. Les expérimentateurs à bord du bâtiment de surface récupérant les évacués ont également décrit des sujets excités, voire euphoriques. Cet état d'activation comportementale dans les suites immédiates de l'exercice s'est traduit au niveau biologique par une augmentation importante de la concentration de cortisol salivaire et au niveau physiologique par une chute du tonus parasympathique, non observées en simulateur. Si cette réaction de stress des sujets s'est amendée dans les deux heures, l'Escapex a perturbé certaines des tâches cognitives évaluées, suggérant que la capacité opérationnelle puisse ne pas être conservée dans son intégrité en situation réelle d'évacuation. Enfin, en situation d'avarie impliquant l'abandon du bâtiment, l'ordre d'évacuation prévoit une évacuation opérationnelle des individus, commençant par l'évacuation en premier des sous-marinières plongeurs pour optimiser le sauvetage d'évacués en difficulté. Il faut considérer que cette phase d'attente dans un environnement de danger vital ne peut qu'amplifier les effets observés dans cette étude.

Les antécédents d'accident augmentent le coût psycho-physio-biologique de l'exercice.

La prise en compte des antécédents d'accidents en sous-marin a mis en exergue le rôle discriminant d'un tel événement sur le coût de l'exercice réalisé en simulateur. Les sujets victimes d'un accident répondent à l'exercice par une réaction de stress, toujours présente à deux heures de l'évacuation. Il apparaît néanmoins un diasthésis dans la réponse à 2 heures, puisque l'activation corticotrope est associée à un fort tonus parasympathique. Cette réponse spécifique du groupe accidenté au cours de l'exercice de simulation demande à être évaluée dans la situation plus critique d'une évacuation d'exercice réelle type Escapex. La figure 10 résume les principales différences observées entre le groupe avec antécédent d'accident et le groupe indemne en amont de l'exercice (anxiété d'anticipation), dans les suites immédiates de l'exercice (réaction de stress) et dans la récupération deux heures après l'évacuation.

Ces résultats sont à interprétés au regard des connaissances actuelles sur les mécanismes de désadaptation aux contraintes. Dans la littérature, la désadaptation aux contraintes est considérée comme secondaire à une certaine « somme de stress », variable selon les individus, qui de façon très simplifiée apparaît selon un processus dynamique de paliers, culminant dans les pathologies de stress en l'absence de dépistage et de prise en charge adaptée. Ces étapes se caractérisent au niveau physiologique par des perturbations de la réponse impliquant le système nerveux autonome et l'axe corticotrope. Un premier niveau de désadaptation se démasque par une baisse du niveau de tonus parasympathique associé à une diminution de sa flexibilité face aux contraintes. L'organisme, insuffisamment régulé par un tonus parasympathique défaillant, est donc soumis à une activation sympathique importante et permanente. Un deuxième pas de désadaptation est franchi lorsque l'axe corticotrope s'emballe. Le sujet est au quotidien en état

de stress physiologique. Si cette activation corticotrope massive est génératrice de pathologies, elle favorise le risque de mémorisation traumatique. Un nouveau palier est alors franchi quand la réponse corticotrope s'effondre. Le fonctionnement de l'organisme en état chronique d'hyper activation sympathique et d'hyporéactivité

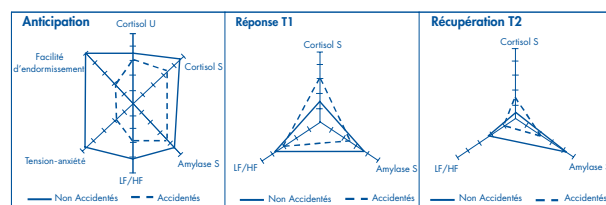


Figure 10. Principales différences observées entre les deux groupes en fonction des temps de mesure.

corticotrope se modifie au niveau immunologique, hormonal et central, ce qui provoque, outre une réorganisation structurelle, l'apparition des pathologies de stress comme les états de stress post-traumatique.

L'intérêt de cette approche est de souligner que la connaissance de la réponse physiologique d'un sujet dans sa vie quotidienne pourrait permettre de déterminer où il se situe dans le processus de désadaptation aux contraintes. La réponse à la simulation ne permet pas de répondre à cette question. Elle met l'accent sur le fait que la simulation a une signification autre qu'un simple entraînement pour les sujets aux antécédents d'accidents et suggère un effet de « priming » (*i.e.* mémorisation de l'antécédent d'accident) sur leur réponse à un exercice en relation indirecte avec l'évènement. Ce résultat appelle la poursuite des études s'intéressant à la détermination d'indicateurs de désadaptation dans un souci de protection des sujets fragilisés encore adaptables aux contraintes, mais susceptibles de devenir des « blessés psychiques ». Une piste de recherche est la détermination « d'abaques de vulnérabilité » prenant en compte un certain nombre de mesures psycho-physiologiques qui restent encore à déterminer.

Les expériences de terrain sont complexes à réaliser mais informatives.

Les résultats présentés sont souvent en limite de significativité. Ce manque de puissance statistique est lié au faible effectif de sujets impliqués dans l'étude. Pourtant, le simple fait qu'un aussi petit effectif ait pu autoriser l'émergence de tendance souligne la réalité et l'importance des phénomènes appréhendés.

Comme précédemment suggéré, il n'a pas été possible de disposer de mesures de référence (ligne de base des sujets) et de contrôler parfaitement l'effet des variations nyctémérales sur les variables mesurées. Ces constats soulignent les difficultés des expérimentations de terrain pour lesquelles l'exigence est d'abord opérationnelle, impliquant pour le chercheur qu'il fasse au mieux sans perturber le déroulement de la manœuvre. Ces aléas ne doivent pas constituer un frein pour la mise en œuvre des expérimentations de terrain qui permettent aux

chercheurs du Service de santé d'apporter des éléments de réponse aux problèmes que se posent les états-majors. Outre le plaisir d'un travail au contact direct des militaires, la coopération des chercheurs avec les états-majors, les militaires et les médecins de terrain est indispensable à l'efficacité du Service de santé dans sa mission régalière de protection des forces.

Conclusion.

La conception des sous-marins et l'entraînement des équipages à la sécurité-plongée réduisent le risque d'une fortune de mer. Cependant, la sécurité impose de prendre en compte ce risque en donnant aux équipages les moyens de réagir correctement en situation : il s'agit de les entraîner aux procédures pour durer et attendre les secours (évacuation collective), mais aussi de les former aux procédures d'évacuation individuelle, qui ne sont mises en œuvre que dans des cas extrêmes en raison des risques d'accidents de désaturation (12). Cette étude s'est inscrite à la suite de l'accident du SNA *Rubis* en avril 2007 dans le cadre de l'optimisation de la sécurité des sous-marins en situation opérationnelle. L'objectif était de caractériser les différences psycho-physio-biologiques entre deux types d'entraînement à l'évacuation (simulateur et exercice au plus près de la réalité (Escapex)). Les résultats soulignent la nécessité pour les sous-marins d'un entraînement régulier aux procédures d'évacuation afin de pallier la diminution cognitive en situation de stress réel que suggère cette étude.

Cette étude a également mis en évidence l'importance d'un antécédent d'accident dans la réponse psycho-physio-biologique des individus à l'exercice d'évacuation en simulateur. Au niveau de l'individu, ce résultat pose la question de la détection des sujets victimes de « blessures psychiques » et souligne la nécessité de disposer d'outils permettant de déterminer où un individu se situe dans le processus de désadaptation aux contraintes. À un niveau collectif, se pose également la question de la capacité opérationnelle d'un équipage après un incident de mer. Doit-on considérer que le facteur de cohésion de groupe suffit à remplir la mission ou faut-il considérer que la somme des vulnérabilités individuelles peut induire une vulnérabilité collective ? Si l'accident de l'*Émeraude rouge* (1994) n'a engendré ni démission des sous-marins rescapés, ni problème au sein de ce groupe lors des missions ultérieures, il demeure difficile de répondre avec certitude à cette question à partir des résultats obtenus. La poursuite des travaux apparaît indispensable.

Remerciements : les auteurs remercient le médecin chef des services Abiliou (chef du Service de santé des forces sous-marines et de la force océanique stratégique) pour nous avoir autorisés à initier cette étude. Ils remercient également pour leur participation active et l'intérêt qu'ils ont porté à l'étude tous les personnels du CESI (île Longue), de l'infirmerie de l'ESNA (Toulon) ainsi que le laboratoire de biologie du CRSSA. Ils remercient enfin M^{me} Baffion-Venturi pour son précieux travail de programmation et M^{lle} Mountadem pour l'aide à la saisie des données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Van Wijk C, Waters AH. Personality characteristics of South African Navy submarine personnel. *Military medicine* 2000;165:656-9.
2. Selye H. The general adaptation syndrome and diseases of adaptation. *Journal of Clinical Endocrinology* 1946;6:117-230.
3. Bryant RA. Acute stress reaction: can biological responses predict post-traumatic disorder? *CNS Spectrums* 2003;8:668-74.
4. Bryant RA. Early predictors of post-traumatic stress disorder. *Biological Psychiatry* 2003;53:789-95.
5. Groves DA, Brown VJ. Vagal nerve stimulation: a review of its applications and potential mechanisms that mediate its clinical effects. *Neurosciences Biobehavioral Review* 2005;29:493-500.
6. Porges SW. Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *Neurosciences Biobehavioral Review* 1995;19:225-33.
7. Raison CL, Miller AH. When not is too much: the role of insufficient glucocorticoid signalling in the pathophysiology of stress-related disorders. *American Journal of Psychiatry* 2003;160:1554-65.
8. Folkmann S, Schaefer C, Lazarus RS. Cognitive processes as mediator of stress and coping. In V. Hamilton & D.M. Warburton eds. *Human stress and cognition: an information processing approach*. London, Wiley Ed.; 1979.
9. Yerkes RM, Dodson JD. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology* 1908;18:459-482.
10. Amabile JC, Defrance JP, Féraud M, Panet JJ, Roé H. Sauvetage des équipages de sous-marins. *Médecine et Armées* 2000;28,3:247-54.
11. Amabile JC, Tomes B, Padilla A, Abiliou R. problèmes médicaux liés au sauvetage de l'équipage d'un sous-marin. Pathologies liées à l'environnement et milieu militaire. Paris-HIA Begin, novembre 2002 (communication orale).
12. Padilla A, Amabile JC, Oulié C, Abiliou R. Problèmes médicaux liés au sauvetage de l'équipage d'un sous-marin. *Urgence Pratique* 2005;68:29-32.
13. Spielberger CD, Gorsuch RL, Lushene RL. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologists; 1970.
14. Sandal GM, Endresen IM, Vames R, Ursin H. Personality and coping strategies during submarine missions. *Military Psychology* 1999;11:381-404.
15. Slaven G, Windle, C. Cognitive performance over 7 days in a distressed submarine. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 1999;70(6):604-8.