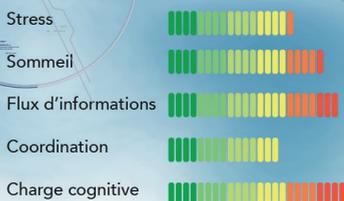


SURCHARGE COGNITIVE : LA COMPRENDRE ET LA GÉRER



LE SOLDAT AUGMENTÉ



Créé le 21 juillet 1995, il a pour missions :

- d'assurer la qualité et le niveau permanent de l'enseignement délivré aux élèves-officiers ;
- d'être un acteur majeur de la recherche au sein de l'armée de Terre.

Afin de mener à bien ces missions, le CRcC Saint-Cyr peut s'appuyer sur 44 enseignants-chercheurs sous la direction de M. Ronan Doaré, directeur général de l'enseignement et de la recherche, et de M. Stéphane Baudens, directeur du CRcC Saint-Cyr.

L'activité de recherche est structurée en 2 pôles et 6 observatoires, tous finalisés sur le métier militaire. Elle repose sur des axes définis par un conseil scientifique permettant de mener des actions en France et à l'étranger (ouvrages, colloques, direction des thèses, etc.).

Le pôle « Sciences humaines et sociales » organise ses travaux autour des thématiques contemporaines en matière de sécurité et de défense, sous l'angle des sciences humaines, sociales et politiques, et de leurs conséquences pour l'action des forces terrestres. Il oriente ses travaux sous 4 axes de recherche : Armées, États et sociétés, la Mutation des conflits contemporains, les Écrits sur la guerre, le Soldat et son environnement.

Le pôle « Sciences et technologies de défense » regroupe l'ensemble des recherches scientifiques relatives aux sciences de l'ingénieur. Il a vocation à mener des projets de recherche appliqués aux problématiques de défense et sécurité en relation avec les partenaires institutionnels. Il est une structure pluridisciplinaire regroupant des enseignants-chercheurs des spécialités liées aux sciences de l'ingénieur que sont l'électronique, l'informatique, les mathématiques appliquées et la mécanique.



L'Observatoire des enjeux des nouvelles technologies pour les forces étudie les possibles nouveaux usages que favorise l'émergence des nouvelles technologies développées par les mondes civil et militaire, et analyse leurs impacts sur le monde de la Défense, avec un focus particulier sur l'armée de Terre.

L'Observatoire du fait religieux a pour but de suivre les évolutions contemporaines des questions religieuses en Europe, en Afrique et au Moyen-Orient, dans une triple démarche géopolitique, sociologique et anthropologique.

L'Observatoire des forces morales est chargé de produire des savoirs d'actions au profit de l'armée de Terre dans le domaine des forces morales du militaire, de son entourage familial et de la société dont il est issu.

L'Observatoire économie de Défense a pour objectif d'évaluer à échéances régulières l'évolution de la recherche en économie de la Défense et de participer à des activités en partenariat dans le domaine de la théorie des jeux.

L'Observatoire Droit et Défense s'emploie à établir des partenariats internationaux dans le domaine de la justice militaire, à travers la participation à des colloques et la coordination de publications.

L'Observatoire influence et désinformation, commun aux 2 pôles, étudie la question des nouvelles technologies et le rôle de la communication dans la diffusion des fausses nouvelles par les États et les organisations, ainsi que dans les moyens de lutte contre ces activités.

Enfin le **Bureau cohérence enseignement recherche** est le correspondant privilégié des démarches d'intégration de projets de recherche appliquée et innovants, en lien avec la Base industrielle et technologique de défense.

Le soldat augmenté Surcharge cognitive : la comprendre et la gérer

Actes enrichis du colloque organisé
par l'Observatoire des enjeux des nouvelles technologies pour les forces
du Centre de recherche de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan
avec l'Institut de recherche biomédicale des armées
le mercredi 20 mars 2024
à l'École du Val-de-Grâce

Sommaire

7 **Propos introductifs** HERVÉ DE COURRÈGES

Témoignages militaires de surcharge cognitive en situation opérationnelle

13 **Surcharge cognitive pour un pilote : a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?**

CHRISTOPHE MELET

La surcharge cognitive des pilotes de chasse met en lumière les défis de l'adaptation humaine face à la complexité croissante des missions. Gestion de systèmes complexes, exigences multitâches, assimilation d'un volume important d'informations, etc., les risques de saturation peuvent compromettre performance et sécurité. Des solutions comme la priorisation des tâches, l'entraînement cognitif et l'optimisation des interfaces Homme-Machine visent à mieux gérer cette charge. En combinant innovations technologiques et maîtrise de la plasticité cérébrale, il devient possible d'explorer de nouvelles voies pour renforcer la collaboration entre l'homme et les systèmes tout en maintenant, au centre, le rôle du jugement humain.

27 **Comprendre et gérer la surcharge cognitive : témoignage d'un officier de l'armée de Terre**

ARNAUD RUYANT

Un officier de l'armée de Terre témoigne de trois expériences personnelles, reflète de l'engagement opérationnel de sa génération, afin de décrire l'état mental d'un chef dans la prise de décision en opération. Chez l'individu, trois facteurs ont une influence majeure sur la charge cognitive : l'expertise du domaine en cause, le mode opératoire et la gestion d'états mentaux qui interfèrent avec la réalisation de la tâche, comme le stress, l'anxiété, la peur, le fait de devoir lutter contre une menace, réelle ou imaginée. Ces trois facteurs permettront de cadrer la solution à apporter, c'est-à-dire répondre à la question de mieux gérer individuellement et collectivement la charge cognitive.

35 **La surcharge cognitive en opération militaire complexe : l'exemple du JTAC**

DJAMEL BOUADJADJ et MICKAËL MARIA

Le JTAC (*Joint Terminal Attack Controller*) est un poste exigeant qui demande une adaptabilité sans faille. Son rôle est simple, coordonner les manœuvres terrestres et aériennes tout en étant inséré avec les troupes au sol. Que ce soit en mission, au cours de sa formation ou encore à l'entraînement, il fait sans cesse face à une lourde surcharge cognitive du fait des multiples intervenants avec lesquels il s'interface (Forces aériennes et terrestres) et des équipements qu'il doit gérer (communications, drones...), sous la menace ennemie. Grâce à une formation adaptée, un entraînement régulier et des procédures clairement établies, le personnel qualifié JTAC est tout à fait apte à évoluer dans des conditions tactiques complexes et dégradées.

Impact sur le commandement

45 **Apprendre à rester lucide : expérience d'un pilote de Rafale Marine**

VINCENT BERTHELOT

Les missions des forces armées exigent des combattants un engagement sans faille, souvent proche des limites physiques des hommes et des machines. Aujourd'hui, l'hyper-connectivité des systèmes et les opérations multimilieux créent des environnements de plus en plus complexes, dans lesquels l'humain doit apprendre à conserver sa place. La gestion de la charge mentale est devenue une véritable bataille à mener ! Ancien pilote de chasse, l'auteur a rencontré de nombreuses situations dans lesquelles il a ressenti une forte charge cognitive : immédiateté de l'information, flux des données à traiter, etc., autant de nouvelles

caractéristiques du combat qui peuvent entraîner, si elles sont mal appréhendées, un dangereux phénomène de saturation. Il propose une méthode simple – le SCAN – pour réussir à rester concentré sous haute intensité.

51 **Surcharge cognitive et accidentologie : retour d'expérience des enquêtes de sécurité aérienne**

ANTHONY VACHER, MANDY LAMBERT, VÉRONIQUE CHASTRES, DAMIEN MORISSON, PASCAL VAN BEERS, SAMI MECHERI et LÉONORE BOURGEON

La surcharge cognitive est souvent citée comme un facteur contribuant aux événements aériens graves. Cet article examine les éléments permettant d'évaluer la charge cognitive des équipages impliqués dans un événement aérien. Il décrit un incident incluant un épisode de surcharge cognitive dans l'aviation de chasse, puis présente les résultats d'une étude rétrospective visant à estimer la proportion des événements aériens graves impliquant un aéronef d'État comportant un épisode de surcharge cognitive sur la période 2010-2020, et à explorer les circonstances de survenue de ces événements. Les résultats de cette étude soulignent l'importance cruciale de la prévention des épisodes de surcharge cognitive pour la sécurité aérienne.

71 **Monitoring et gestion des data multichamps du footballeur de haut niveau**

CHRISTOPHER CARLING

Dans le football de haut niveau, l'objectif est de gagner des matchs. Cela est complexe et dépend d'un certain nombre de facteurs comme les qualités techniques, tactiques, mentales et physiques des joueurs. Il est fréquent pour certaines équipes de haut niveau de jouer jusqu'à 50-60 matchs par saison comprenant deux matchs par semaine, plusieurs semaines de suite, avec des matchs de préparation, de championnat, de coupes, de compétitions continentales et internationales. De plus, elles participent souvent à plus de 200 séances d'entraînement au cours de la saison. Ce calendrier a forcément un impact sur le bien-être physique et mental, et aggrave le risque de blessure. Le rôle des staffs est donc d'assurer que les joueurs récupèrent le plus vite possible, afin qu'ils soient capables de s'entraîner et de multiplier les matchs tout au long de la saison. Pour cela, il est impératif de monitorer et d'évaluer la fatigue et l'état de forme des joueurs.

Définitions et explications scientifiques des mécanismes de la surcharge cognitive

85 **Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques**

FRANÇOISE DARSES

La surcharge cognitive survient dans des situations le plus souvent menaçantes et caractérisées par leur forte dynamique temporelle et par le caractère crucial – voire vital – des décisions à prendre dans ces conditions. Nous replaçons cette notion au regard de plusieurs construits psychologiques conjoints : charge cognitive, charge mentale et charge de travail. Partant des travaux qui ont été menés depuis plus d'un siècle sur la charge de travail, nous resserrons progressivement notre propos autour de la charge cognitive, en présentant les principaux modèles et les méthodologies de mesure de la charge qui sont actuellement utilisés en ergonomie cognitive.

99 **Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?**

EMMANUEL GARDINETTI

Cet article explore l'impact des conditions opérationnelles sur les fonctions cognitives des soldats. Il souligne l'importance d'une approche pluridisciplinaire intégrant le facteur humain et la technologie. L'auteur distingue deux systèmes cognitifs : un rapide et intuitif, exposé aux biais, et un plus lent et analytique. Il met en garde contre les erreurs induites par la surcharge cognitive et le stress, et plaide pour des recherches écologiques et transdisciplinaires. Enfin, il appelle à anticiper l'impact des technologies sur la cognition pour éviter des effets non maîtrisés.

105 Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué : de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

CHRISTOPHE DENIAUD

À l'aide de quelques considérations philosophiques issues de travaux sur la phénoménologie de la perception, nous exposerons l'intérêt de parler d'une « phénoménologie de la cognition » pour poser, selon cette terminologie, les fondements ontologiques de ce que signifierait percevoir, penser et agir. Nous illustrerons, dans un premier temps, les fondements de ce nouveau paradigme à l'aide d'une métaphore que nous nous proposerons d'intituler « la mécanique cognitive relativiste ». Suite à cette mise en perspective, nous présenterons quelques modèles des sciences cognitives à considérer pour repenser la caractérisation non pas de la charge ou de la surcharge cognitive mais de la mécanique cognitive du combattant débarqué.

116 Charge cognitive en situation opérationnelle

JULIE ALBENTOSA, ALEXIS REMIGEREAU et FRANÇOISE DARSESE

La charge cognitive du fantassin constitue un enjeu majeur dans la mesure où une charge élevée peut mener à une surcharge qui se caractérise par l'altération des performances, pouvant ainsi avoir un impact sur la santé et la sécurité des fantassins. Notre étude a permis d'identifier des situations et des tâches associées que nous avons reproduites en environnement simulé afin de tester l'effet du nombre de tâches simultanées et de leur modalité sur la charge cognitive et les performances du chef de groupe débarqué. Les résultats ont révélé six situations de surcharge. L'environnement simulé créé pourra servir pour tester l'impact des équipements des fantassins sur leur charge cognitive, en particulier dans les situations déjà saturantes.

123 Le contrôle cognitif du combattant débarqué : entre flexibilité et stabilité attentionnelle

SAMI MECHERI

Dans les situations opérationnelles débarquées, caractérisées par des environnements multitâches, incertains et changeants, l'action orientée vers un but nécessite un équilibre entre des exigences cognitives antagonistes. D'une part, les combattants doivent maintenir et protéger les buts de la tâche en cours pour se prémunir des informations distrayantes (stabilité attentionnelle). D'autre part, ils doivent reconfigurer leur système cognitif lorsqu'une tâche devient nouvellement pertinente en raison d'une exigence situationnelle (flexibilité attentionnelle). Cet article examine les processus de contrôle cognitif qui sous-tendent l'activité du combattant entre stabilité et flexibilité attentionnelle, ainsi que les coûts associés à la flexibilité attentionnelle en contexte multitâche.

135 Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

FABIEN SAUVET, ANAIS PONTIGGIA, DANIELLE GOMEZ-MERINO et MOUNIR CHENNAOUI

Les opérateurs de systèmes d'armes réalisent des tâches cognitives multiples et complexes dans des environnements physiologiques contraignants (altitude, manque de sommeil, accélérations, chaleur...), qui majorent la charge de travail mental et favorisent la surcharge cognitive. Les contraintes physiologiques induisent des réponses électrophysiologiques qui diminuent la performance des algorithmes de détection de la surcharge cognitive. L'évaluation de la charge de travail mental dans des environnements physiologiques contraignants, de laboratoire et sur le terrain, est donc nécessaire pour évaluer les capacités maximales des combattants et pour la mise au point des algorithmes de détection.

145 La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

FRÉDÉRIC CANINI et DAMIEN CLAVERIE

« La surcharge mentale en dehors de l'action » est un paradoxe traduisant la maladaptation à l'environnement et la vulnérabilité d'un individu affrontant les défis qui l'assaillent. Appelée *burnout*, cet état associe épuisement émotionnel, distanciation au monde ainsi qu'altération des performances professionnelles et cognitives. Accompagné d'un état de stress chronique, il peut évoluer vers des pathologies médicales. Les facteurs de risque de *burnout* sont : la charge de travail, son absence de maîtrise, le défaut de reconnaissance et un contexte difficile voire hostile. Combattre les conditions de *burnout*, c'est améliorer la santé individuelle comme les performances et résiliences collectives.

159 **Réduire la charge mentale ?**

EMMANUEL GARDINETTI

Cet article aborde la surcharge cognitive dans les systèmes de défense, soulignant l'importance croissante d'intégrer le facteur humain dans la conception de ces systèmes. L'auteur met en lumière la complexité croissante des systèmes de systèmes, notamment avec l'essor des technologies interconnectées (drones, IA, capteurs). Pour répondre aux défis futurs, il appelle à une approche sociosystémique, visant à rendre les interactions plus intuitives et à alléger la charge cognitive des utilisateurs. Il conclut sur la nécessité de maintenir des compétences humaines pour gérer les défaillances technologiques et propose six axes de recherche pour l'innovation en défense.

164 **MindPulse : un nouvel outil pour mesurer capacités décisionnelles et degré de vigilance**

SANDRA SUAREZ et BERTRAND EYNARD

La vigilance et les capacités décisionnelles (centrales aux fonctions exécutives) sont cruciales en milieu militaire. Stress, fatigue et surcharge cognitive peuvent les altérer. Le test numérique *MindPulse*, basé sur des modèles avancés, évalue ces aptitudes en 15 minutes pour identifier les vulnérabilités et permet d'avoir un aperçu de l'interaction émotionnelle sur les capacités décisionnelles. Des avancées récentes améliorent les mesures en utilisant le Modèle de diffusion de la décision (DDM) et de l'Intelligence artificielle (IA) afin d'analyser les dynamiques individuelles d'adaptation. Testé en milieu militaire, *MindPulse* ambitionne d'évoluer vers un *monitoring* en temps et environnement réels.

173 **La neuromodulation pour prévenir les situations de surcharges cognitives : application aux pilotes d'avions**

SÉBASTIEN SCANNELLA et QUENTIN CHENOT

Le transport aérien, bien que sûr, présente des risques liés à la fatigue et à la surcharge cognitive. Deux études ont exploré les bénéfices possibles de l'entraînement cognitif et de la stimulation transcrânienne (tRNS). Dans la première, la tRNS a amélioré la rétention des compétences dans la tâche *Space Fortress*, surpassant le placebo et les configurations standard. La seconde étude n'a montré aucune différence significative entre les groupes stimulés et placebo dans la gestion de scénarios de vol simulés, suggérant un transfert limité des effets de l'entraînement. Ces résultats soulignent le potentiel de la tRNS, mais aussi ses limites, du moins avec les paramètres utilisés ici.

185 **Charge cognitive et surdité attentionnelle : des pistes opérationnelles**

CLARA SUIED

Les militaires sont souvent soumis à des conditions extrêmes, avec une forte charge cognitive et émotionnelle. Dans ces situations, des *stimuli* auditifs – tels des alarmes sonores – qui seraient facilement perceptibles dans d'autres conditions ne le sont plus. On appelle ce phénomène la surdité attentionnelle. Nous avons exploré deux solutions pour y remédier : l'utilisation du son spatialisé (son 3D) et des alarmes rugueuses (plus saillantes auditivement). Les expériences menées montrent une diminution de la surdité attentionnelle pour ces alarmes spatialisées ou rugueuses. Ces contre-mesures auditives, faciles à mettre en œuvre, sont prometteuses et permettraient d'améliorer la sécurité des militaires.

194 **La *mindfulness*, une aide à la gestion de la charge cognitive ?**

MARION TROUSSELARD

La méditation est un ensemble de techniques qui développent des compétences attentionnelles singulières de pleine conscience. Elle permet une plus grande acceptation de la réalité, instant après instant, ainsi que des capacités accrues d'adaptation aux situations. Si de nombreux travaux ont montré son rôle dans la qualité de la santé et de l'adaptation au stress, des travaux plus récents ont attesté de son intérêt pour une meilleure gestion de la charge cognitive et de la charge mentale. Ces bénéfices posent le fonctionnement en pleine conscience comme un fonctionnement d'intérêt au regard du besoin cognitif militaire, particulièrement en situation opérationnelle.

199 **Vade-mecum des comportements de santé à l'usage des décideurs pour la gestion de la charge cognitive en situation de crise prolongée**

ÉRIC VALADE et MARION TROUSSELARD

La surcharge cognitive est largement décrite par les chefs militaires/décideurs en situation de gestion de crise. Cette surcharge peut s'inscrire dans la durée, ce qui implique pour les chefs/décideurs de maintenir un bon état de santé pour être cognitivement efficient. Les comportements de santé que chacun peut mettre en œuvre participent au bon fonctionnement de la cognition en situation de surcharge. Ces comportements peuvent prendre différentes formes. Le service de santé est un soutien précieux pour mettre en place ces comportements protecteurs avant la crise afin de se donner les moyens de maintenir un fonctionnement cognitif optimum dans la durée de la crise.

Conclusions et enjeux

215 **Conclusions**

MOUNIR CHENNAOUI et GÉRARD DE BOISBOISSEL

Synthèse des travaux et perspectives.

Les *Cahiers de la RDN* sont édités par le Comité d'études de défense nationale
(Association loi 1901)

Adresse géographique : École militaire, 1 place Joffre, bâtiment 34, PARIS VII

Adresse postale : BP 8607, 75325 PARIS CEDEX 07

www.defnat.com - redac@defnat.com

Directeur de la publication : Thierry CASPAR-FILLE-LAMBIE - Tél. : 01 44 42 31 92

Rédacteur en chef : Jérôme PELLISTRANDI - Tél. : 01 44 42 31 90

Rédacteur en chef adjoint : Thibault LAVERNHE

Secrétaire général de rédaction : Jérôme DOLLÉ - Tél. : 01 44 42 43 69

Assistante de direction et secrétaire de rédaction : Marie-Hélène MOUNET - Tél. : 01 44 42 31 92

Secrétaire de rédaction : Alexandre TRIFUNOVIC - Tél. : 01 44 42 43 69

Abonnements : Valérie SABBATINI - Tél. : 01 44 42 38 23 (boutique@defnat.com)

Chargés d'études : Emmanuel DESCLÈVES et Claude FRANC - Tél. : 01 44 42 43 72

Comité de lecture : Marie-Dominique CHARLIER-BAROU, André DUMOULIN,

Jean ESMEIN, Sabine DE MAUPÉOU et Bernard NORLAIN

Régie publicitaire (ECPAD) : Karim BELGUEDOUR - Tél. : 01 49 60 59 47 - regie-publicitaire@ecpad.fr

DL 202503.0261- 1^{er} trimestre 2025 - ISSN : 2105-7508 - CP n° 1024 G 85493 du 10 octobre 2019

Imprimé par ISIPRINT Parc des Damiens 139, rue Rateau 93120 LA COURNEUVE

Propos introductifs

Hervé DE COURRÈGES

Général de division, commandant de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan de 2021 à 2024.

La numérisation du champ de bataille apporte une indéniable contribution à la supériorité opérationnelle. Elle va cependant de pair avec une augmentation significative des données échangées sur le champ de bataille. Cette multiplication des données implique une augmentation du nombre d'interfaces entre l'Homme et la Machine, dédiées à la présentation de ces données, qui peuvent être brutes ou pré-traitées, avec cette justification souvent entendue : « Plus j'ai d'informations, plus je serai apte à prendre la bonne décision ». Se pose alors la question de la capacité de l'être humain, et notamment du chef militaire, à pouvoir traiter toutes ces informations en un temps court voire très court, ce qui va dès lors augmenter sa charge cognitive, donc sa charge mentale, car plus d'informations à traiter signifie logiquement un ralentissement du processus de décision cognitive.

Ainsi, dans cette préface, je tiens à mentionner plusieurs facteurs qui contribuent à amplifier la charge mentale ⁽¹⁾ d'un individu :

- Premier facteur : les contraintes physiologiques tout d'abord qui sont le propre de tout soldat soumis à l'environnement exigeant du champ de bataille : en situation de privation de sommeil ou en état de stress, nous le savons, nos capacités cognitives sont dégradées.

- Deuxième facteur : l'augmentation des moyens technologiques mis à disposition du chef sur le champ de bataille. Tout le monde a ainsi à l'esprit le drone, cette nouvelle composante aujourd'hui indispensable du militaire en opération, mais d'une façon plus générale, tout capteur déporté qui donne une information à traiter ainsi que toute plateforme robotique. Si elles décuplent les capacités opérationnelles d'une unité, ces nouvelles capacités doivent être intégrées à la manœuvre. Le chef de demain commandera ainsi à ses hommes, mais aussi à tous les nouveaux équipements mis à sa disposition *via* de nouvelles interfaces directes ou organiques, ce qui augmentera sa charge mentale.

- Troisième facteur : l'accroissement du rythme de la manœuvre grâce à l'interconnexion des systèmes d'armes. En ayant de l'information plus promptement,

⁽¹⁾ Qui comprend la charge cognitive et la charge psychique.

je dois donc pouvoir réagir et agir plus rapidement que mon adversaire, ce qui, là encore, amplifie ma charge mentale.

- Enfin, quatrième facteur : la charge mentale rajoute à la charge cognitive les émotions qui sont des facteurs paralysant de l'action.

La charge cognitive que j'ai citée précédemment n'est en elle-même pas un problème. Elle est un état mental nominal où l'individu est engagé dans la réalisation d'une tâche à son profit. C'est la surcharge cognitive qui est un problème. Elle survient lorsqu'un individu ne dispose pas des ressources cognitives suffisantes à la mise en œuvre d'une tâche, ou lorsque le nombre de tâches à effectuer s'affirme trop élevé. Sa caractérisation est multidimensionnelle car les processus cognitifs mis en œuvre sont nombreux : la mémorisation des consignes, l'attention de l'individu, la concentration, la compréhension visuelle et auditive de l'environnement extérieur, son adaptation comportementale, et bien avant cela même l'apprentissage des procédures, etc. De plus, si ces processus sont communs à tous les individus, ils sont néanmoins soumis à une très grande variabilité interindividuelle ce qui rend difficile une caractérisation des méthodes à appliquer. Ainsi, un jeune inexpérimenté ne dispose pas des mêmes capacités de raisonnement qu'un cadre plus expérimenté.

*

**

L'objectif de ce *Cahier de la RDN* est donc de mieux comprendre les mécanismes de la charge cognitive et de savoir comment la gérer pour éviter la surcharge. Ce qui pose la question de la caractérisation et de la mesure de la charge et de la surcharge, ainsi que la question des actions à mettre en place pour réduire les risques de surcharge. Pour répondre à ces attentes, et à titre d'exemples, nous pouvons citer :

1. La formation à la gestion de la charge cognitive.
2. Le filtrage en amont des informations pour réduire le volume de données à traiter. Ce filtrage pourrait être fait en fonction du niveau hiérarchique (chef de groupe, chef de section, commandant d'unité, chef de corps et officier général).
3. Des interfaces adaptées en fonction du contexte (phase de planification, en conduite, au contact avec l'ennemi), des interfaces personnalisées...

*

**

Après deux *Cahiers* portant sur le sommeil en 2021, puis sur le stress en 2022, cet ouvrage est le recueil enrichi des interventions effectuées de la journée d'études organisée le 20 mars 2024 par l'IRBA et le CReC Saint-Cyr qui portait sur « la surcharge cognitive : la comprendre et la gérer ». Il constitue le troisième volet d'une réflexion globale sur les principales contraintes physiologiques auxquelles sont confrontés les militaires engagés en opérations, ainsi que le personnel des forces de sécurité intérieure. Ils forment à eux trois un triptyque consacré à ces trois contraintes que nous avons identifiées avec l'IRBA comme majeures pour le combattant en opération.

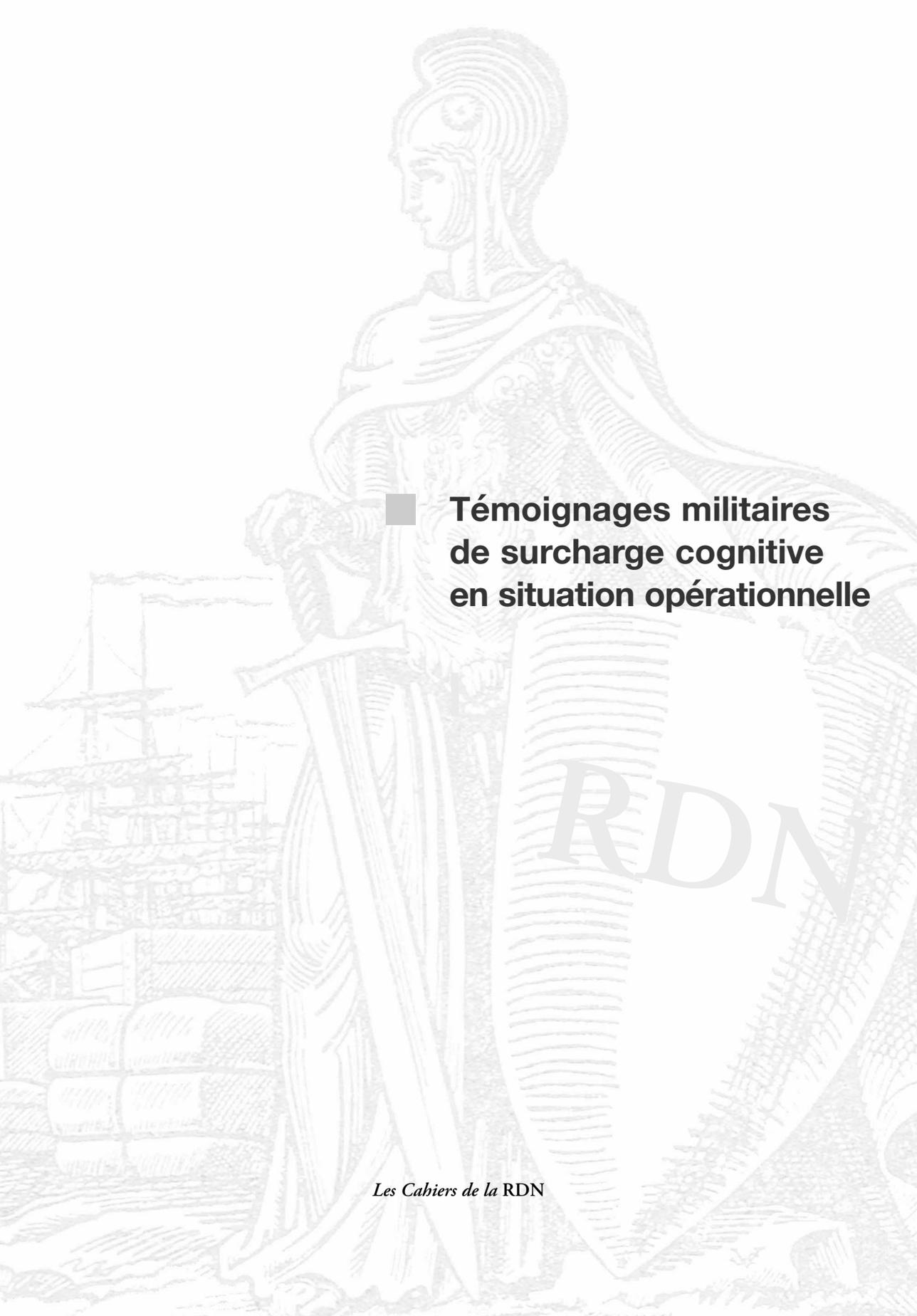
Je remercie vivement les intervenants experts qui ont contribué à ce *Cahier* et qui vont nous permettre de mieux former le personnel à davantage connaître ce phénomène de saturation des capacités cognitives. Tout d'abord par des témoignages de vécu opérationnel, puis par une meilleure connaissance des mécanismes de la surcharge cognitive, enfin par les moyens technologiques ou organisationnels qui peuvent être mis en œuvre pour réduire ce phénomène.

Pour conclure, je tiens à remercier :

– en premier lieu, le médecin général inspecteur Éric Valade, directeur de l'IRBA, pour la confiance que son institut accorde à l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan, depuis maintenant plusieurs années ;

– la médecin en chef de classe normale Marion Trousselard, organisatrice clé du programme scientifique de cette journée avec la docteur Louise Giaume et M. Gérard de Boisboissel qui dirige l'observatoire du CReC Saint-Cyr sur les enjeux des nouvelles technologies pour les Forces ;

– et tous les contributeurs de ce *Cahier*, chercheurs de l'IRBA, universitaires, ou militaires opérationnels qui, par leur expertise, nous éclairent sur ce sujet au cœur de nos préoccupations. ♦



■ **Témoignages militaires
de surcharge cognitive
en situation opérationnelle**

RDN

Surcharge cognitive pour un pilote : a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

Christophe MELET

Capitaine de corvette. Chef du détachement *Rafale Marine* et pilote d'essais expérimental du CEPA/10S (Centre d'expérimentation pratique de l'aéronautique navale).

L'étude de la surcharge cognitive chez les pilotes de chasse nous pousse à s'interroger sur les limites de l'adaptation humaine face à la complexité croissante des environnements opérationnels modernes. La surcharge cognitive se manifeste quotidiennement, aussi bien durant l'entraînement qu'en mission, où la gestion de la masse d'informations à traiter devient un enjeu majeur. Le pilote est confronté à une multitude de données émanant de systèmes, comme les affichages tête haute (*Head-Up Display – HUD*), le viseur de casque, le radar, le système d'autoprotection et le système d'arme. Le cas du vol en basse altitude et à grande vitesse, pour éviter certaines menaces au sol, accentue le stress et la charge de travail du pilote. Ces exigences sont exacerbées par la multiplication des liaisons de données et l'intégration de nouveaux systèmes collaboratifs, transformant le cockpit en un véritable centre de traitement et de transit des données. L'avènement du combat collaboratif a renforcé les capacités opérationnelles, mais il a aussi intensifié la charge cognitive. En effet, le pilote doit gérer non seulement ses propres tâches, mais également, en tant que chef de mission, les sollicitations externes des équipiers ou d'autres aéronefs qui l'accompagnent. Cette évolution souligne l'importance de développer des contre-mesures et des outils d'assistance, tels que des systèmes d'affichage adaptés ou des algorithmes ciblés, afin de trier et hiérarchiser les informations. Dans cette exploration, il devient nécessaire de se demander si nous avons atteint les limites de l'adaptabilité humaine ou si des innovations, notamment en matière d'Intelligence artificielle (IA) et de systèmes d'Interface homme-système (IHS), permettront de les repousser en favorisant une meilleure collaboration homme-machine.

Comprendre la surcharge cognitive dans un avion de combat

Appréhension de la surcharge cognitive

Dans un avion de combat moderne, le pilote évolue dans un environnement où il doit gérer simultanément une multitude de tâches complexes. Ces tâches incluent la maîtrise du pilotage, la gestion des systèmes d'armes et des sous-systèmes de l'appareil,

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

la navigation, ainsi que la communication avec d'autres aéronefs et des organismes terrestres, qu'ils soient de contrôle ou d'appui. De plus, le pilote doit identifier et évaluer rapidement les menaces, aériennes ou sol-sol, tout en prenant des décisions critiques dans des situations à haut risque, souvent sous une forte pression temporelle et un stress important. La complexité de ces opérations peut être assimilée à la résolution d'une équation différentielle où varient l'espace, les ressources matérielles (carburant, munitions), les capacités cognitives du pilote et les menaces en fonction du temps.

Lorsque la charge cognitive dépasse les capacités de traitement du cerveau, une saturation cognitive se produit, compromettant la capacité du pilote à traiter efficacement l'information. En vol, ce phénomène peut entraîner des erreurs de jugement, des retards dans la prise de décision et des états de confusion cognitive. Les conséquences peuvent être graves, affectant non seulement la performance opérationnelle mais pouvant également conduire à des accidents, allant jusqu'à la perte de l'aéronef et de son équipage. La gestion de cette surcharge cognitive est donc un enjeu majeur pour maintenir la sécurité et l'efficacité des missions dans des environnements aussi exigeants.

Reconnaissance des signaux de saturation cognitive et conséquence

Les signaux de surcharge sont généralement reconnaissables rapidement. Ils se manifestent sous forme de signes physiologiques et psychologiques de stress comme :

- **Indécision ou confusion momentanée** : le pilote peut ressentir une impression d'être « en retard » sur l'aéronef, ayant du mal à anticiper et à réagir efficacement face aux événements.
- **Mouvements inutiles ou non coordonnés dans le cockpit** : ces gestes, tels que des « fautes de doigt » ou de manipulation, peuvent indiquer une perte de contrôle moteur liée à la surcharge.
- **Omission de tâches essentielles** : le pilote peut manquer des vérifications ou oublier d'effectuer des actions vitales, portant atteinte à la sécurité du vol.
- **Exécution erratique de tâches aériennes basiques** : des écarts imprécis d'altitude et de vitesse témoignent d'une perte de contrôle sur les tâches de base.
- **Réponses verbales perdues, inappropriées ou retardées** : des réponses tardives, absentes ou non conformes aux standards opérationnels sont souvent un indicateur critique de surcharge.
- **Perte de la conscience situationnelle** : l'incapacité à percevoir ou comprendre les éléments importants de l'environnement opérationnel entraîne des erreurs de jugement.

Représentation de la surcharge cognitive

Pour illustrer la surcharge cognitive, prenons l'exemple du vol à grande vitesse et à basse altitude qui représente un régime d'exploitation à la fois intense et risqué

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

pour le pilote. La saturation cognitive peut survenir rapidement, le submergeant avant qu'il ne prenne pleinement conscience des dangers émergents.

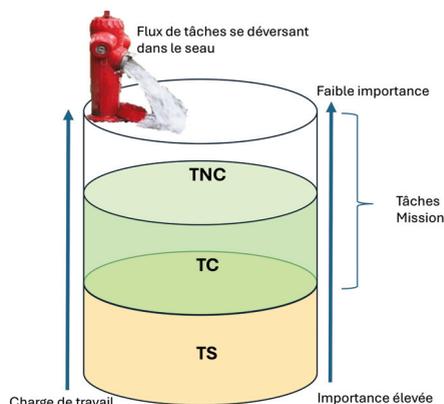
Pour mieux comprendre et atténuer les risques liés à cette surcharge, l'*US Navy* a introduit le concept de « seuil cognitif » : une représentation visuelle illustrant la capacité maximale d'un pilote à gérer un flux d'informations ou de tâches. Le « seuil » contient deux grandes catégories de tâches, réparties selon leur priorité.

- **Tâches de sauvegarde (TS)** : Ces tâches représentent l'effort mental ou physique requis pour assurer la sécurité du vol, incluant :
 - **Contrôle aérodynamique** : maintien de l'aéronef dans son enveloppe de vol (vitesse, angle d'attaque, facteur de charge).
 - **Contrôle vectoriel** : gestion de l'orientation de l'avion en fonction de l'altitude, de l'azimut et de la vitesse.
 - **Contrôle d'altitude** : ajustement de l'altitude par rapport au terrain pour éviter tout obstacle.
 - **Contrôle temporel** : capacité à déterminer le moment et la durée pendant lesquels le pilote peut se permettre d'ignorer certaines tâches critiques pour prioriser d'autres actions. Ce contrôle est souvent le plus difficile à maîtriser.
- **Tâches de mission (TM)** : Ce sont les actions liées à l'accomplissement de la mission, subdivisées en :
 - **Tâches critiques (TC)** : maintien de la conscience situationnelle, navigation et identification des menaces, qui sont essentielles à la réussite de la mission.
 - **Tâches non critiques (TNC)** : communications, réglage des systèmes d'armement ou du radar, qui bien qu'importantes, peuvent être réalisées de manière flexible en fonction des priorités opérationnelles.

Les principes de base de cette approche sont les suivants :

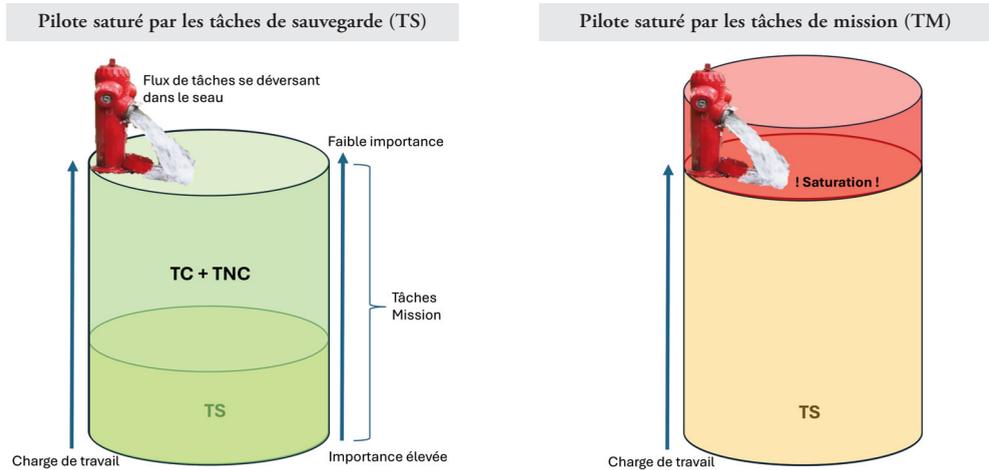
- 1) Les tâches de sauvegarde (TS) sont toujours prioritaires dans le « seuil ».
- 2) Le temps alloué aux tâches de mission (TM) ne doit intervenir qu'une fois que les tâches de sauvegarde (TS) sont maîtrisées.
- 3) Les tâches de mission (critiques TC et non critiques TNC) sont ajoutées dans l'espace restant du seuil.

En général, tout va bien lorsque toutes les tâches sont dans le seuil et que celles-ci sont gérées par ordre de priorité. Parfois, il arrive que le pilote ne dispose pas d'assez de capacité pour gérer toutes les tâches. Soit qu'il y a plus de Tâches de



Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

sauvegarde (TS) que le seau ne peut en contenir, soit que le pilote se laisse dépasser par les Tâches mission (TM) et les autorise à remplacer les Tâches de sauvegarde (TS). Ceci entraîne une mise en danger de la machine et de l'équipage à court terme.



Première confrontation

Au cours de la formation initiale, l'élève pilote est confronté à la maîtrise du pilotage précis de son appareil. L'objectif principal réside dans la gestion fine des paramètres de vol (vitesse, altitude et cap) en navigation ou lors d'exercices de voltige, afin d'appréhender la maîtrise de la troisième dimension.

C'est à ce stade que l'élève fait face aux premières saturations cognitives, autrement dit à la « tunnelisation » : phénomène où l'attention se fixe de manière excessive sur un paramètre particulier au détriment d'autres éléments essentiels du vol. Le circuit visuel sur les instruments devient alors un élément capital pour garantir une conscience situationnelle continue. La mise en place de cette boucle de rétroaction visuelle consomme une quantité importante de ressources cognitives lors des premiers vols, mais est nécessaire pour ancrer ce processus en tant que mécanisme automatique. Il y a donc, à ce stade, assez peu de place pour élaborer des plans d'action compliqués.

Familiarisation à l'avion de haute performance

La phase suivante du cursus introduit l'élève à un avion plus performant, proche de l'aéronef opérationnel. Cette transition impose une réadaptation du circuit visuel dans un contexte où la vitesse et la complexité augmentent, notamment avec l'introduction de systèmes de navigation et d'armement rudimentaires.

L'intégration d'un collimateur tête haute (HUD) s'avère être une aide précieuse, car il réduit la nécessité d'un balayage visuel constant regroupant les informations essentielles dans le champ de vision direct du pilote. Cela lui permet d'effectuer

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

des ajustements plus précis sur les commandes de vol, libérant ainsi des ressources cognitives pour gérer des tâches telles que la communication radio en anglais et la gestion de la mission.

**Expériences vécues dans des avions de combat
comme le Super Étendard Modernisé et le Rafale**

Lors du cursus de formation sur *Super Étendard Modernisé*, une série de vols dédiés à l'appui basse altitude permettait de développer les capacités de priorisation des tâches en cockpit. L'objectif de ces missions était de naviguer dans une zone définie, d'y identifier des objectifs, parfois inconnus avant le décollage, et de les attaquer par des passes canons. Durant la préparation du vol, le chef de patrouille définissait un point d'attente sur lequel le pilote à l'entraînement se plaçait en orbite à environ 2 000 pieds (environ 609,6 m). Ce circuit d'attente permettait d'avoir un peu de temps pour tracer la route et la passe de tir afin d'attaquer l'objectif. Ce tracé, effectué sur une carte de navigation à l'échelle 1:100 000°, devait ensuite être briefé par radio au *leader*.

Cette phase d'attente s'avérait particulièrement exigeante, car elle nécessitait de :

- piloter un avion doté d'un pilote automatique sommaire (maintien d'ailes à plat) et sans régulateur de vitesse ;
- maintenir géographiquement le circuit d'attente ;
- tracer la route et la passe d'attaque au crayon de papier sur la carte, tout en portant des gants dans une cabine exiguë.

La gestion simultanée de ces tâches, notamment le maintien en vol lorsque le pilote automatique se déconnectait sous l'effet de mouvements involontaires, demandait une attention constante. Il était alors nécessaire de ranger la carte, reprendre manuellement les commandes de l'avion, corriger la trajectoire, puis reprendre le tracé de la carte.

De plus, il était essentiel de surveiller l'environnement extérieur pour éviter tout abordage avec d'autres aéronefs. Cette succession de tâches, bien que complexe, démontrait l'importance du cycle itératif de priorisation afin de limiter la surcharge cognitive.

Sur *Rafale*, lors de missions de combat aérien à longue distance, les risques de surcharge cognitive sont tout aussi présents. Le but de ces missions est la détection, l'identification, voire l'engagement d'aéronefs adverses, en coordination avec d'autres chasseurs et des contrôleurs aériens au sol. Ces derniers fournissent des informations sur les positions des aéronefs adverses à partir d'un point de référence « *bull's eye* », permettant à tous les pilotes de positionner les menaces et de conserver une certaine conscience de la situation.

Malgré l'assistance d'un pilote automatique particulièrement performant, la mentalisation des positions d'aéronefs dans l'espace, combinée à la gestion simultanée des autres tâches, est extrêmement exigeante. Le flux d'informations radio, parfois très

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

dense en fonction du nombre d'avions impliqués, contribue fortement à la saturation cognitive.

Certains pilotes rapportent, lors des débriefings, qu'ils ont perdu la conscience de la situation ou qu'ils n'ont pas perçu un appareil sur leur visualisation radar, un phénomène décrit comme une forme de « cécité attentionnelle ». Ce phénomène peut également affecter l'audition, empêchant le pilote de percevoir des alertes sonores ou des messages radio critiques alors même qu'il est cognitivement saturé.

Aujourd'hui, les liaisons de données modernes permettent d'afficher sur l'écran tactique la position des aéronefs ennemis détectés, réduisant ainsi la charge cognitive. Cependant, en cas de panne de ces systèmes, un retour aux méthodes de diffusion par radio peut accroître considérablement la charge de travail du pilote. La mise en place d'un algorithme de positionnement automatique, capable de traduire visuellement les informations reçues par radio, permettrait, par exemple, de réduire l'impact de la surcharge cognitive en cas d'indisponibilité des aides à la gestion de mission.

Gestion de la surcharge cognitive et contremesure

Bien que l'humain soit particulièrement sensible à la surcharge cognitive, des techniques visant à réduire cette surcharge existent et permettent d'en limiter la fréquence et les conséquences. Certaines de ces méthodes, telles que la hiérarchisation des tâches et la connaissance de soi, sont déjà bien intégrées dans les pratiques courantes. D'autres approches, plus récentes, s'orientent davantage vers l'optimisation des ressources attentionnelles afin d'améliorer la performance humaine. Ces dernières tendent à se démocratiser au sein des armées et apparaissent prometteuses pour la prévention des occurrences de surcharge cognitive et la gestion en temps réel de cette saturation.

Priorisation des tâches

La priorisation des tâches est capitale, notamment dans l'environnement exigeant des vols à basse altitude, où de nombreux accidents ont été causés par une mauvaise hiérarchisation des tâches. Une collision avec le relief survient généralement lorsque le pilote accorde une attention excessive aux Tâches de mission (TM) au détriment des Tâches de sauvegarde (TS), particulièrement à des moments critiques du vol. Étant donné que le relief représente la plus grande menace dans ces conditions, **aucune tâche de mission ne devrait jamais avoir priorité sur les tâches de sauvegarde.**

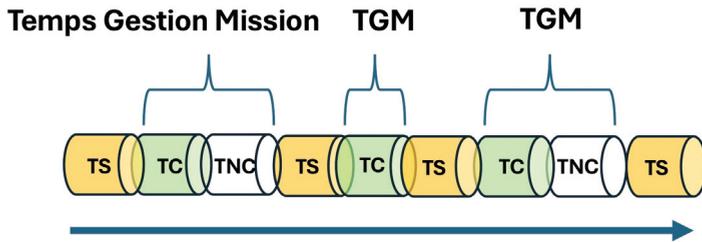
Lorsque la charge de travail devient trop élevée, les premières tâches à être délestées sont généralement les Tâches non critiques (TNC). Si la surcharge persiste, les Tâches critiques (TC) commencent également à être négligées. Dans certains régimes de vol à basse altitude, comme en phase de virage serré, toutes les Tâches de mission (TM) doivent être temporairement suspendues pour donner la priorité absolue aux Tâches de sauvegarde (TS) afin de garantir la sécurité du vol.

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

Chronologie de la gestion des tâches

Le Temps de gestion de mission (TGM) correspond au temps consacré à des tâches différentes des tâches de sauvegarde (TS), dans le but d'accomplir une Tâche critique (TC) ou non critique (TNC). Par exemple, lors d'un virage, le pilote peut allouer deux secondes au Temps de gestion de mission (TGM) pour vérifier la trajectoire de vol et évaluer le relief à venir. Lors du vol en palier, une chronologie plus flexible permet d'envisager jusqu'à cinq secondes de temps de gestion de mission avant de recentrer l'attention sur une Tâche de sauvegarde (TS). Cette gestion du temps est essentielle pour maintenir un équilibre entre la performance de la mission et la sécurité du vol, surtout dans des environnements à forte charge cognitive. L'alternance efficace entre ces tâches réduit le risque de surcharge cognitive, en permettant de maintenir une attention suffisante sur les éléments critiques de la situation.

La chronologie pourrait être représentée selon le schéma ci-dessous :



Sans aucun doute, l'un des aspects les plus complexes du vol à basse altitude est la gestion continue des tâches, notamment en ce qui concerne le contrôle du temps.

La majorité des accidents est due à une gestion inadéquate des priorités. Les erreurs surviennent souvent lorsque le pilote ne sait pas, oublie, ou ne parvient pas à identifier ce qu'il doit surveiller, quand le faire, où trouver l'information, et comment l'utiliser. Ces lacunes conduisent fréquemment à une mauvaise priorisation, où les tâches de mission (TM) prennent le pas sur les tâches de sauvegarde (TS) à des moments critiques du vol. Cette saturation des tâches survient lorsque la charge de travail dépasse les capacités cognitives disponibles à un instant donné.

Étant donné que nous ne pouvons accomplir qu'un certain nombre de choses à la fois, la capacité à reconnaître et accepter cette limite en nous-mêmes est essentielle pour survivre en basse altitude. Le niveau d'effort fourni par un pilote pour maintenir les tâches d'anti collision avec le sol est affecté par quatre facteurs majeurs :

- Manœuvre : l'angle d'inclinaison, le facteur de charge et la vitesse affectent directement les exigences cognitives.
- Capacités de l'aéronef : l'état des systèmes (*HUD*, altimètre radar, etc.) joue un rôle important dans la gestion de la charge de travail.

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

- Capacité du pilote : son niveau de préparation, sa récente expérience de vol et son état physiologique ⁽¹⁾ influent sur sa performance cognitive – « Suis-je prêt pour le vol du jour, ou déjà débordé ? ».
- Environnement : les conditions du relief, l'heure du jour (crépuscule, aube), et la visibilité (claire ou brumeuse) affectent le niveau d'effort requis pour éviter les collisions.

Ces divers facteurs peuvent entraîner des conflits de tâches, appelant ultimement le pilote à juger ses limites de performance personnelles. En cas de conflit entre tâches de sauvegarde (TS) et tâches de mission (TM), le pilote n'a d'autre choix que de cesser temporairement les tâches de mission (TM) et de se concentrer sur les tâches de sauvegarde (TS), ou de réduire l'intensité de la manœuvre afin de réduire les demandes des tâches de sauvegarde (TS), permettant ainsi de libérer de l'espace dans le seuil pour les tâches de mission (TM).

Priorisation en cas de panne

Au-delà du déroulement standard d'une mission, la gestion d'une panne est l'un des événements les plus perturbateurs pour un pilote, pouvant entraîner une désorganisation rapide et une saturation cognitive. Un phénomène, souvent désigné sous le terme d'« effet falaise », illustre la transition brutale qu'un pilote peut ressentir lorsqu'il passe d'un appareil fonctionnant parfaitement et ne nécessitant que peu de ressources cognitives, au même appareil exigeant soudain une attention accrue, notamment en matière de pilotage lorsque tout dysfonctionne.

Dans ces situations critiques, il est impératif de revenir aux fondamentaux. L'adage aéronautique « *Aviate, Navigate, Communicate* » sert de cadre essentiel pour gérer la surcharge cognitive. Il s'agit de ne pas progresser vers la phase suivante tant que la maîtrise de la phase en cours n'est pas assurée.

Cependant, j'ajouterais le principe d'« *Anticipate* » afin de tenter de regagner une longueur d'avance dans la gestion de l'événement.

En effet, puisqu'« anticiper, c'est dominer », selon le capitaine de frégate Étienne Bauer, ancien commandant de la Flottille 12F, cette approche structurée permet de maintenir un schéma mental simple et efficace pour faire face au « choc à l'eau froide » qu'une panne complexe et inattendue peut provoquer. En suivant cette hiérarchisation des priorités, le pilote peut non seulement réduire la surcharge cognitive, mais aussi regagner rapidement le contrôle de la situation.

⁽¹⁾ BERTHELOT Vincent, « La gestion du sommeil lors des missions d'un pilote embarqué sur porte-avions », *Cahier de la RDN – Le soldat augmenté : optimisation de la gestion du sommeil*, mai 2022, p. 53-56 (<https://www.defnat.com/>).
BERTHELOT Vincent, « Gérer son stress comme un pilote de chasse embarqué », *Cahier de la RDN – Le soldat augmenté : vers une gestion optimale du stress*, mai 2023, p. 65-67 (<https://www.defnat.com/>).

Surcharge cognitive pour un pilote : a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

Connaissance et maîtrise de soi

La priorisation des tâches est un mécanisme fondamental pour limiter la surcharge cognitive en temps réel. Cependant, la connaissance de soi et la maîtrise des automatismes mentaux jouent également un rôle clé dans la réduction préventive des occurrences de surcharge cognitive. En acquérant de l'expérience sur un appareil, le pilote développe des comportements automatisés qui lui permettent de réduire la consommation de ressources cognitives, notamment par la simplification de la représentation mentale de la situation. Cette représentation efficace se concentre sur les éléments essentiels, réduisant ainsi l'effort nécessaire pour comprendre et planifier l'action à entreprendre.

L'anticipation joue un rôle central dans cette dynamique puisqu'elle permet d'adapter le plan d'action en fonction de l'évolution de la situation, évitant ainsi des scénarios trop exigeants ou dangereux.

Lors de la planification d'un vol, il est essentiel que le pilote évalue ses propres compétences et connaissances afin de n'envisager que des solutions qu'il est capable de maîtriser. Un principe clé est l'adage américain « *KISS : Keep It Simple and Stupid* », qui encourage la simplicité dans la prise de décision pour éviter des complications inutiles.

Un autre point fondamental pour limiter la surcharge cognitive est la gestion de l'attention, visant à éviter la dispersion des ressources. La maîtrise de cette capacité mentale ne peut être pleinement efficace qu'avec un entraînement régulier et la répétition des procédures.

Crew Resource Management

Le *Crew Resource Management (CRM)* fait partie intégrante de la formation des pilotes. Ces formations, élaborées par l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), sont dispensées par des pilotes expérimentés. Le *CRM* met l'accent sur les facteurs humains et place l'humain au centre du dispositif de sécurité des vols. Les thèmes abordés dans les formations de *CRM* (Écarts, Interruption de tâche, dynamique de groupe, migration des pratiques, confiance, prise de décision, communication, charge de travail, effet spectateur, conscience de la situation, gestion pression ops, gestion du stress, équipe, gestion de la fatigue, formation pratique, gestion du risque, l'expertise, *Reason*, persévérance, persévération, motivation), souvent en lien avec des incidents ou accidents passés, sensibilisent les pilotes aux limites humaines et aux contre-mesures à adopter pour minimiser les risques. Ce processus permet aux pilotes de développer une meilleure conscience de leurs propres capacités, tout en reconnaissant les situations susceptibles de mener à des erreurs ou accidents.

Mindfulness et gestion de l'attention

Dans le domaine du sport de haut niveau, la préparation mentale est aussi importante que la préparation physique. Un relâchement de l'attention durant une compétition peut coûter la victoire à un athlète. De manière similaire, la pleine

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

conscience (*mindfulness*) s'est démocratisée dans le milieu sportif pour améliorer les performances.

Pour les pilotes de chasse, maintenir une concentration optimale lors de vols pouvant durer de 45 minutes à plusieurs heures et pouvant être suivis d'un appontage de nuit, demande une préparation mentale rigoureuse.

Ainsi, l'optimisation des ressources attentionnelles peut être illustrée dans trois aspects clés :

- **La pleine conscience** : cette technique permet à l'individu de se focaliser entièrement sur l'instant présent, sans porter de jugement, en observant ses pensées et émotions sans chercher à les contrôler. En maîtrisant ces distractions internes, la pleine conscience permet de réduire le stress et d'améliorer la concentration, particulièrement utile lors de tâches exigeantes.
- **L'acceptation** : plutôt que de résister aux pensées ou émotions négatives, cette approche prône leur acceptation. Cette démarche permet de réduire l'anxiété liée à la performance en apprenant à ne pas réagir de manière excessive aux expériences mentales désagréables. Par exemple, un athlète apprendra à accepter ses peurs ou doutes sans que cela affecte sa performance.
- **L'engagement** : l'individu est invité à s'engager activement dans des actions alignées avec ses valeurs et objectifs, même en présence de difficultés internes (stress, anxiété). Cela aide à maintenir la motivation et l'attention sur ce qui est vraiment important pour atteindre des objectifs de performance élevés.

Une étude norvégienne ⁽²⁾ démontre que les pilotes qui intègrent les pratiques de *Mindfulness* ont une meilleure gestion de l'anxiété et une attention accrue, leur permettant d'atteindre des états dit de « *flow* » optimaux, où l'individu est totalement immergé dans son activité. Une étude dans le milieu de l'*e-sport* ⁽³⁾ montre également comment la synchronisation avec l'environnement traduit l'engagement absolu, caractérisant la pleine conscience.

De nombreux pilotes de combat ont déjà connu, sans le savoir, cet état de « *flow* » caractérisé par un sentiment de fluidité, une focalisation intense sur l'instant présent et où tout se déroule de façon maîtrisée. Ceci apparaît d'ailleurs dans des vols bien préparés où il existe un équilibre entre ses compétences et les objectifs du vol.

Simulations

Les séances de simulation constituent un outil indispensable pour approfondir la connaissance de soi, automatiser les réactions en situation critique et gérer des

⁽²⁾ MELAND Anders, FONNE Vivianne, WAGSTAFF Anthony et MATTE PENSGAARD Anne, *Mindfulness-Based Mental Training in a High Performance Combat Aviation Population: a One-Year Intervention Study and Two-Year Follow-up*, 2015 (<http://dx.doi.org/10.1080/10508414.2015.995572>).

⁽³⁾ CAPUTO Andrea, DRIVET Stefano, SANDRETTO Riccardo, VERCELLI Giuseppe et CORTESE Claudio G., « The e-S.F.E.R.A. Questionnaire: A New Tool For Sport Psychologists Working In Mental Training », *The Open Psychology Journal*, janvier 2023 (<http://dx.doi.org/10.2174/18743501-v16-230301-2022-105>).

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

scénarios complexes. Elles permettent aux pilotes de se confronter à des situations extrêmes, telles que des pannes techniques ou des missions à haute pression, dans un environnement contrôlé et sécurisé. Ces simulations, encadrées par des pilotes expérimentés, offrent l'opportunité d'observer et d'évaluer les dégradations progressives des performances en situation de stress. Toutefois, l'un des défis pour l'instructeur est de calibrer précisément le niveau de difficulté en fonction du seuil de saturation de l'apprenant. Un ajustement inadéquat pourrait rendre la séance contre-productive, en provoquant une surcharge cognitive excessive qui entraverait l'apprentissage.

À ce jour, il n'existe pas d'outils permettant d'ajuster cela en dehors de l'expérience dont dispose l'instructeur.

Évolutions et adaptations

Nous avons démontré que, dans le cockpit, le pilote consacre de façon plus ou moins consciente et maîtrisée une partie de son temps à réguler sa saturation cognitive, qui fluctue constamment autour de sa limite personnelle. Les évolutions technologiques dans l'aéronautique de combat ne peuvent pas se contenter d'ajouter de nouvelles fonctionnalités sans une réflexion approfondie sur la prise en compte de la saturation cognitive liée à leurs mises en œuvre, surtout dans un cockpit monoplace. À l'heure où les tâches mission deviennent de plus en plus consommatrices en ressources cognitives, il est pertinent d'imaginer mesurer la saturation afin de disposer d'éléments objectifs permettant de trancher dans le choix d'interface et optimiser le développement de certains systèmes de combat.

La stimulation de l'attention pourrait également constituer une routine permettant au pilote d'entretenir une plasticité mentale importante. Enfin l'émergence de dispositifs d'assistance automatisés permettrait d'augmenter les ressources cognitives disponibles pour les tâches missions en redistribuant intelligemment la charge de travail dans le cockpit d'une façon collaborative avec le système.

Enjeux de la mesure de la saturation cognitive

La *NASA Task Load Index (NASA-TLX)* est l'une des méthodes la plus couramment utilisée pour évaluer la charge cognitive. Cependant, elle présente plusieurs limites, notamment dans des environnements complexes tels que les vols d'essai de nouveaux systèmes d'avions de combat. La complexité de cet outil, qui exige l'évaluation de six dimensions distinctes, peut être chronophage à mettre en œuvre en vol. Une utilisation en temps réel impliquerait une augmentation considérable du nombre d'essais, ce qui n'est pas toujours faisable dans le cadre de vols en quantité limitée.

Aussi, pour optimiser le temps de vol, les pilotes sont souvent amenés à compléter le questionnaire après la mission, ce qui repose sur leur mémoire. Cela complique l'évaluation précise des moments critiques de surcharge cognitive, car certaines informations peuvent être perdues ou déformées avec le temps

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

Afin d'obtenir une évaluation plus précise et continue de la charge cognitive durant l'évaluation d'interface homme-système, il serait essentiel d'intégrer des mesures physiologiques en temps réel et des analyses comportementales dans le cockpit.

Entraînement à la plasticité mentale

Le développement de l'*e-sport* a révélé plusieurs compétences cognitives et physiques qui présentent des parallèles intéressants avec celles requises dans un avion de chasse. Par exemple, dans le jeu *League of Legends*, les joueurs doivent maîtriser une coordination œil-main de haut niveau, similaire à celle nécessaire pour un pilote de *Rafale*. Ils doivent également faire preuve d'une prise de décision rapide, de capacités stratégiques aiguisées, et d'une gestion efficace des ressources, tout en communiquant en temps réel avec leur équipe. Ces compétences sont analogues à celles utilisées par un pilote dans la gestion des tâches de mission (TM).

De plus, l'*e-sport* encourage une gestion du stress et des émotions négatives (comme la frustration due aux erreurs), essentielles pour maintenir la performance sous pression. L'adaptabilité et la capacité à réagir rapidement aux changements dans un environnement complexe sont des qualités partagées par les joueurs d'*e-sport* et les pilotes d'avions de combat.

Ces similitudes suggèrent que l'utilisation de logiciels d'entraînement à la plasticité mentale, même sans recourir à des simulateurs de haute-fidélité, pourrait représenter une voie prometteuse pour entretenir l'agilité cognitive des pilotes. En s'inspirant des techniques d'entraînement propres à l'*e-sport*, il serait envisageable de renforcer la capacité des pilotes à s'adapter rapidement, à prendre des décisions efficaces et à maintenir une attention soutenue lors de missions prolongées.

Conception d'Interface homme-système (IHS)

Les sollicitations auditives dans un avion de combat moderne sont nombreuses et peuvent rapidement devenir envahissantes, amplifiant ainsi la sensation de saturation cognitive. Le phénomène bien connu qui nous pousse à baisser le volume de l'autoradio en voiture lorsque nous nous concentrons pour retrouver notre chemin illustre de manière simplifiée ce que vit parfois un pilote en vol. En effet, la surcharge cognitive ne se limite pas aux tâches visuelles, mais s'étend à tous les sens, créant une véritable surcharge sensorielle. Les yeux du pilote sont constamment sollicités pour analyser un flux massif de paramètres internes et externes, tandis que l'audition doit gérer simultanément jusqu'à quatre canaux radio et des alarmes sonores. Parallèlement, le toucher joue un rôle essentiel : les doigts du pilote interagissent en continu avec près de 36 commandes multiplexées, offrant l'accès à plus de 268 fonctions de l'appareil, soit l'équivalent d'environ trois claviers de piano à gérer à quelques dizaines de mètres du sol et près de 900 km/h. La combinaison de ces stimulations multisensorielles augmente ainsi significativement le risque de saturation cognitive.

Aujourd'hui, la complexité croissante des interactions nécessaires pour accéder aux fonctions très avancées des avions de combat accentue la charge de travail des

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

pilotes. Cela met en évidence l'importance de repenser les IHS, non seulement pour optimiser l'exécution des missions, mais aussi pour s'adapter aux contraintes de l'environnement opérationnel. Ces contraintes incluent la nature multirôle des appareils et l'intégration d'un grand nombre de capteurs complexes, qu'il faut maîtriser simultanément.

Par ailleurs, la multiplication des engagements en opération extérieure conduit parfois à concentrer l'entraînement sur des compétences spécifiques, au détriment d'autres domaines clés pour lesquels il ne sera pas acceptable de passer beaucoup de temps à réacquérir de l'aisance. La réduction de certains effectifs dans les flottilles ou escadron ajoute également une charge de travail additionnelle en dehors du cockpit, diminuant le temps disponible pour l'acquisition de connaissance ou la transmission du savoir et de l'expertise. Enfin, le coût des heures de vol impose que la maîtrise des systèmes par le pilote soit rapide, quel que soit le niveau de complexité des fonctions.

Il est donc essentiel que les équipes impliquées dans la conception des IHS prennent en compte ces éléments et soient à l'écoute des retours d'expérience des pilotes. Sans cette écoute attentive, certaines interfaces pourraient s'avérer inutilisables en conditions réelles de vol. Une interface trop complexe, nécessitant de nombreux appuis ou souffrant d'un manque d'accessibilité, peut rendre certaines tâches difficiles, voire infaisables, en situation de stress ou de saturation cognitive. En repartant du besoin utilisateur et en réduisant les obstacles à l'utilisation, il est possible d'améliorer la fluidité de l'interaction entre le pilote et son appareil, garantissant ainsi une meilleure gestion des tâches en vol.

Intelligence artificielle

La redistribution des ressources cognitives est essentielle pour alléger la charge de travail non critique, permettant ainsi au pilote de se concentrer sur les tâches principales qu'il maîtrise grâce à une compréhension fine des enjeux et du contexte opérationnel. Si l'Intelligence artificielle (IA) est prometteuse, elle ne doit être ni surévaluée ni diabolisée : elle incarne un amplificateur de capacités, à condition que son acceptabilité technique et humaine soit rigoureusement évaluée. Son rôle optimal réside dans celui d'un assistant « invisible », capable de s'effacer subtilement dès que l'intuition humaine ou la créativité tactique doivent primer.

Un pilote sera en mesure de déléguer efficacement des tâches telles que l'automatisation de la saisie d'informations (fréquences radio, codes transpondeurs, autorisations de vol), ou l'assistance au prépositionnement optimal des capteurs s'il dispose de systèmes fiables et intuitifs. Ces outils ne se contentent ainsi pas d'alléger la charge cognitive, ils améliorent la présentation de l'information pour faciliter une prise de décision sous pression temporelle et éviter la noyade du pilote sous un flux de données brutes.

Définir précisément les tâches qui peuvent être déléguées à l'IA sans compromettre la tactique reste un défi. Cela résidera par ailleurs dans l'établissement d'une « confiance calibrée » afin d'éviter toute dépendance passive ou méfiance paralysante.

Surcharge cognitive pour un pilote :
a-t-on atteint les limites humaines de l'adaptation ?

Ce travail nécessitera une formation adaptée aux spécificités de l'IA, permettant au pilote de comprendre ses modes de raisonnement sans en surestimer les capacités. Des compétences humaines comme la ruse, l'intuition et la perception situationnelle, essentielles en tactique, sont encore trop difficiles à coder.

Le jugement humain, enrichi par l'expérience et la capacité d'adaptation aux situations imprévues, reste indispensable dans l'aéronautique de combat. Ainsi, au-delà de la pertinence des solutions proposées par une IA donnée, il conviendra de comprendre que l'enjeu dépasse la robustesse technique et implique une conception centrée sur la réversibilité. Cela permettra au pilote de conserver en permanence la capacité de reprendre le contrôle sur une tâche tout en évitant des « effets falaises technologiques » en cas de dysfonctionnement de l'IA.

Conclusion

L'étude de la surcharge cognitive chez les pilotes de chasse met en lumière les limites de l'adaptation humaine face à la complexité croissante des environnements opérationnels. Si les systèmes automatisés et l'IA promettent d'alléger la charge cognitive, il est essentiel de définir avec précision quelles tâches peuvent être déléguées sans compromettre la prise de décision tactique et stratégique, qui doit rester sous contrôle humain. La tactique, en constante évolution, nécessite quant à elle de l'intuition et une perception situationnelle encore trop difficile à coder à ce stade.

Le *Rafale* est déjà équipé de systèmes qui allègent la charge de travail du pilote grâce à l'automatisation de certaines Tâches de sauvegarde (TS), tels qu'un pilote automatique avec des modes avancés, comme le suivi de terrain ou encore un dispositif de prévention des collisions avec le sol. Désormais, l'enjeu principal réside dans le développement d'outils fiables, capables de prendre en charge les Tâches critiques (TC) et non critiques (TNC) qui peuvent alourdir le travail du pilote dans les situations de pression temporelle.

Ainsi, calibrer les responsabilités confiées à l'IA fondées sur une confiance ajustée aux incertitudes opérationnelles, et renforcer l'agilité cognitive des pilotes, font partie des défis dans la recherche d'efficacité de l'aéronautique militaire. Il s'agira probablement de tendre vers une symbiose où l'assistance algorithmique et le génie adaptatif humain s'entretiennent mutuellement sans dilution des compétences critiques, ni illusion de toute-puissance technologique. ♦

Comprendre et gérer la surcharge cognitive : témoignage d'un officier de l'armée de Terre

Arnaud RUYANT

Colonel, commandant les formations d'élèves de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan, ancien chef de corps du 35^e Régiment d'artillerie parachutiste (RAP).

Les quelques lignes qui vont suivre n'ont pas d'autre ambition que de témoigner d'une expérience opérationnelle, afin de favoriser un échange constructif entre « pratiquants » et « chercheurs ». Mieux appréhender la charge cognitive à laquelle un chef peut être confronté en amont ou pendant une prise de décisions permettra sans aucun doute de mieux prendre en compte les surcharges, c'est-à-dire les moments où un chef n'est plus en capacité de mobiliser efficacement ses capacités. Si l'expérience permet indubitablement de mieux gérer la charge cognitive, témoigner peut aider à décrypter ses mécanismes et ainsi trouver des clefs à destination des plus jeunes générations, notamment les futurs chefs de l'armée de Terre. Bien gérer la charge cognitive est clairement un des facteurs de supériorité opérationnelle.

L'*Encyclopaedia Universalis* définit ainsi la surcharge cognitive : « (elle) correspond à un état mental où un individu est engagé dans la réalisation d'une tâche extrêmement exigeante pour lui : il ne dispose pas des ressources cognitives suffisantes à une mise en œuvre aisée de cette tâche. Par analogie avec une tâche physique, qui peut être exigeante pour un individu mais pas au point de le faire renoncer d'emblée, une tâche cognitive peut présenter ce niveau d'exigence qui conduit l'individu à mobiliser toute son attention, mais à commettre des erreurs et à prendre beaucoup de temps. (...) Chez l'individu, trois facteurs ont une influence majeure sur la charge cognitive. Tout d'abord, son expertise du domaine en cause. (...) Le deuxième facteur majeur concerne le mode opératoire. (...) Enfin, le troisième facteur majeur concerne la gestion d'états mentaux qui interfèrent avec la réalisation de la tâche, comme le stress, l'anxiété, la peur, le fait de devoir lutter contre une menace, réelle ou imaginée. »

Ce témoignage s'appuiera sur trois expériences personnelles afin de décrire l'état mental d'un chef dans la prise de décision en opération. Les trois facteurs issus de la définition ci-dessus qui influencent la charge cognitive permettront de cadrer la solution à apporter, c'est-à-dire répondre à la question de mieux gérer individuellement et collectivement la charge cognitive.

Vignette n° 1 : Officier du quart au sein du CO et commandant d'unité de la batterie du GTIA engagé dans l'embuscade de l'Uzbin (2008)

En juillet 2008 en Afghanistan, une compagnie (Carmin) du 8^e Régiment de parachutistes d'infanterie de Marine (RPIMa) et une batterie du 35^e Régiment d'artillerie parachutiste (RAP) renforcent le Groupement tactique interarmes (GTIA) commandé par le Régiment de marche du Tchad (RMT) afin de prendre en compte une zone autour de Surobi à l'est de Kaboul. Le 18 août 2008, l'officier de quart du Centre opérations (CO) du GTIA est aussi le commandant de la batterie du 35^e RAP. Dans l'après-midi, un premier compte rendu très parcellaire (Carmin 2 est au contact), fait état d'une section au contact, puis très rapidement d'un blessé au sein de la 2^e section. Au fur et à mesure, ce « contact » qui « normalement » est court se prolonge et le nombre de blessés puis de disparus rapportés augmente. Au bout d'une heure, l'officier de quart est désengagé pour pouvoir commander son unité et se déployer avec ses mortiers de 120 dans un premier temps dans une base avancée, puis dans un second temps sur le terrain. Une fois à portée de tir des lieux de l'embuscade, c'est une nuit complète d'attente, la radio collée à l'oreille sur le réseau compagnie de mon camarade parachutiste sans pouvoir proposer la moindre action de feux au regard de l'imbrication des combattants. C'est aussi le décompte macabre, à mesure que la reconnaissance progresse vers le col, de nos camarades tombés au champ d'honneur. À l'aube, immédiatement après l'opération héliportée qui a permis de placer des renforts au niveau du col, c'est une contre-attaque des *talibans*. C'est enfin l'occasion pour les mortiers de 120 mm d'entrer en action, permettant en 5 tirs successifs de désengager nos frères d'armes et de révéler à l'adversaire que le rapport de force a changé.

L'état mental de « l'officier de quart-commandant de batterie » est nourri dans un premier temps par l'incompréhension puis très rapidement la frustration de ne pouvoir évaluer correctement le danger et ainsi proposer les bonnes solutions dans le bon tempo. Dans un second temps, une fois la proposition retenue et le mode d'action validé par le chef de corps (ici le déploiement au plus vite et au plus près de l'embuscade en dépit des 4 heures de trajet), vient le temps de la culpabilité qui fait ressasser en permanence les choses suivantes : Pourquoi n'ai-je pas réussi à convaincre mes chefs de n'engager l'infanterie qu'avec l'appui des mortiers de 120 ? Pourquoi n'ai-je pas proposé plus rapidement cette solution de déploiement ? Pourquoi ai-je engagé mes mortiers pour les 3 jours précédents dans une opération d'envergure et non pas pour cette patrouille pourtant dans une zone sensible ? De façon plus prosaïque, ai-je fait le bon choix en ayant demandé à déployer, quitte à arriver trop tard ? Sommes-nous collectivement prêts ? Cette « culpabilité » est bien évidemment renforcée par les tirs de combattants imbriqués à quelques kilomètres et par le décompte dans la nuit de nos camarades tombés... Bref, étonnamment, la charge mentale d'un chef peut être très (trop) forte pendant les nombreuses phases d'attente au cœur d'une action. Vient enfin la première demande de tir à l'aube. C'est le moment clé car nos camarades sont une nouvelle fois dans une posture très délicate : ils sont sous le feu d'une mitrailleuse de 14,5 mm avec l'ennemi à 100 mètres de leur position. Tirer au mortier de 120 mm pour les désengager est donc dangereux pour nos camarades. Avant tout, il faut convaincre que les mortiers de 120 sont les bons effecteurs et ensuite réaliser ce tir très

technique malgré un risque fratricide important. Pourtant, nous restituons nos savoir-faire et il se dégage une forme de sérénité, avant même les résultats de ce premier tir. Cette action de feu a suffi pour décharger l'officier de sa charge mentale pour l'ensemble du mandat. *In fine*, contrairement à ce que l'on pourrait intuitivement croire, le fait de pouvoir agir a plutôt tendance à faire baisser la charge cognitive, comparativement à la réflexion sans capacité d'action.

Vignette n° 2 : Adjoint de cellule de crise au CPCO lors du déclenchement de l'Opération Sangaris (2013)

Le 5 décembre 2013, sur décision du président de la République (PR) et sous mandat de l'ONU, l'*Opération Sangaris* est déclenchée en République centrafricaine. Elle vise à mettre fin à un cycle d'exactions, prévenir un désastre humanitaire et ainsi rétablir un seuil minimal de sécurité. Si cette opération a fait l'objet d'une planification en amont prévue lors du Sommet de l'Élysée pour la paix et la sécurité en Afrique les 6 et 7 décembre 2013, la recrudescence des violences en amont de ce Sommet a nécessité d'adapter en conduite le plan initial. C'est au sein du Centre de planification et de conduite des opérations (CPCO), en générant des cellules de crise *ad hoc*, que les armées françaises déclinent la décision du PR en ordre opératif à destination du commandant de la force, ici le général commandant les forces françaises déployées au Gabon. Ces cellules de crise sont armées par des officiers du CPCO (J3 [Direction des opérations], Afrique dans ce cas), renforcées si nécessaire par des officiers des armées. Ceux qui suivent leur scolarité à l'École de Guerre peuvent faire des périodes de 15 jours en renfort temporaire. Ainsi, engagé au sein de la cellule de crise RCA (République centrafricaine), préparant sereinement l'engagement français qui aurait dû être annoncé lors du Sommet par le PR, nous voici surpris par l'adversaire. Il s'agit donc, avec un impératif de vitesse, de pouvoir établir une appréciation de situation, de diffuser un ordre au chef opératif, et de proposer au chef du CPCO des solutions pragmatiques de projection de forces.

L'état mental de l'officier dans ce type de situation est nourri par la perte de repère due à l'effondrement du plan provoqué par une réaction imprévisible de l'ennemi. La charge est maximale quand il s'agit depuis Paris (distance) de rédiger un ordre opératif avec un impératif de vitesse pour reprendre l'ascendant sur l'adversaire et répondre au tempo politique (crédibilité de la France au moment du Sommet), sur la base d'une appréciation de situation nécessairement parcellaire. Ainsi, les deux officiers de la cellule de crise, devant la feuille blanche de l'ordre qu'ils doivent adresser au Commandant de la force (Comanfor), se posent les questions suivantes : Avons-nous la bonne Appréciation de situation (APPSIT) pour faire prendre aux chefs (Chef d'état-major des armées et PR) les bonnes décisions stratégiques et politiques ? Avons-nous la bonne APPSIT pour rédiger cet ordre ? Aurons-nous le temps de produire un document exploitable ? Rédiger ce document à deux sans un travail fin d'état-major, n'est-ce pas une forme de précipitation ? Sera-t-il exploitable pour le Comanfor et donnera-t-il suffisamment de liberté d'action au subordonné qui sera, lui, au contact

du terrain ? *In fine*, la structure du CPCO avec des circuits de validation très rapide et efficace répondra aux interrogations et permettra de répartir la charge mentale.

Vignette n° 3 : Chef opérations en Irak au sein de la Task Force Wagram (2018)

Un groupement tactique artillerie (*TF Wagram*) a été engagé de 2016 à 2019 en Irak au sein de la coalition internationale *Operation Inherent Resolve* (OIR). En 2018, au moment de l'engagement du 35^e RAP, la *TF* était engagée, en appui des Forces démocratiques syriennes (FDS), à partir du territoire irakien, dans les batailles d'Hajin puis de Baghouz, derniers bastions de l'organisation terroriste *Daesh*. Le chef opérations ainsi qu'une partie de son état-major est intégré à une *Strike Cell*. (cellule de coordination des tirs d'artillerie et des frappes aériennes) de la coalition, à partir de laquelle les artilleurs français ont conduit plus de 2 500 missions de feux, sous le contrôle d'une chaîne de commandement nationale (CPCO). Au sein de cette *Strike Cell*, l'équipe française, à partir des coordonnées d'un objectif, de celles des canons et de l'effet à obtenir sur le terrain donne les ordres de feux à la batterie française en coordination avec les partenaires (ici les FDS). Plus spécifiquement, le chef opérations, outre le contrôle et la validation des ordres transmis, tient la fonction de *Red Card Holder*. Ainsi, il engage la responsabilité de la France pour chacun des tirs exécutés en appliquant des règles d'engagement et une procédure spécifique qui peut aller, dans certains cas, jusqu'à demander l'autorisation au CPCO de tirer.

L'état mental du chef, dans ce type de situation, est nourri principalement par son environnement de travail. Une *Strike Cell*. est à la fois un mur d'image retransmettant en direct les vidéos issues des caméras de drones ou d'avions de chasse, une multitude de Systèmes d'information ou de communication (SIC) par lesquels de nombreux échanges transitent et une tour de Babel avec des officiers de toutes nationalités. *In fine*, toutes les actions de feux en Irak transitent dans cet espace décisionnel commun. La complexité est encore renforcée pour les Français, car à ce moment-là, les *Camions équipés d'un système d'artillerie (Caesar)* étaient positionnés en Irak pour des objectifs en Syrie avec des règles d'engagement strictes visant à limiter au maximum les risques de dégâts collatéraux. C'est, enfin, un environnement culturellement très anglo-saxon qui allie des procédures strictes, avec une certaine « jouissance » dans l'exécution de tirs vus et commentés en direct grâce à la vidéo. Ainsi, le *Red Card Holder* français s'interroge au moment d'une opportunité de tir de la façon suivante : Ai-je bien compris (travail dans une langue étrangère, procédure complexe) ? Les règles d'engagement nationales vont-elles me permettre d'appuyer efficacement ceux qui sont réellement au contact de l'adversaire et qui risquent leur vie ? Les tirs français visibles par tous les alliés seront-ils aussi précis et rapides (transparence du résultat) ? Quel est le sens du tir que je suis en train de déclencher (les Anglo-Saxons voient le chef artilleur comme un « simple » effecteur qui met en œuvre) ? Être en « sécurité » à Bagdad m'amène-t-il à prendre les bonnes décisions (distance) ?

S'il est clair que l'expérience permet de mieux appréhender la charge cognitive et de limiter les moments de surcharge, cela ne doit pas empêcher d'identifier des clefs pour mieux la gérer dans les plus brefs délais.

Clef n° 1 : une carrière qui donne aux chefs l'expérience qui leur permettra d'absorber au fur et à mesure la charge mentale associée à leur fonction, qui leur donnera une « expertise dans leur domaine » ⁽¹⁾

La bonne gestion de la charge cognitive est dans un premier temps une question de formation. À Coëtquidan, l'État final recherché (EFR) est le suivant : « fournir aux écoles d'arme des officiers aptes à servir comme chefs et instructeurs, confiants dans leurs compétences et dans l'institution, polyvalents, responsables et conscients des enjeux d'avenir ». Il apparaît opportun d'insister sur la confiance. Cette confiance en soi passe par une formation humaine exigeante (travail sur les forces morales) et une bonne connaissance de soi (pour la formation initiale des officiers, c'est notamment grâce à une politique d'aguerrissement exigeante), quelle que soit l'arme ou la spécialité. Cette formation doit bien entendu être intellectuelle et technique, afin de maîtriser un fond de sac qui permet de répondre à un maximum de situations tout en développant des qualités d'adaptation.

Dans un second temps, c'est l'entraînement qui opportunément peut être poussé jusqu'au *drill*. Il favorise l'automatisation des tâches simples et collectives, et ainsi libérer le chef qui peut se concentrer sur l'essentiel. Cela permet aussi au chef de connaître sa troupe et d'avoir ainsi confiance en ses capacités collectives. Enfin, l'entraînement entretient la culture du risque. Des entraînements au saut en parachute donnent l'occasion par exemple de multiplier les expériences de prise de décision rapide avec un minimum d'information.

L'expérience cumulée permet de prendre du recul et ainsi de pouvoir mobiliser au bon moment ses capacités cognitives. Des engagements opérationnels réguliers, une carrière qui mêle des temps de formation et d'entraînement sont autant de facteurs qui donnent *in fine* au général Comanfor, qui a été un jour lieutenant à la tête d'une section, la connaissance de la mécanique humaine lors des grands engagements.

Clef n° 2 : une organisation capable de répartir la charge mentale en établissant un « mode opératoire adapté » ⁽²⁾

La bonne gestion de la charge cognitive, en amont d'une opération, passe par une génération de force ciselée, notamment au niveau des états-majors. Cette organisation opérationnelle n'a pas uniquement vocation à regrouper différents spécialistes qui interagissent entre eux (renseignement, influence, artillerie, génie, communication, etc.), mais elle peut et doit aussi faciliter une meilleure répartition de la charge cognitive collective. À ce titre, outre le bon dimensionnement de l'état-major, il s'agit d'articuler les différents niveaux pour permettre la subsidiarité, autrement dit, lutter contre une hypercentralisation que favorisent les nouvelles technologies.

⁽¹⁾ Premier facteur de la définition d'*Encyclopaedia Universalis*, cf. introduction.

⁽²⁾ Deuxième facteur de la définition d'*Encyclopaedia Universalis*, cf. introduction.

En parallèle de la mise en place d'une organisation répondant à la menace, établir des procédures les plus proches possibles de la formation et de l'entraînement générique sert à cadrer les interactions, à canaliser et à fluidifier la diffusion de l'information. À ce titre, un officier responsable uniquement de l'organisation du travail et des flux d'information apparaît très vite indispensable au sein des états-majors.

Enfin, une bonne organisation doit avoir pensé la place du chef, afin de lui donner du temps. Ce temps offert est bien évidemment essentiel pour qu'il puisse décider. Ainsi, son environnement doit être ciselé tant dans l'organisation (cabinet, assistant militaire) que dans le choix des personnes qui l'entourent. *In fine*, il doit pouvoir dans les moments clefs mobiliser toutes ses capacités pour décider.

Clef n° 3 : Des soldats aux compétences adaptées à la charge mentale qu'impose l'environnement actuel, capables de « gérer les états mentaux qui interfèrent avec la réalisation de la tâche, comme le stress, l'anxiété, la peur, le fait de devoir lutter contre une menace, réelle ou imaginée » ⁽³⁾

Dans un monde hyperconnecté et surchargé d'informations, les armées doivent évidemment s'adapter sans cesse pour répondre aux nouvelles menaces. Ainsi, ce sont de nouveaux talents qui sont nécessaires pour armer de nouveaux métiers (gestion de bases de données, cyber) ou pour accompagner les évolutions technologiques des armées (influence, artillerie, systèmes d'information et de communication). Or, ces nouveaux talents sont « duaux » (autrement dit particulièrement recherchés dans le monde civil). En outre, les engagements actuels et futurs demandent aux talents « classiques » d'absorber toujours plus de paramètres. Cela pose donc la question de leur recrutement, de l'attractivité des carrières qui peuvent leur être offertes, bref de notre modèle. Cela pose aussi la question du juste besoin en technologie, notamment pour un engagement de masse et donc d'un modèle d'armée qui soit soutenable.

Pour autant, la guerre n'a pas changé, elle reste un affrontement des volontés qui s'incarne dans un déchaînement de violence extrême. Ainsi, au-delà des talents propres à l'évolution de nos sociétés qui donnent aux soldats une aisance technique qui rassure, le guerrier doit aussi gérer un environnement d'ultraviolence qui densifie une charge cognitive déjà élevée. Il devra alors puiser dans ses propres forces morales (formation, entraînement, capacité à sortir de la tranchée et se battre s'il le faut à la baïonnette), dans un collectif soudé (fraternité d'armes, esprit de corps) et dans un environnement familial stable (avec notamment une famille soutenue en base arrière) les ressources pour combattre, quel que soit le champ de bataille.

« La surcharge cognitive correspond à un état mental où un individu est engagé dans la réalisation d'une tâche extrêmement exigeante pour lui ». Bien gérer cette charge permettra de prendre l'ennemi de vitesse dans une société connectée où le champ informationnel, champ de bataille à part entière, induit des « tâches de plus en

⁽³⁾ Troisième facteur de la définition d'*Encyclopaedia Universalis*, cf. introduction.

plus exigeantes ». Se préparer aux chocs futurs passe, on l'a vu, par une formation et un entraînement exigeants. Les adapter sans cesse pour être toujours mieux armé est une nécessité. Une fois dans l'action, c'est grâce à la confiance en nos qualités individuelles et collectives que nous vaincrons. Les armées françaises ont dans leur ADN, plus que tout autre armée, la capacité d'emporter la victoire dans des environnements de plus en plus complexes. En effet, l'exercice du commandement y est singulier : c'est le « commandement par l'effet majeur » ⁽⁴⁾ qui permet à chaque échelon de commandement, y compris dans le brouillard de la guerre, de prendre des décisions qui sont dans l'esprit du chef. Autrement dit, partir en opération de guerre avec un « effet majeur » réduit fortement le risque de surcharge cognitive. ♦

⁽⁴⁾ Commandement par l'intention, s'il fallait actualiser cette expression.

La surcharge cognitive en opération militaire complexe : l'exemple du JTAC

Djamel BOUADJADJ et Mickaël MARIA

Sous-lieutenants, 1^{re} brigade de l'École militaire interarmes, Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan (AMSCC).

Le JTAC, un poste clé et exigeant

Dans toute manœuvre interarmes, l'artillerie fournit une équipe d'observateurs avancés qui comprend en son sein un *Joint Terminal Attack Controller* ou JTAC⁽¹⁾. Son rôle est de diriger les actions des aéronefs de combat au plus près des troupes amies au sol (*i.e.* l'appui aérien rapproché). Il est donc le lien entre les missions menées par les combattants au sol et celles menées dans les airs. Pour conduire à bien les tâches qui lui sont assignées, le JTAC coordonne une multitude d'intervenants et met en œuvre une variété d'équipements.

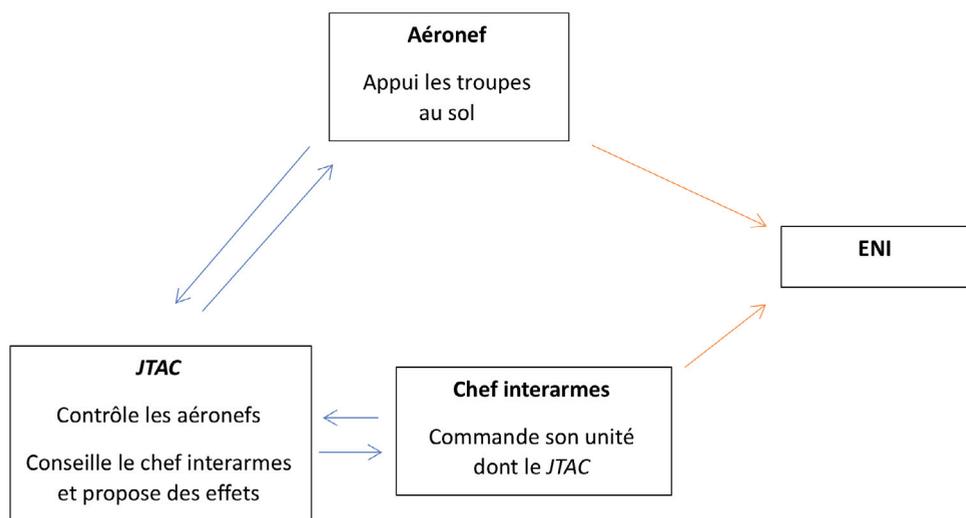
Parmi ces derniers, nous trouvons les aéronefs à voilures fixes ou tournantes, nationaux ou étrangers, pilotés ou autonomes. Le JTAC doit en conséquence savoir s'adapter afin de proposer des effets en adéquation avec la mission et le niveau de responsabilité qu'exerce son chef, qu'il s'agisse d'un capitaine à la tête d'un Sous-groupement tactique interarmes (SGTIA, soit environ 100 personnes) sur le terrain ou d'un colonel commandant un Groupement tactique interarmes (GTIA, composé de deux à quatre SGTIA) depuis un centre d'opération. Pour l'aider dans ses missions, il s'appuie sur toute une panoplie de matériels (radios, jumelles, moniteur vidéo, etc.) et sur une maîtrise complète des procédures françaises et otaniennes ou multinationales.



En résumé, la complexité de cette fonction consiste à être confronté à des intervenants venant de milieux diamétralement opposés, et à maîtriser finement des matériels de pointe.

⁽¹⁾ Les Contrôleurs aériens avancés sont aussi présents dans l'Armée de l'air et de l'Espace.

La surcharge cognitive en opération militaire complexe : l'exemple du JTAC



Comprendre la surcharge cognitive à laquelle il fait face

Le stage de qualification

Avant même d'accéder à la formation de JTAC, l'obtention du diplôme d'anglais « PLS 3332 Otan » puis le succès aux tests psychotechniques « Cerpair » sont des pré-requis nécessaires, le premier demandant beaucoup de sérieux dans la préparation.

Ensuite, la formation pour devenir JTAC se décompose en trois étapes :

- Une première partie appelée *Academic Course*, longue de trois semaines, au cours de laquelle toutes les bases théoriques du métier sont enseignées. Tous les matins, les stagiaires sont testés au cours d'un « *Morning quiz* ». La fin de cette partie est sanctionnée par un examen final éliminatoire.

- Une deuxième où le candidat doit suivre le *Basic Training Course*, longue de trois semaines également. Il s'agit ici de réaliser 12 types de guidage différents sous contraintes variées ⁽²⁾. À ce stade du stage, une faute de sécurité peut entraîner un carton rouge ; une seconde entraîne un renvoi dans l'unité. La réussite du candidat lui permet d'obtenir une certification.

- Une troisième où, afin d'être pleinement qualifié, le futur JTAC doit s'exercer sur 6 types de scénarios plus poussés ⁽³⁾ et valider un créneau d'évaluation au cours de l'*Advanced Training Course*.

⁽²⁾ Guidage de nuit, guidage avec hélicoptères, tir de munitions réelles, etc.

⁽³⁾ Simulation de missions complexes en terrain ouvert : escorte de convoi, protection de Bases opérationnelles avancées (FOB), combat de haute-intensité...

La surcharge cognitive en opération militaire complexe : l'exemple du *JTAC*

On pourra retenir le fait que, avant et pendant sa formation, le stagiaire *JTAC* est sujet à une réelle pression, qu'elle vienne de l'individu lui-même face à son éventuel échec ou de l'exigence de ses instructeurs. De plus, ses chefs en unité sont très désireux que celui-ci revienne en régiment avec cette qualification rare et indispensable pour des opérations interarmées. En outre, le candidat est placé dans un environnement qui ne lui est pas familier, le stage s'effectuant au Centre de formation à l'appui aérien (CFAA), centre franco-allemand qui se situe sur une base de l'AAE en Lorraine.



Entraînement
et maintien en qualification

Le maintien en qualification

Afin de maintenir sa qualification à jour, le *JTAC* qualifié doit effectuer 12 guidages par an en respectant certaines contraintes. Cette procédure est imposée par l'Otan et son suivi est assuré par le CFOT (Commandement de la force et des opérations terrestres). Au regard de ses obligations de services et de manque de temps, il lui est possible de se trouver très rapidement hors qualification sur certains types de guidages (ex : guidage de nuit, guidage avec hélicoptères, tir de munitions réelles, etc.).

Pour un militaire, la qualification de *JTAC* n'est pas un emploi principal mais une spécialité qui vient se rajouter à d'autres ⁽⁴⁾. Selon la programmation et le besoin opérationnel de son unité, il doit donc, en plus de son emploi, s'organiser et trouver des solutions pour s'entraîner et dégager du temps pour la maintenir à jour. Il lui faut d'abord prendre contact avec le centre d'entraînement proposant des simulateurs et démarcher les escadrons de chasse pour obtenir des créneaux disponibles. Il lui faut ensuite synchroniser les emplois du temps des organismes respectifs concernés (bureaux opérationnels des bases aériennes et des régiments d'hélicoptères de combat, troupes de manœuvre) et surtout, faire coïncider ces périodes avec la programmation de son unité.

Par ailleurs, il n'est pas le seul à avoir des impératifs d'entraînement et de qualification, les équipages armant les avions ayant des contraintes similaires. Il doit donc réussir à aligner les entraînements en fonction des besoins de chacun, ce qui demande une certaine gymnastique intellectuelle pour faire correspondre préparation avant projection, maintien en qualification et évaluation individuelle.

Les opérations extérieures

C'est dans ce cas précis que la surcharge cognitive peut atteindre son paroxysme, et ce, pour trois raisons :

⁽⁴⁾ Chef d'équipe d'observation, officier de coordination des feux ou encore équipier commando.

La surcharge cognitive en opération militaire complexe : l'exemple du JTAC

- Tout d'abord, des vies sont en jeu. Pion d'appui essentiel à la manœuvre, un JTAC peut renverser le cours d'une action militaire. Que ce soit en coordonnant la neutralisation d'une menace ou en organisant l'évacuation d'un blessé par les airs, le JTAC est également confronté à la mort.

- Ensuite, le JTAC agit au sein d'un GTIA ou d'un SGTIA, ensembles plus ou moins complexes avec lesquels il faut s'intégrer et travailler de concert afin d'apporter un appui efficace en coordonnant sa manœuvre avec les forces aériennes. Les intervenants et les collaborateurs sont alors multiples : chaîne artillerie, chaîne renseignement, AAE, forces internationales, etc.

- Enfin, le JTAC n'est pas un pion indépendant manœuvrant à son bon vouloir. Il agit sous les ordres du chef interarmes et contribue à l'effet majeur fixé par ce dernier.

Le cumul de ces trois faits, combiné à une évolution dans un milieu complexe, peuvent inexorablement mener à une surcharge cognitive.

Les outils et savoir-faire pour faire face à la surcharge cognitive

La surcharge cognitive du JTAC : de la découverte à l'expérimentation

La formation JTAC, adaptée et rigoureuse, est essentielle pour expérimenter la charge cognitive inhérente à cette fonction afin d'éviter d'atteindre un seuil de surcharge lors de missions opérationnelles. Ils sont donc formés à l'aide de cours spécialisés qui incluent des scénarios évolutifs, complexes et de haute intensité.

Une fois la phase académique de 3 semaines achevée, phase indispensable à l'acquisition de compétences techniques, place au *Basic Training Course (BTC)*. Cette deuxième phase permet de se familiariser avec la procédure *Close Air Support (CAS)*, avec un accompagnement des instructeurs. Ces derniers incarnent une variété d'acteurs (chef tactique au sol, Coordinateur appui-feu [CAF] d'artillerie, mais aussi un ou plusieurs drones fictifs armés ou non-armés) et animent les séquences d'entraînement. Les scénarios sont progressifs et permettent au stagiaire en formation de s'accoutumer à un niveau de complexité de plus en plus important avec un nombre croissant d'informations à traiter. C'est dans cet environnement complexe qu'il devra appliquer des procédures afin de prendre des décisions importantes qui préservent la sécurité de l'aéronef, des troupes au sol et limitent les dommages collatéraux. L'entraînement s'effectue d'abord en *indoor*, puis en *outdoor*.

- En *Indoor* : le *Simulator Forward Air Controller* ou *SimFAC*, est un simulateur de guidage dans lequel les aéronefs sont simulés et joués par des pilotes de l'AAE expérimentés, qui appliquent les procédures d'appui aérien rapproché. À noter qu'une



Évasan : poser d'urgence d'un hélicoptère

fois la qualification obtenue, ce simulateur permet de continuer à s'entraîner et de pratiquer certains guidages nécessaires au maintien en qualification. Le *SimFAC* est en conséquence un outil indispensable au JTAC, lui permettant de multiplier les occasions d'entraînement en préservant les aéronefs et les pilotes d'une part, et en se dégageant des contraintes météo ou d'autres indisponibilités techniques d'autre part.

- En *Outdoor* : Après quelques heures au simulateur, place à la formation pratique avec de vrais aéronefs : l'objectif de cette phase *BTC* est bien d'amener le JTAC-élève à mettre en application les procédures *CAS*, en y ajoutant les contraintes liées aux machines (avions, hélicoptères, drones), aux conditions météorologiques ainsi que celles liées à l'utilisation du matériel d'acquisition/observation et de désignation d'objectif.

La troisième et dernière phase de cette formation est l'*Advanced Training Course (ATC)*, redite de la précédente mais placée dans un contexte tactique opérationnel. Les JTAC-élèves effectuent pour la mise en place une infiltration à pied ou en véhicule jusqu'aux abords d'un objectif ennemi. Il n'est plus seul désormais et évolue au sein d'une équipe d'observation prête à désigner des objectifs adverses. Une fois l'objectif désigné, place à la « corrélation », moment clé de la procédure consistant à s'assurer que la cible décrite par le JTAC-élève est réellement celle que voit le pilote. Enfin, il conseille le chef tactique (rôle joué par l'instructeur) en lui proposant une solution viable (effet sur le terrain, type de munition ou armement utilisé ou bien encore les délais d'intervention) et sans danger pour les unités amies, les civils et autres aéronefs pouvant évoluer dans la zone.

La fonction de JTAC s'appuie sur des procédures strictes qui permettent de séquencer les phases d'attaques et fluidifier les communications radio. Ces procédures appliquées dans l'ordre chronologique ont pour conséquence de décharger cognitivement et émotionnellement le JTAC, lui évitant ainsi une saturation cognitive. Cette formation qui se déroule au CFAA pour la partie théorique, puis en France et en Allemagne pour la partie pratique, couvre l'ensemble des procédures de guidage de frappes aériennes et de coordination entre les différents intervenants au sol et dans la 3D (avions, hélicoptères, drones, artilleurs, etc.).

L'intégralité des communications et des procédures sont en anglais, ce qui est parfois difficile lorsque le JTAC européen se confronte à l'accent texan ou même britannique... Heureusement, les procédures permettent de rendre les communications brèves et concises. Pas de place ici pour les grands orateurs ! Cette formation exigeante doit préparer les opérateurs à prendre des décisions complexes « sous pression ».

Enfin, l'intégration des neurosciences pour améliorer les capacités d'apprentissage et cognitives des personnels en situation, pourrait dans un futur proche irriguer les formations théoriques et pratiques. Ces derniers viseraient à analyser et maintenir le niveau de charge cognitive des JTAC en dessous du seuil critique d'inhibition, afin de connaître son propre seuil limite et dans le but d'optimiser ses capacités décisionnelles en opération.

« Être affûté » par l'entraînement en conditions réelles

Le rôle de *JTAC* dans l'armée française est souvent une qualification qui vient s'ajouter à d'autres fonctions importantes, augmentant la pression sur l'opérateur. En effet, les militaires qui obtiennent cette certification sont souvent déjà responsables de plusieurs autres tâches stratégiques, telles que celle de chef d'équipe d'observation d'artillerie ou celle d'équipier au sein d'un groupe commando. En conséquence, la charge cognitive est amplifiée par la multiplicité des rôles assumés par un seul individu, et ce, même lors des exercices en conditions réelles.

En outre, les entraînements en conditions réelles ne se limitent pas à la préparation tactique, mais incluent également la gestion de la composante physique propre à l'individu lorsque déployé sur le terrain (emport de lourdes charges, endurance). En conséquence, la prise en compte de ces paramètres est essentielle au bon déroulement d'une mission opérationnelle. S'ils sont omis, le *JTAC* peut entrer dans un état de surcharge cognitive, celui-ci étant déjà saturé par l'application scrupuleuse de ses procédures et par le traitement de nombreuses données en simultané.

Lors de ces entraînements, le *JTAC* doit transporter tout son matériel de désignation d'objectifs pour des opérations de jour comme de nuit. Cela inclut des dispositifs capables d'acquies et d'observer des cibles sur des distances allant de 100 mètres à 3 kilomètres. Ce matériel de haute précision, indispensable pour la mission, s'ajoute aux vivres, à l'eau et à l'équipement de protection personnelle (gilet pare-balles, casque de protection balistique).

Illustrons ici la charge physique et mentale d'un *JTAC* lors de missions menées en Afrique : il transporte un sac à dos pesant 25 à 30 kg et comprenant l'équipement nécessaire pour une mission de 24 heures, auquel s'ajoutent 6 à 8 litres d'eau par jour, en fonction des conditions climatiques et de l'intensité physique de la mission. Avec le gilet pare-balles, le casque balistique équipé et son armement personnel, le poids total d'un *JTAC*, pesant à nu 80 kg, peut atteindre 145 kg en mission. Bien que ce fardeau soit souvent associé à des missions en milieu aride comme en Afrique, il reste tout aussi lourd en Europe, à l'exception de la quantité d'eau transportée. Par conséquent, le *JTAC* doit non seulement être mentalement et intellectuellement préparé, mais aussi physiquement entraîné pour résister à ces conditions difficiles. En définitive, tout facteur de fatigue physique supplémentaire peut potentiellement inhiber cognitivement le *JTAC*, c'est-à-dire le contraindre à ne plus avoir les ressources cognitives nécessaires à l'accomplissement des tâches complexes de coordination des frappes aériennes.

Déléguer pour mieux contrôler

Selon Platon (*La République*), « à pratiquer plusieurs métiers, on ne réussit dans aucun ». Pour y répondre, une autre méthode pour diminuer la surcharge cognitive des *JTAC*



JTAC en position avec son équipement

La surcharge cognitive en opération militaire complexe :
l'exemple du *JTAC*

consiste à adopter une répartition efficace des tâches entre eux et les *Joint Fires Observers* ou *NFO* (*National Fires Observer* pour les Français). Ces derniers sont les plus sensibilisés et familiarisés à l'environnement du *JTAC*, mais d'autres membres du groupe peuvent aussi le décharger en récupérant des tâches telles que l'extraction de coordonnées de l'objectif et sa désignation, la sécurité rapprochée du *JTAC* ou encore le suivi en temps réel des positions amies les plus avancées. Cela lui permet de se concentrer sur les décisions critiques. Ce modèle de délégation favorise une meilleure gestion de la charge mentale en répartissant les responsabilités entre différents opérateurs. De plus, l'intégration des technologies modernes de communications permet une meilleure coordination entre unités amies au sol et unités aériennes, facilitant ainsi la délégation et une prise de décision plus éclairée.

Prenons pour exemple une mission de guidage de plusieurs heures en Afrique en 2022 et où je [SLT Bouadjadj] me rappelle avoir délégué la responsabilité de ma propre sécurité rapprochée (concrètement ma vie) à mon camarade. À ce moment-là, je ne me souciais plus de mon entourage et me concentrais sur ma mission consistant à assurer la sécurité de l'ensemble du dispositif ami avec, qui plus est, des ennemis armés dans la zone. J'avais acquis ce savoir-faire lors d'une autre mission en Afrique en 2017.

Lors de celle-ci, j'occupais le poste de binôme du *JTAC* au sein du Groupement de commandos parachutistes (GCP) et étais chargé de veiller à sa sécurité. Ce dernier subissait un effet de « tunnelisation attentionnelle », un trouble de l'attention qui suit lorsque nous avons trop d'informations à traiter en situation de stress élevé et qui a pour conséquence de se focaliser sur celle qui nous semble la plus importante. Ce phénomène vous enferme dans une vision altérée qui inhibe inconsciemment le traitement de signaux d'alertes extérieures qui pourraient être « tout autant voire plus » importants. Dans cette mission, pendant que l'ensemble du GCP était sous le feu d'ennemis qui cherchaient à s'imbriquer dans notre dispositif, le *JTAC* lui était concentré sur l'application de ses procédures de guidage des frappes aériennes avec la patrouille de chasse, et sa tâche était de neutraliser ces ennemis et d'empêcher tout renfort. À un moment, j'ai dû plaquer mon camarade *JTAC* pour qu'il se couche, s'abrite et qu'il se reconnecte avec la réalité du danger immédiat de la situation (en l'occurrence, les ennemis proches ouvrant le feu sur nous).



Guidage de frappes aériennes avec une patrouille de chasse (Mali, 2017)

Cette situation traduit la difficulté de prendre en compte des paramètres liés à sa propre sécurité lorsque l'on est en focalisation attentionnelle sur la tâche plus vitale qu'est la sécurité de l'ensemble du dispositif ami. Au final, lors de cette mission, la confiance réciproque au sein du binôme a permis au *JTAC* de déléguer sa propre sécurité, lui permettant ainsi de rester en charge cognitive maîtrisée et ainsi d'éviter la surcharge.

Ce qu'il faut retenir concernant la surcharge cognitive dans la fonction de *JTAC*

Pour résumer, avant même de s'engager dans un cursus de formation, le volontaire *JTAC* intègre des équipes d'observateurs avancés pour se sensibiliser à cet environnement complexe en vue de réussir cette formation exigeante. Une fois formé, il doit se maintenir en qualification en multipliant les guidages, les rencontres et échanges avec les différents niveaux hiérarchiques. Il devra ensuite superviser à son tour un volontaire prévu sur le cursus *JTAC*, pour ancrer ses connaissances de manière active tout en se tenant informé des mises à jour de nouvelles procédures.

En conclusion, un bon *JTAC* dans l'armée est un vieux *JTAC* dans la fonction. C'est l'expérience et la remise en question permanente qui feront de lui « un *JTAC* » en qui ses frères d'armes au sol, ses chefs, ainsi que les différents intervenants 3D (pilotes d'avions, d'hélicoptères, de drones, CAF d'artillerie, etc.) auront **pleine confiance**.

Pratiquement, pour rester en dessous du seuil et éviter la surcharge cognitive, il faut d'abord **se connaître**, connaître son propre seuil, ses propres limites cognitives et ne pas hésiter à les remettre en question lors d'entraînements en conditions réelles. Ces entraînements permettent d'approcher l'état de surcharge cognitive, voire de l'expérimenter, afin d'y être sensibilisé et préparé, mais surtout de ne pas atteindre cet état inhibant lors des vraies missions opérationnelles. **La remise en question**, en général, doit être une des mains courantes de cette fonction de *JTAC*. Les points clés pour empêcher la saturation cognitive reposent donc sur des formations robustes, des simulations réalistes, une **délégation stratégique** des tâches et par conséquent, une connaissance profonde de soi-même et de ses limites cognitives. De toute évidence, tout cela étant accompagné à **juste mesure** d'outils technologiques de pointe qui pourront aider et accélérer le processus décisionnel, tout en empêchant la surcharge cognitive. ♦



■ **Impact
sur le commandement**

RDN

Apprendre à rester lucide : expérience d'un pilote de *Rafale Marine*

Vincent BERTHELOT

| Ancien pilote de l'aéronavale.

Dans cet article, je vous présente la manière avec laquelle j'ai abordé la gestion de la charge mentale durant ma carrière dans la chasse embarquée. Cet article fait suite à ceux des précédents *Cahiers de la RDN* (2022 et 2023), dans lesquels j'avais évoqué la préservation de nos ressources face au stress et à la dette de sommeil, dans des environnements militaires exigeants, comme celui du porte-avions.

Charge mentale : charge de travail et charge psychique

Une erreur régulièrement commise est de considérer que la charge mentale équivaut simplement à la charge de travail générée par la somme des tâches à accomplir, et que de manière tout à fait mécanique, celle-ci serait facilement transposable d'une personne à une autre : voilà, à mon sens, une des premières causes d'épuisement professionnel postmoderne.

En lien étroit avec nos pensées et nos émotions, la charge mentale est une notion complexe, dont la partie immergée, celle de la charge psychique, est particulièrement forte au combat. En tant qu'opérationnel, je conçois la gestion de la charge mentale comme une espèce de « management » des ressources attentionnelles qu'il va falloir engager pour la traiter.

Expérience du combat : pleinement conscient, pleinement présent

Ma profession de pilote de chasse m'aura appris au moins une chose : le fait d'être conscient de ce que l'on fait, et de le rester au cœur de l'action, est un des enjeux majeurs du combattant. Pour mettre en lumière cette capacité essentielle à la bonne conduite de l'action – savoir rester lucide malgré l'intensité de l'engagement –, laissez-moi vous décrire mon premier vol de guerre.

« Nous sommes en 2008. Ma mission consiste à assurer un appui-feu au profit de forces au sol : à tout moment, je dois être capable d'exécuter une frappe air-sol précise et rapide sur demande des commandos. Si les trois premières heures du vol se

déroulent sans encombre, la situation bascule brutalement. Les commandos viennent de tomber dans une embuscade et les forces en présence sont largement en faveur de l'ennemi. La tenaille est parfaite, le feu nourri. Les commandos ne peuvent plus ni avancer ni reculer, un de leurs véhicules explose après un tir de roquette... L'engagement est total, pratiquement à bout portant. J'entends les cris des hommes et les claquements des armes à la radio.

L'ordre m'est donné de frapper. Mon cœur bat la chamade, le pic d'adrénaline est à son paroxysme, j'ai la trouille aussi. Pourtant, après quelques secondes de sidération, je me ressaisis et porte assistance aux commandos en réalisant rapidement les bonnes actions en cabine, malgré l'intensité du moment. »

En mettant ma conscience à rude épreuve, ce baptême du feu m'aura démontré que s'il existe plusieurs façons de gagner un combat – saturer l'adversaire et/ou le surprendre –, il n'y a qu'une seule manière d'être défait, celle de perdre la lucidité au cours de l'engagement. Ne plus être conscient dans l'action, c'est tôt ou tard prendre de mauvaises décisions ou, pire encore, ne plus en prendre du tout ; à l'instar d'un boxeur coincé dans les cordes, ne discernant plus la déferlante des coups de son adversaire.

Optimiser ses ressources attentionnelles

Savoir interagir en pleine conscience dans n'importe quel type de situation est la clef de voûte des opérations militaires. Ainsi, la première compétence que je cherche à transmettre à mes équipiers est celle d'être pleinement conscient des choses qui les entourent : s'ils sont capables de percevoir finement leur environnement, alors ils seront en mesure d'interagir avec les éléments du système dans lequel ils évoluent ; et donc, à terme, de décider et agir malgré la surcharge mentale du combat (cognitive et psychique).

C'est la raison pour laquelle j'enseigne aux jeunes pilotes, dès leur arrivée en flottille de chasse, la méthode ORA ⁽¹⁾. Cette discipline a pour objectif de renforcer la capacité d'un individu à se concentrer... sur sa propre concentration. Elle lui permet de réguler son attention, en apprenant à faire avec les pensées et les émotions qui l'assaillent.

Autrement dit, ORA permet à celui qui la pratique d'évaluer, à chaque instant, sa propre conscience du monde et de revenir à son point d'attention du moment, le cas échéant. Plus encore, ORA est pour le *leader* cette aptitude à être dans l'action, tout en étant capable de considérer son groupe et d'en percevoir la qualité des interactions.

⁽¹⁾ ORA : Optimisation de la régulation attentionnelle. Méthode codéveloppée avec Marjorie Bernier et Jean Fournier, spécialistes de la performance cognitive, lors d'une étude menée avec l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) en 2018 et dirigée par la professeure Françoise Darses (cf. « *Effects of Mindfulness Training on Decision-Making in Critical High-Demand Situations: A Pilot Study in Combat Aviation* », *Safety Science*, n° 166, octobre 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106204>). Se composant essentiellement d'exercices de concentration en environnement saturant, la formation ORA se déroule en général sur une période de six à huit semaines (on entraîne le cerveau comme on entraîne le corps, « *No pain, no brain, no gain* »).

Je vous propose ci-après une déclinaison de la méthode ORA – le SCAN –, pratique et facile à mettre en place, extraite du livre *Les 6 piliers de la coopération*, paru aux Éditions Dunod (2023).

Faire son SCAN

Les pilotes de chasse sont entraînés à contrôler de manière régulière les paramètres de leur avion ainsi que ceux de la mission : à des moments-clés identifiés en amont (par exemple en sortie de catapulte sur le porte-avions ou avant le tir d'une munition), ils vont « scanner » leurs différents écrans et instruments ; à bord d'un *Rafale*, ils peuvent même vérifier dans les phases critiques les éléments des avions de leurs équipiers grâce à la liaison de données (carburant, radar, armement, etc.).

À l'instar de ce qui est fait avec les moyens matériels, je propose aux pilotes de transposer cette méthode de travail à leur propre « écran humain », en appliquant le SCAN (Signal, Cause, Action, Next). Outil pertinent à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du cockpit, et adaptable à toutes les situations du quotidien, le SCAN permet à chacun d'obtenir une image instantanée de son niveau de concentration.

Le SCAN peut être réalisé à tout moment :

- quand la situation l'impose (une gestion de crise) ;
- ou dès qu'on en ressent le besoin (une charge mentale ressentie forte).

Cette démarche lucide a pour objectif d'optimiser les ressources du moment en développant la capacité de l'individu à se reconcentrer sur le prochain point d'attention, quels que soient les stimuli et distracteurs de son environnement (internes ou externes).

Le SCAN comprend 4 étapes :

- **Signal(s)**

– Observez, écoutez et captez les signaux physiologiques et psychiques, internes et externes, passés et futurs, plus ou moins « proches » du moment présent. Exemples : votre nœud au ventre ou votre irritation passagère, le stress ou l'apathie anormale d'un collaborateur (cf. figure 1).

– Acceptez tous les signaux perçus pour ce qu'ils sont : des éléments de communication non verbale, des marqueurs et des indices d'une situation en déséquilibre ou en passe de l'être.

- **Cause(s)**

– Identifiez les causes des signaux et comprenez les liens de cause à effet sans jamais les juger. Le fait de porter un jugement ne serait qu'une dépense d'énergie supplémentaire altérant votre objectivité et la suite du processus.

– Les causes peuvent être multiples, certaines seront liées à vos pensées intimes, d'autres à des sentiments en rapport avec votre environnement, comme une interaction ratée avec l'un de vos collaborateurs par exemple.



– Il est normal d'être traversé au quotidien par toutes sortes d'émotions et chacun d'entre nous a aussi « le droit » d'aller mal de temps en temps, mais ce serait une erreur de s'attaquer aux symptômes plutôt qu'à leurs causes.

- **Action**

– Commencez par vous poser les questions suivantes : ai-je la main sur la ou les causes identifiée(s) ? Ai-je la possibilité d'agir sur elle(s) à court, moyen ou long terme ? Cela inclut la capacité à agir par subsidiarité ou délégation.

– Si vous avez la possibilité d'agir, définissez un plan d'action dans le temps et dans l'espace (où, quand, comment ?). Si l'action peut être menée rapidement, débarassez-vous-en au plus tôt.

– Si vous n'avez pas la possibilité d'agir, vous n'avez pas d'autre choix que d'accepter cet état de fait (cela reste une démarche consciente et active). Afin de ne pas ruminer des pensées qui n'ont pas d'issue, observez-les sans les juger et laissez-les passer.

- **Next**

– Revenez au point d'attention qui mérite justement toute votre attention et filtrez les signaux identiques qui se représenteraient dans un futur proche pour les mêmes raisons : étape la plus importante, c'est l'objectif de performance du SCAN.

– Déclenchez un nouveau SCAN juste avant la prochaine étape clef qui exigera beaucoup de concentration (débriefing de l'entretien RH d'un futur collaborateur ou « pitch » d'une idée novatrice à votre chef) ou dès que votre attention divaguera au cours de la journée.

– Pratiquez le SCAN de manière régulière, vous distinguerez de plus en plus rapidement votre attention « qui part » et saurez ainsi la ramener sur l'objectif du moment de plus en plus rapidement.

Exemple :

1. Signal : crainte liée à vos pensées (signal « intérieur ») et en rapport avec votre vie familiale (signal « futur moyen terme »).

2. Cause[s] : votre aînée vient de décrocher une bourse pour l'université dont elle rêvait... à Sydney. Elle déménage dans six mois. Son déménagement est la cause directe de votre crainte (« C'est un tel changement ! »). Votre méconnaissance de la vie qui l'attend là-bas en est une cause indirecte.

3. Action : avez-vous la main ? Sur la cause directe, non. Vous devez accepter le fait que c'est la décision de votre enfant. Sa vie.

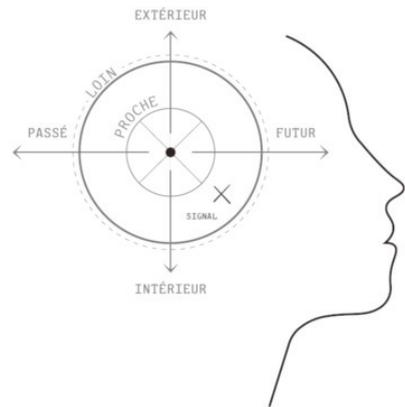


FIGURE 1 – La captation des signaux

Néanmoins, vous avez la main sur la cause indirecte, votre peur de l'inconnu tout à fait normale. En profitant de l'expérience et des conseils des étudiants français qui sont déjà allés là-bas, vous pourrez mieux appréhender ce qui l'attend et être rassuré. Vous projetez donc d'appeler l'organisme en fin de journée afin d'organiser la rencontre avec les étudiants pour votre fille et vous.

4. Next : le signal « crainte » a été accueilli et traité, le reste de votre SCAN étant clair, vous pouvez vous reconcentrer sur la préparation de votre réunion, qui démarre dans moins de 15 minutes maintenant.

J'ai choisi de prendre un exemple de la vie de tous les jours car ce sont ces signaux-là que nous rencontrons régulièrement. Mais la méthode du SCAN fonctionne évidemment dans n'importe quelle situation : il m'est arrivé au cours d'un appontage de nuit, victime de la fatigue et d'un biais de routine (en mer depuis trois mois), de penser à autre chose quelques secondes seulement avant l'impact de mes roues sur le pont. Cette divagation de mon esprit n'aura duré que quelques dixièmes de secondes parce que je l'ai scannée rapidement.

Pour vous entraîner à cette technique de re-concentration, je vous conseille d'associer le SCAN à quelques mouvements d'oxygénation du cerveau (station debout, respiration ventrale profonde) et d'essayer, d'une manière ou d'une autre, de le routiniser. Par exemple, j'ai un camarade qui le pratique systématiquement avant d'ouvrir sa boîte de réception. Personnellement, je ne prends plus l'ascenseur et effectue un SCAN à chaque fois que j'emprunte l'escalier qui mène à mon bureau ou à la salle de réunion.

Au quotidien, utilisons le SCAN pour réguler notre attention et optimiser notre gestion de la charge mentale. ♦

Surcharge cognitive et accidentologie : retour d'expérience des enquêtes de sécurité aérienne

Anthony VACHER ¹, Mandy LAMBERT ², Véronique CHASTRES ¹,
Damien MORISSON ¹, Pascal VAN BEERS ¹, Sami MECHERI ¹ et Léonore BOURGEON ¹

1. Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA),
Brétigny-sur-Orge.

2. Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de
l'aéronautique d'État (BEA-É), Vélizy-Villacoublay.

Note préliminaire : Les opinions exprimées dans cet article n'engagent que leurs auteurs et ne sont pas nécessairement représentatives de celles du Service de santé des armées (SSA) et du Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É).

La gestion de la charge cognitive des équipages d'aéronefs est un enjeu majeur pour la sécurité et la performance des missions aériennes des forces armées et de sécurité intérieure. Le pilotage est une activité à risque dont les caractéristiques entraînent une forte sollicitation des ressources cognitives des membres d'équipage (Martin *et al.*, 2013). Cette activité impose la réalisation de tâches multiples et complémentaires, possiblement concurrentielles mais toutes indispensables pour atteindre le haut niveau de performance et de sécurité attendu (e.g. gestion de la trajectoire immédiate, de la navigation, des systèmes de bord et des radiocommunications). Les équipages doivent gérer, en permanence la priorisation de ces multiples tâches dans un environnement dynamique qui ne cesse d'évoluer et avec une pression temporelle qui impose un temps contraint pour traiter les informations et prendre des décisions, en particulier dans les phases de vol critiques ou les situations d'urgence. Cette forte sollicitation des ressources cognitives des membres d'équipage est renforcée dans l'aviation moderne par la complexité des systèmes technologiques avec lesquels ils ont à interagir et coopérer, voire qu'ils doivent suppléer en cas de défaillance.

À ces contraintes liées à l'activité de pilotage proprement dite, s'ajoutent celles spécifiques au contexte des missions opérationnelles. Ces missions sont associées à de forts enjeux et à une exposition accrue aux risques (Pamplona et Alves, 2020). L'environnement est hostile avec des vols réalisés sous la menace immédiate de l'ennemi dans un contexte parfois imprévisible. Les équipages doivent traiter les informations des systèmes embarqués nécessaires à la mission opérationnelle et se coordonner de façon constante avec d'autres unités et opérateurs en vol ou au sol qui participent à

la mission. Enfin, l'environnement opérationnel est souvent marqué par des conditions de vol et de vie dégradées ou extrêmes et un rythme d'activité soutenu pouvant impacter l'état physique et mental de l'équipage (e.g. fatigue, stress intense, exposition à des situations exigeantes sur le plan émotionnel).

La surcharge cognitive est régulièrement citée parmi les causes des accidents aériens, aussi bien dans l'aéronautique civile que militaire. Cependant, les études quantitatives investiguant les liens entre la surcharge cognitive et les accidents aériens sont relativement peu nombreuses, en particulier dans l'aviation militaire. La surcharge cognitive est rapportée dans 16 à 23 % des cinq principaux types d'accidents aériens survenus au sein de l'*US Air Force* entre 1995 et 2002 (Gibb *et al.*, 2006) et dans 15 % des accidents des avions de chasse *F/A 18* de l'*US Navy* survenus sur la période 2000-2008 (O'Connor *et al.*, 2010). À notre connaissance, en France, aucune étude visant à estimer la fréquence de la surcharge cognitive dans les événements aériens graves n'a été réalisée. Dans ce contexte, nous avons mené une étude rétrospective visant à : I) estimer la proportion d'événements aériens graves survenant au sein de la flotte des aéronefs des forces armées et de sécurité intérieure dans lesquels la surcharge cognitive a été identifiée parmi les causes de l'événement sur la période 2010-2020 ; et II) explorer les circonstances et les causes de survenue de ces événements.

Après avoir brièvement rappelé le contexte de réalisation des enquêtes de sécurité en aéronautique et les méthodes mobilisées par les enquêteurs pour estimer la charge cognitive des équipages impliqués dans des événements aériens graves, nous rapportons sous une forme narrative le cas d'un incident grave impliquant un état de surcharge cognitive du pilote, puis nous exposons les principaux résultats de notre étude rétrospective avant de discuter ses résultats et leur implication pour la prévention des accidents aériens dans une dernière partie.

Les enquêtes de sécurité après un événement aérien grave

En aéronautique, lorsque survient un événement grave (accident ou incident grave), une enquête de sécurité est systématiquement conduite selon des normes et des pratiques internationales afin d'en établir les circonstances de survenue, d'en identifier les causes et, s'il y a lieu, d'établir des recommandations de sécurité. La finalité de cette enquête est de prévenir la récurrence d'un événement similaire dans le futur. Elle ne vise en aucun cas à déterminer des fautes ou des responsabilités dans l'événement qui fait l'objet de l'enquête.

En France, deux organismes indépendants à compétence nationale sont chargés des enquêtes de sécurité après un événement aérien grave. Le premier, créé en 1946 et situé au Bourget (Seine-Saint-Denis) est le Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) ⁽¹⁾. Il a la responsabilité des enquêtes pour les événements qui impliquent les aéronefs de l'aviation civile (e.g. transport de passagers, travail aérien, aviation générale). Le second organisme, créé en 2003 et situé à

⁽¹⁾ Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aéronautique civile (28 août 2024). Accueil. (<https://bea.aero/>).

Vélizy-Villacoublay (Yvelines), est le Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É)⁽²⁾. Il est chargé des enquêtes de sécurité pour les événements impliquant les aéronefs de l'aviation étatique, c'est-à-dire l'ensemble des aéronefs de la flotte du ministère des Armées (Armée de l'air et de l'Espace, Aéronautique navale, Aviation légère de l'Armée de terre, Essais en vol de la Direction générale de l'armement), du ministère de l'Intérieur (Gendarmerie nationale, Sécurité civile) et du ministère de l'Économie, des finances et de la souveraineté industrielle et du numérique (Douanes et droits indirects). Dans un but de transparence et afin que les enseignements issus des événements aériens graves soient partagés au sein de la communauté aéronautique, les enquêtes de sécurité font l'objet d'un rapport final qui est rendu public, à l'exception, pour le BEA-É, des événements couverts par le secret de la défense nationale.

Inférer le niveau de charge cognitive lors des enquêtes de sécurité

Depuis près de cinquante ans, la charge cognitive et sa mesure font l'objet de nombreux travaux de recherche (Moray, 1979 ; Chanquoy, *et al.*, 2007 ; Dehais, *et al.*, 2020 ; Pontiggia, *et al.*, 2024 ; Remigereau *et al.*, 2024). Trois catégories de méthodes sont habituellement mobilisées et souvent combinées pour estimer la charge cognitive d'un opérateur qui réalise des tâches en laboratoire ou en simulateur (Young, *et al.*, 2015). La première repose sur la mesure d'indicateurs de performance de l'opérateur dans la réalisation d'une ou plusieurs tâches (e.g. temps de réponse, taux d'erreurs observées dans une tâche principale et/ou secondaire, capacité de l'opérateur à maintenir une performance acceptable dans la réalisation d'une tâche principale). La deuxième catégorie repose sur l'évaluation subjective, par l'opérateur lui-même, de sa charge cognitive. Le plus souvent, celui-ci exprime son ressenti en complétant des questionnaires standardisés immédiatement après la réalisation de la tâche (Reid et Nygren, 1988 ; Hart et Staveland, 1988). Enfin, la troisième catégorie de méthodes, développée dans le champ de la neuro-ergonomie, repose sur l'exploitation de données recueillies par des capteurs physiologiques et neurophysiologiques tels que l'électroencéphalogramme, l'électrocardiogramme ou l'oculomètre (Dehais, *et al.*, 2020).

Lors des enquêtes de sécurité, la surcharge cognitive fait partie des altérations de l'état cognitif des opérateurs qui sont recherchées par les enquêteurs, notamment lorsqu'une ou plusieurs erreurs sont mises en évidence dans la séquence des événements qui ont conduit à l'accident ou à l'incident grave. Contrairement aux situations contrôlées en laboratoire, dans le contexte des enquêtes de sécurité, la charge cognitive des membres d'équipage n'est pas mesurée mais seulement inférée de façon rétrospective à partir des seules données disponibles après l'événement. Les équipages des aéronefs étatiques ne portent pas encore de capteurs physiologiques leur permettant de suivre leur état physiologique et cognitif en vol. Aussi, à ce jour, les indicateurs physiologiques de la charge cognitive ne sont pas utilisés dans le contexte de l'analyse des événements aériens. Le niveau de charge cognitive est inféré à partir de l'analyse

⁽²⁾ Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État. *Le BEA-É* (<https://www.defense.gouv.fr/bea-e>).

combinée : I) de données subjectives (e.g. entretiens avec les membres d'équipage, avec des pairs de même niveau d'expérience et avec des instructeurs), II) de la performance de l'équipage dans les tâches réalisées au moment de l'événement (e.g. pilotage, communication, gestion de la mission opérationnelle), III) du profil des membres d'équipage (qualification, expérience, familiarité avec la tâche), IV) des caractéristiques des tâches et de la mission à réaliser (difficulté, complexité) et V) des contraintes de l'environnement dans lequel cette mission est réalisée.

Exemple d'un incident grave dans l'aviation de chasse

L'événement est une quasi-collision d'un avion de chasse avec le sol qui a fait l'objet d'un rapport final d'enquête de sécurité accessible sur le site *Internet* du BEA-É⁽³⁾. Les éléments présentés ci-après visent à exposer les éléments utiles à la compréhension du contexte dans lequel s'est manifesté un épisode de surcharge cognitive chez un pilote de chasse.

Le 12 mars 2015 au matin, une patrouille composée de deux avions de chasse *Rafale* Marine de la base d'aéronautique navale de Landivisiau réalise une mission d'instruction d'une durée prévisible de 2 heures. La mission ne présente pas de particularité hormis la situation météorologique dégradée sur le terrain de décollage et d'atterrissage (Landivisiau). Le *Rafale* Marine est un avion de chasse monoplace, un seul pilote se trouve à bord de chaque avion. Le *leader* est un pilote instructeur expérimenté (3 450 heures de vol dont 1 520 sur *Rafale*), qualifié chef de patrouille depuis 2005. L'équipier est un pilote breveté chasse en phase de « navalisation » au sein de la section de transformation chasse de Landivisiau. Il totalise 415 heures de vol dont 104 sur *Rafale* et une dizaine en condition de vol sans visibilité ou de nuit sur *Rafale*.

Le programme est normalement dense pour un vol d'instruction. La mission a été préparée par les deux pilotes et un *briefing* complet a été réalisé. Le vol comporte un ravitaillement en vol en haute altitude, une percée vers la basse altitude sous contrôle radar à une vitesse de 420 kt (≈ 777 km/h) et à une hauteur de 500 ft (≈ 152 m) pour un bombardement sur un objectif préparé. Le vol comporte ensuite une remontée en haute altitude pour remettre le cap sur Landivisiau en formation de manœuvre offensive (avion de l'équipier en retrait et séparé de celui du *leader* par une cinquantaine de mètres). Jusqu'à l'approche sur Landivisiau, l'équipier ne semble pas rencontrer de difficulté et l'instructeur considère même qu'il semble avoir des facilités dans l'exécution du ravitaillement en vol, la phase de vol évaluée lors de cette mission.

Lors de l'approche sur Landivisiau, après avoir réalisé le virage de procédure à gauche, le *leader* ordonne à son équipier de se positionner en patrouille serrée à gauche puis de configurer son aéronef pour l'atterrissage. Les deux aéronefs entrent dans la couche nuageuse et les pilotes perdent toute référence visuelle sur l'environnement extérieur. La seule référence visuelle de l'équipier est alors l'avion de son *leader*. À cet instant, les deux avions évoluent les ailes inclinées à 45° sur la gauche. Dans la couche

⁽³⁾ BEAD-AIR, *Rapport d'enquête de sécurité*, 2015 (<https://archives.defense.gouv.fr/>).

nuageuse, pendant la descente, le *leader* remet les ailes de son avion à plat. L'équipier qui le suit fait de même. Conformément aux procédures, cette action n'est pas accompagnée d'une annonce radio. Une dizaine de secondes plus tard, l'équipier éprouve des difficultés à maintenir sa place. Le *leader* craignant un risque de collision accélère sa descente et demande à son équipier de passer en vol aux instruments. L'équipier se retrouve alors seul. Privé de références visuelles et n'ayant pas perçu la remise à plat de son avion, il éprouve la sensation d'être en virage serré à gauche. Pour corriger cette sensation erronée – une illusion sensorielle – l'équipier réalise immédiatement ce qu'il pense être une remise à plat de son avion qui se retrouve alors fortement incliné à droite et en piqué à plus de 40°. Toujours privé de références visuelles extérieures et ressentant une incohérence, l'équipier contrôle l'attitude de son avion dans le Collimateur tête haute (CTH). Il s'agit d'un instrument de bord qui superpose à l'environnement extérieur des informations sur l'attitude de l'avion et sur la gestion de la mission opérationnelle. Lors de l'incident, les informations perçues par le pilote sur le CTH lui permettent de comprendre que son avion est en piqué mais ne sont pas suffisantes pour qu'il élabore une représentation précise de l'attitude de son avion. Il réduit alors sa vitesse et cherche à activer la fonction *recovery*. Celle-ci permet à un pilote qui prend conscience qu'il est désorienté ou qui doit s'extraire rapidement d'une situation inusuelle, de remettre automatiquement l'avion dans une attitude de sécurité (ailes à plat et légère montée). En réalisant ce geste, l'équipier se souvient que la fonction *recovery* est inhibée lorsque le train est sorti. À cet instant, il voit « une masse sombre monter » et réussit une manœuvre de sortie de piqué à vue avec un point le plus bas enregistré par rapport au sol à 66 ft (\approx 20 m). À l'issue de cette manœuvre, il se fait prendre en compte en individuel par le contrôle aérien et atterrit.

La séquence des événements qui ont précédé cet incident grave illustre que les contraintes du pilotage d'un avion de chasse sont susceptibles d'amener les pilotes aux limites de leurs capacités cognitives, voire au-delà. Dans cet événement, la performance du pilote est altérée avec : 1) des difficultés à contrôler et à maintenir sa position dans la patrouille serrée, 2) des difficultés à élaborer une conscience de la situation adaptée et 3) une action correctrice inadaptée à la situation réelle. Cette altération de la performance du pilote suggère que celui-ci a pu être confronté à un épisode de surcharge cognitive. Plusieurs éléments recueillis au cours de l'enquête de sécurité permettent d'étayer cette hypothèse. Le premier est le témoignage du pilote impliqué. L'équipier se déclare fatigué après les deux heures de vol de cette séance d'instruction qu'il considère comme intense. Il indique qu'il ne pouvait plus – de façon simultanée – conserver le visuel sur son *leader* pour maintenir sa position dans la patrouille et contrôler son CTH ainsi que ses autres instruments de bord. Cette difficulté rapportée par le pilote témoigne d'une inadéquation entre, d'une part, ses ressources cognitives disponibles sur le moment pour traiter les informations nécessaires à la gestion de la situation et, d'autre part, les exigences de la situation. À ce ressenti exprimé par le pilote impliqué, plusieurs éléments viennent étayer l'hypothèse d'une surcharge cognitive : 1) le profil du pilote équipier (pilote à l'instruction, expérience limitée) et son état physique et mental du moment (pression inhérente à un vol d'instruction comportant une évaluation, fatigue) ; 2) les caractéristiques de la tâche à réaliser (vitesse élevée de l'aéronef qui impose des prises de décision sous forte contrainte temporelle, phase de vol

associée à une forte charge de travail, vol en patrouille serrée, symbologie du CTH nécessitant des efforts d'interprétation) ; et 3) les contraintes environnementales (vol sans visibilité).

Pour éviter la récurrence d'un événement similaire dans le futur, plusieurs recommandations de sécurité ont été émises par le BEA-É. Dans une perspective systémique, ces recommandations concernent non seulement les pilotes et leur encadrement (e.g. systématiser l'entraînement à la « perte de visuel du *leader* dans les nuages ») mais aussi des modifications technologiques à apporter à l'aéronef. Celles-ci portent sur l'extension du domaine d'emploi de la fonction *recovery* à la configuration « train sorti » afin qu'un pilote désorienté ou en position inusuelle puisse activer cette fonction salvatrice même lorsque le train est sorti. Les recommandations portent également sur l'amélioration de l'interface humain-machine avec la poursuite des travaux de recherche et développement visant à améliorer la symbologie du CTH et rendre les informations affichées encore plus facilement interprétables par les pilotes. Depuis, ces recommandations ont été mises en place dans les nouveaux standards *Rafale* de l'Aéronautique navale et de l'Armée de l'air et de l'Espace.

La surcharge cognitive dans les événements aériens graves impliquant des aéronefs d'État

Objectifs

Les objectifs de cette étude observationnelle menée sur la période du 1^{er} janvier 2010 au 31 décembre 2020 étaient :

- d'estimer la proportion d'événements aériens graves impliquant un aéronef d'État dans lesquels la surcharge cognitive figurait parmi leurs causes ;
- de décrire les circonstances de survenue et les autres causes de ces événements.

Matériels et méthode

Recueil des données

Les données utilisées ont été recueillies dans le cadre d'un projet qui visait à développer au sein du BEA-É une base de données regroupant les causes et les circonstances de survenue des événements aériens graves survenant au sein de l'aviation étatique afin d'interroger la récurrence de certains facteurs, en particulier dans le domaine des facteurs organisationnels et humains (FOH). Sur la période de l'étude, 178 événements aériens graves ont fait l'objet d'une enquête de sécurité. Parmi eux, 22 (12,4 %) étaient concernés par une mesure visant à protéger le secret de la défense nationale et 12 (6,7 %) n'étaient pas éligibles car ils n'impliquaient pas un aéronef de la flotte étatique française (coopération internationale, aéronef civil en cours de développement). Au total, 144 événements aériens graves (62 accidents/82 incidents graves) impliquant un aéronef de l'aéronautique d'État et ayant fait l'objet d'un rapport final d'enquête de sécurité rendu public sur la période du 1^{er} janvier 2010 au 31 décembre 2020 ont été inclus.

Traitement et analyse des données

Les informations présentes dans les rapports d'enquête de sécurité (informations générales, circonstances de survenue, causes identifiées) ont été extraites pour constituer une base de données sous *Excel*. Toutes les informations présentes dans les paragraphes de synthèse intermédiaire de la section « Analyse » et toutes celles présentes dans la section « Conclusions » de chaque rapport ont été saisies dans la base de données.

L'analyse des causes retenues dans les rapports d'enquête a été réalisée en plusieurs étapes par trois investigateurs. La première étape avait pour objectif de distinguer au sein de l'ensemble des éléments saisis dans la base de données *Excel* les unités de sens (phrase ou paragraphe) constituant une cause de celles ne constituant pas une cause (e.g. causes possibles investiguées par le groupe d'enquête mais finalement non retenues et figurant comme telles dans le rapport). Cette première étape avait aussi pour objectif de supprimer les redondances, une même cause pouvant être citée à plusieurs reprises dans un rapport.

Dans une deuxième étape, les causes ont été catégorisées selon qu'elles relevaient du domaine des « facteurs techniques » (e.g. défaillance d'un dispositif technique ou matériel, problème de maintenance ou de conception), des « facteurs environnementaux » (e.g. conditions météorologiques, obstacles artificiels) ou des « facteurs organisationnels et humains » (FOH). Pour les causes relevant du domaine des FOH, la grille d'analyse et de classification des facteurs humains (*Human Factors Analysis and Classification System – HFACS*), version 7.0 (*US Air Force Safety Center*, 2015) a été utilisée (Figure 1).

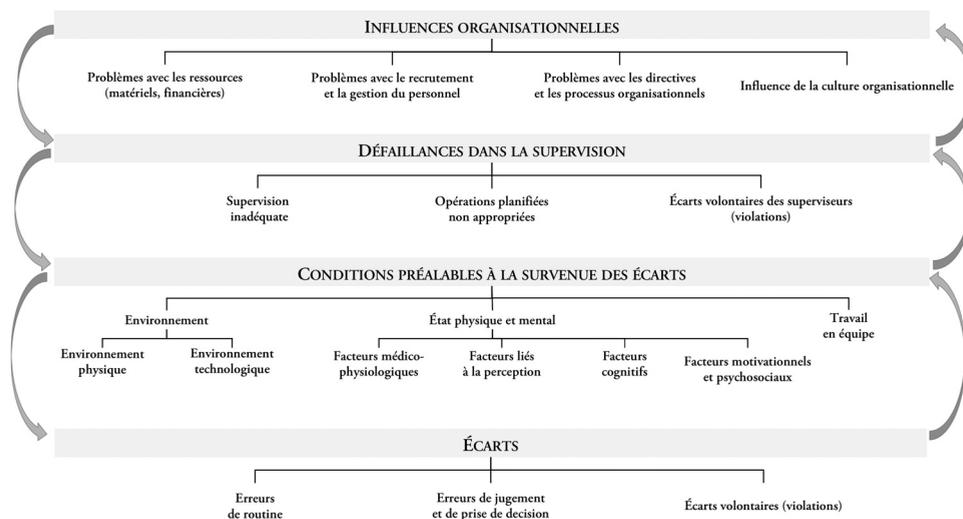


FIGURE 1 : Grille d'analyse et de classification des facteurs humains DoD-HFACS, version 7.0 (adaptée de *US Air Force Safety Center*, 2015).

Initialement développée pour l'aéronautique sur la base du modèle systémique des accidents proposé par Reason (1990), la grille *HFACS* est un outil méthodologique couramment utilisé dans le cadre des démarches d'analyse et de prévention des accidents (Ergai *et al.*, 2016). Cette grille comporte quatre niveaux d'analyse et de classification des causes relevant du domaine des FOH. Le premier concerne les **écarts** des opérateurs de première ligne (e.g. membres d'équipages, contrôleurs aériens, mécaniciens). Deux grandes catégories d'écarts sont distinguées : les écarts non intentionnels (erreurs) et ceux réalisés avec un certain degré d'intentionnalité mais sans intention de nuire (violations). Les écarts constituent des causes immédiates des événements. L'objectif de l'analyse FOH réalisée dans un but de prévention des accidents vise à comprendre leurs causes profondes. Celles-ci sont recherchées dans les niveaux suivants de la grille *HFACS*. Le deuxième niveau explore ainsi les **conditions préalables** qui, dans l'environnement de travail immédiat, ont contribué à la survenue des écarts. Les conditions préalables renvoient aux causes en lien avec l'environnement physique et technologique, l'état physique et mental de l'opérateur et le travail en équipage. Les troisième et quatrième niveaux d'analyse de la grille *HFACS* (**défaillance dans la supervision** et **influences organisationnelles**) explorent les facteurs managériaux et organisationnels qui ont pu favoriser la survenue des conditions préalables aux écarts.

Au sein de la grille *HFACS*, la surcharge cognitive est définie comme « tous les cas où la quantité d'informations qu'un individu doit traiter dépasse ses ressources mentales dans le temps dont il dispose pour traiter l'information » (*US Air Force Safety Center*, 2015). Il s'agit d'une condition préalable aux écarts.

La catégorisation des causes présentes dans les rapports d'enquête a été réalisée par deux investigateurs de façon indépendante. Le degré d'accord entre les deux investigateurs a été évalué grâce à un test d'accord inter-juges (Kappa de Cohen) qui atteignait 0,71 ce qui correspond à un « accord fort » (Landis et Koch, 1977), un degré d'accord habituellement retrouvé dans les études menées avec la grille *HFACS* (Ergai *et al.*, 2016). Pour les désaccords, une confrontation des résultats des deux investigateurs a été réalisée en présence d'un troisième investigateur et une discussion a été menée en reprenant le rapport d'enquête associé, afin d'aboutir à un consensus.

Une description des circonstances de survenue des événements (type, gravité, lieu et moment de survenue, autorité d'emploi, type de mission, type d'aéronef, phase de vol) a été réalisée. Une comparaison des circonstances de survenue des événements comportant parmi leurs causes un état de surcharge cognitive et celles des événements sans état de surcharge cognitive a été effectuée (test du khi-deux ou test exact de Fisher).

Les catégories de causes identifiées sont décrites pour l'ensemble des 144 événements aériens graves. La répartition des catégories de causes relevant du domaine des FOH a été comparée selon que les événements comprenaient ou non parmi leurs causes un état de surcharge cognitive (test du khi-deux ou test exact de Fisher).

Résultats

Surcharge cognitive dans les événements aériens graves étatiques

La surcharge cognitive est une **condition préalable aux écarts** retrouvée dans 31 des 144 événements aériens graves inclus dans l'étude, soit 21,5 %. La liste de ces 31 événements aériens graves ainsi que la nature de l'événement, le type d'aéronef et l'autorité d'emploi impliquée sont présentés dans l'annexe I.

Les 31 événements aériens graves qui comportaient parmi leurs causes un état de surcharge cognitive étaient 17 incidents graves et 14 accidents, dont 5 fatals. Un total de 34 aéronefs étaient impliqués : 28 événements impliquaient un seul aéronef et 3 événements impliquaient 2 aéronefs (une collision au sol, une collision en vol, un rapprochement dangereux en vol). Les aéronefs impliqués étaient 15 hélicoptères (3 *Gazelle*, 3 *Puma*, 2 *Fennec*, 3 *EC 145*, 2 *Cougar*, 1 *Tigre*, 1 *Dauphin*) ; 7 avions de chasse (3 *Alpha Jet*, 1 *Mirage 2000-5*, 1 *Mirage 2000 D*, 1 *Super-Étendard modernisé*, 1 *Rafale Marine*) ; 5 planeurs ; 3 avions-écoles (1 *Grob-120*, 1 *Diamond DA40*, 1 *Cirrus SR22*), 2 avions spécialisés (2 *Canadair CL415*) et 2 avions de transport (1 *Falcon 10* et 1 *Twin-Otter DHC-6*). Le vol était une mission d'entraînement (13 aéronefs), une mission d'instruction (10 aéronefs), une mission opérationnelle (7 aéronefs) et un vol de liaison (4 aéronefs). Les événements pouvaient survenir au cours de la plupart des phases de vol, mais deux phases étaient particulièrement représentées : la phase dite de « manœuvre/cœur de mission » (14 aéronefs) et l'atterrissage (12 aéronefs). Dans l'aviation étatique, la phase dite de « manœuvre/cœur de mission » est celle pendant laquelle sont réalisées les manœuvres spécifiques aux missions des unités navigantes (e.g. vol tactique, treuillage, écopage sur un plan d'eau, passes de tir, appui-feu de troupes au sol).

Les circonstances de survenue des événements aériens graves ayant parmi leurs causes la surcharge cognitive (n = 31 événements) et celles des événements aériens graves sans surcharge cognitive (n = 113 événements) sont présentées dans l'annexe II. Il n'a pas été mis en évidence de différence statistiquement significative entre les circonstances de survenue des événements aériens avec surcharge cognitive et celles des événements sans surcharge cognitive, à l'exception du port de Jumelles de vision nocturne (JVN). La proportion d'événements avec surcharge cognitive était plus élevée lorsque l'équipage portait des JVN (7/34 ; 20,6 %) que lorsqu'il n'en portait pas (4/120 ; 3,3 %) ; test exact de Fisher, $p < 0,05$).

Nombre et nature des causes des événements aériens graves

Au total, 1 851 causes ont été identifiées pour l'ensemble des 144 événements aériens graves. Le nombre moyen de causes par événement était de 12,9 (écart-type : 6,95) avec des extrêmes allant d'une à trente-cinq causes. Les causes identifiées relevaient majoritairement du domaine des facteurs organisationnels et humains (1 666 causes ; 90,0 %), puis du domaine technique (139 causes ; 7,5 %) et du domaine environnemental (46 causes ; 2,5 %).

La répartition des catégories de causes de la grille *HFACS* dans les événements aériens graves avec surcharge cognitive (n = 31) et sans surcharge cognitive (n = 113) est présentée dans l'annexe III. Il n'a pas été retrouvé de différence dans la répartition des différentes catégories de causes entre les événements avec surcharge cognitive et ceux sans surcharge cognitive.

Les facteurs organisationnels et humains associés aux événements aériens graves avec surcharge cognitive

Niveau des écarts des opérateurs de première ligne

La quasi-totalité des événements aériens avec surcharge cognitive (29/31) comportait au moins un **écart des opérateurs de première ligne**. Il s'agissait majoritairement d'erreurs (82 occurrences, 29 événements), plus rarement d'écarts volontaires (11 occurrences, 6 événements). Les erreurs de routine représentaient 50 occurrences pour 26 événements et les erreurs de jugement ou de décision représentaient 32 occurrences pour 22 événements. Les erreurs de routines identifiées étaient des actions de contrôle insuffisantes ou au contraire excessives sur les commandes, des oublis ou des défauts dans la réalisation d'une procédure ou d'une *check-list*, des défaillances dans le balayage visuel de l'environnement extérieur (e.g. ligne électrique non perçue) ou des instruments de bord (e.g. vitesse) ainsi que des actions involontaires sur les commandes de vol ou un équipement. Les erreurs de jugement et décision en cours de mission étaient principalement en lien avec une évaluation inadéquate des risques ou le choix d'un plan d'actions inadapté à la situation. Les écarts volontaires étaient quasi-exclusivement des violations de routine (e.g. réaliser un exercice non prévu dans le programme de formation, utiliser le régime de vol de secours pour un vol de mise en place) ou des solutions de contournement informelles permettant de réaliser la tâche demandée malgré des conditions défavorables (e.g. configuration incomplète de l'aéronef à l'atterrissage pour respecter les délais imposés entre plusieurs missions qui s'enchaînent).

Niveau des conditions préalables aux écarts

La quasi-totalité des événements aériens avec surcharge cognitive (30/31) comportait au moins une cause du niveau des **conditions préalables aux écarts**. Près de la moitié des causes identifiées à ce niveau étaient liées à l'état physique et mental de l'opérateur (87 occurrences, 29 événements). Il s'agissait :

- 1) de facteurs liés à l'état cognitif (31 occurrences, 29 événements), majoritairement des défaillances attentionnelles (inattention, fixation attentionnelle, distraction, interférences et interruptions de tâches), des transferts négatifs, c'est-à-dire la mobilisation par l'opérateur de procédures ou de comportements appris sur d'autres aéronefs ou en simulateur, ou encore d'attentes erronées (e.g. interprétation erronée des intentions des autres aéronefs) ;
- 2) de facteurs motivationnels et psychosociaux (43 occurrences, 18 événements), tels qu'un excès de confiance, une pression ressentie excessive (e.g. pression temporelle,

pression hiérarchique), une motivation excessive (e.g. réussir la mission compte tenu de ses enjeux, vouloir se poser sur le terrain de départ malgré des conditions défavorables), une complaisance (i.e. sentiment de satisfaction ou non critique à l'égard de soi-même ou de ses réalisations qui conduit à un faux sentiment de sécurité) ou encore un état de stress ;

- 3) de défaillances liées à la perception (12 occurrences, 8 événements) telles que des illusions sensorielles d'origine vestibulaire ou visuelle, une absence de perception ou une perception erronée des changements survenus dans l'environnement (e.g. conditions météorologiques) ou dans les informations affichées sur les instruments de bord ;
- 4) de facteurs physiques et physiologiques (10 occurrences, 10 événements) tels qu'un état de fatigue de l'opérateur (8 occurrences) ou une tâche demandée qui dépassait les capacités physiques (force) de l'opérateur (2 occurrences).

Près d'un tiers des **conditions préalables aux écarts** était en lien avec un problème d'efficacité du travail en équipage et de mobilisation des ressources au sein du cockpit (63 occurrences, 26 événements). Il s'agissait majoritairement de défaillances de *leadership* (exercice de l'autorité, coordination et répartition des tâches), de problèmes de communication non efficace entre les membres d'équipage ou entre l'équipage et d'autres acteurs (e.g. contrôleur aérien) et de problèmes de planification et de *briefing* (e.g. absence de *briefing*, *briefing* centré sur les aspects opérationnels de la mission et non sur la sécurité aérienne).

Enfin, environ un quart des **conditions préalables aux écarts** relevait de l'influence de facteurs environnementaux sur l'opérateur (49 occurrences, 21 événements). Il s'agissait de facteurs liés à l'environnement technologique (27 occurrences, 16 événements) et de facteurs liés à l'environnement physique (22 occurrences, 18 événements). Les facteurs liés à l'environnement technologique étaient principalement des problèmes d'ergonomie physique du poste de pilotage (e.g. position de certaines commandes, ambiance lumineuse) ou de certains équipements (e.g. harnais pour le treuillage), des dysfonctionnements (e.g. anémomètre affichant une vitesse erronée, pannes intermittentes des moyens de radiocommunications), des problèmes liés à la présentation de l'information sur l'interface humain-machine, des problèmes avec les moyens de radiocommunications trop nombreux ou défaillants, des alarmes sonores ou visuelles absentes ou inefficaces, des dispositifs de sécurité absents (e.g. système de détection du risque d'abordage) ou une absence de signalisation et de balisage des obstacles (e.g. lignes électriques). Les facteurs liés à l'environnement physique étaient essentiellement des conditions environnementales qui affectaient la vision (e.g. conditions météorologiques, défavorables, nuit, incendie, sable). Plus rarement, il s'agissait des effets de l'ambiance thermique (chaleur).

Niveau des défaillances dans la supervision

La majorité des événements aériens avec surcharge cognitive (26/31) comportait au moins une cause relevant du niveau des **défaillances dans la supervision**. Les deux

catégories de défaillances qui étaient les plus fréquemment retrouvées étaient une « supervision inadéquate » (35 occurrences, 22 événements) et une « opération planifiée inadéquate » (36 occurrences, 18 événements). Concernant la « supervision inadéquate », le plus fréquemment, il s'agissait de problèmes de formation ou d'entraînement des équipages dans l'unité opérationnelle ou sur les théâtres d'opérations (e.g. déficit quantitatif ou qualitatif, entraînements irréguliers) et de problèmes avec les procédures qui sont habituellement mises en place en aéronautique pour guider les équipages dans la réalisation de leurs tâches dans un environnement technologique et opérationnel complexe (e.g. procédures absentes, incomplètes ou inadéquates). Concernant les facteurs liés aux « opérations planifiées inadéquates », il s'agissait principalement :

- I) du choix de membres d'équipage ayant une expérience aéronautique insuffisante au regard des exigences de la mission, qu'il s'agisse de leur expérience aéronautique totale (i.e. nombre total d'heures de vol accumulées par les membres d'équipage depuis le début de leur carrière) ou de leur expérience aéronautique récente (i.e. activité aérienne des derniers mois et dernières semaines) ;
- II) de la sous-évaluation des risques associés à la mission lors de la phase d'évaluation formelle des risques par la supervision.

Niveau des influences organisationnelles

La majorité des événements aériens avec surcharge cognitive (26/31) comportait au moins une cause relevant du niveau des **influences organisationnelles**. La catégorie de causes la plus fréquemment retrouvée à ce niveau était celle des « problèmes avec les directives, les procédures et les processus organisationnels » (43 occurrences, 23 événements). Il s'agissait majoritairement de procédures organisationnelles manquantes, incomplètes ou inadéquates, d'un rythme d'activité excessif au sein de l'organisation et de l'achat ou de la fourniture aux équipages d'équipements ayant des défauts de conception ou non adaptés pour la mission. La deuxième catégorie de causes la plus fréquente à ce niveau était « l'influence de la culture organisationnelle » (14 occurrences, 13 événements). Il s'agissait principalement d'une culture organisationnelle qui favorisait la réalisation de tâches ou de missions au-delà des limites acceptables de sécurité. Enfin, un problème de ressources humaines insuffisantes ou de sélection était également identifié de façon récurrente (7 occurrences, 6 événements).

Discussion

Les résultats de cette étude observationnelle montrent qu'au sein de la flotte des aéronefs des forces armées et de sécurité intérieure française, la surcharge cognitive est une cause récurrente des événements aériens graves. Sur la période 2010-2020, plus d'un événement aérien grave sur cinq (21,5 %) comportait parmi ses causes un état de surcharge cognitive. Cette proportion est semblable à celles rapportées dans des études plus anciennes menées au sein de l'*US Navy* (O'Connor *et al.*, 2010) et de l'*US Air Force* (Gibb *et al.*, 2006) qui retrouvaient une proportion d'accidents avec surcharge cognitive comprise entre 15 % et 23 %.

Notre étude a montré que la surcharge cognitive pouvait survenir dans de nombreuses situations. Des événements aériens graves avec surcharge cognitive étaient ainsi observés quel que soit le type d'aéronefs (avions, hélicoptères, planeurs), la génération d'aéronefs, la nature des missions (instruction, entraînement, opération), le lieu de survenue et le moment du jour. Des événements aériens étatiques graves avec surcharge cognitive étaient également observés durant la plupart des phases de vol. Toutefois deux d'entre elles étaient plus fréquemment concernées, la phase de « manœuvre/cœur de mission » et l'atterrissage, ce qui diffère de l'aviation civile où les phases de vols les plus accidentogènes et associées à une charge cognitive élevée sont préférentiellement celles qui entourent le décollage et l'atterrissage (Pamplona et Alves, 2020). Plusieurs facteurs peuvent être avancés pour expliquer cette surreprésentation de ces deux phases de vol et les différences avec l'aviation civile. Pour la phase de « manœuvre/cœur de mission », les contraintes opérationnelles et les enjeux des missions amènent souvent les aéronefs aux limites technologiques et les équipages à leurs limites physiques et mentales. Pour la phase d'atterrissage, celle-ci pouvait être réalisée dans des conditions nominales mais aussi dans des conditions dégradées auxquelles les équipages s'exposaient volontairement (e.g. cas de l'instruction ou de l'entraînement aux procédures d'urgence) ou de façon non souhaitée et imprévue (e.g. gestion d'une panne ou d'un dysfonctionnement technique). Durant la phase d'atterrissage, s'ajoutent les effets délétères d'un possible état de fatigue induit par la charge de travail associée aux tâches réalisées lors des phases de vol précédentes. Ces résultats confirment les spécificités des missions aériennes des équipages des forces armées et de sécurité intérieure par rapport à l'aviation civile, tant en termes d'exposition aux risques que de phases de vols les plus accidentogènes.

La réalisation de vols de nuit sous jumelles de vision nocturne (JVN) est l'une des spécificités des missions aériennes des forces armées et de sécurité intérieure. La proportion d'événements aériens graves avec surcharge cognitive semblait plus importante lorsque l'équipage réalisait sa mission sous JVN. Si ce résultat est à prendre avec précaution, compte tenu du faible nombre d'événements aériens graves survenus sous JVN (11 événements), il souligne néanmoins l'importance de prendre en compte les nombreuses contraintes physiques, perceptives et cognitives associées au port de JVN lors de la préparation et de la réalisation des missions (Parush *et al.*, 2011).

Le lien entre la surcharge cognitive et les accidents est indirect. La surcharge cognitive contribue à la genèse des accidents au travers des défaillances des processus cognitifs qu'elle entraîne. Du fait de ressources insuffisantes, l'opérateur perd le contrôle de la situation, c'est-à-dire qu'il ne parvient plus à détecter et récupérer les défaillances produites avant la survenue de leurs conséquences délétères sur la sécurité (Amalberti, 2013). Dans notre étude, la surcharge cognitive était associée indifféremment à tous les types d'écarts, majoritairement des erreurs de routine (e.g. oubli d'items d'une procédure ou d'une *check-list*, défaillance dans le balayage visuel, contrôle inadéquat de l'action, etc.) et des erreurs de jugement et de décision (plan d'actions inadéquat, sous-évaluation des risques en vol).

Les déterminants de la charge cognitive sont de multiples facteurs qui interagissent entre eux et peuvent être regroupés en trois catégories : ceux liés à l'individu, ceux liés à la tâche à réaliser et ceux liés au contexte dans lequel cette tâche est réalisée (Young *et al.*, 2015). Les différents facteurs favorisant la surcharge cognitive qui ont été identifiés parmi les événements aériens graves étatiques survenus sur la période 2010-2020 illustrent cette origine multifactorielle. La surcharge cognitive apparaissait comme le résultat de la combinaison de facteurs individuels (e.g. expérience aéronautique totale ou récente insuffisante, pression, excès de confiance, motivation excessive, défaillances perceptives, focalisation attentionnelle, fatigue, stress), de facteurs collectifs (e.g. défaillances dans la préparation de mission et le travail en équipage), de facteurs technologiques (e.g. survenue d'une panne ou d'une défaillance technique, défaut dans l'ergonomie du poste de pilotage, équipements inadaptés à la mission, capacité perfectible de l'interface humain-machine à présenter des informations facilement interprétables), de facteurs liés à l'environnement physique (e.g. environnements visuels dégradés, ambiance thermique contraignante) et de facteurs liés à l'organisation et à la supervision du travail (e.g. désignation d'équipages ayant une expérience aéronautique totale ou récente insuffisante pour réaliser la mission ; problèmes de formation et d'entraînements impactant le niveau d'expertise des équipages ; problèmes de disponibilité des aéronefs ; problèmes de procédures absentes, incomplètes ou inadaptées ; défaillance dans l'analyse formelle des risques ; rythme élevé des missions aériennes ; problème de ressources humaines ; culture organisationnelle favorisant la réalisation des tâches au-delà des limites acceptables de sécurité).

Notre étude comporte plusieurs limites. La première est qu'il s'agit d'une étude observationnelle. Elle ne permet donc pas de conclure quant à d'éventuelles relations de causalité entre telle ou telle circonstance ou cause de survenue des événements aériens et la surcharge cognitive. La seconde est que notre travail repose sur l'exploitation de données des rapports d'enquête de sécurité. Notre travail a consisté à catégoriser les circonstances et les causes de survenue identifiées dans ces rapports. Nos résultats sont donc dépendants des modèles d'analyse des accidents utilisés par les enquêteurs (Lundberg *et al.*, 2009).

Pour conclure, avec plus d'un événement aérien grave sur cinq (21,5 %) comportant parmi ses causes une surcharge cognitive sur la période 2010-2020, notre étude observationnelle confirme l'enjeu majeur que représente la prévention de cet état cognitif altéré pour la sécurité et la performance des missions au sein de l'aéronautique d'État. La surcharge cognitive constitue un danger pour la sécurité aérienne car elle entraîne une perte de contrôle de la situation se manifestant par la survenue d'erreurs que les opérateurs ne sont plus capables de détecter et récupérer dans le temps imparti par manque de ressources cognitives. Si la surcharge cognitive correspond à un état cognitif altéré de l'opérateur, sa prévention passe par la prise en compte de ses multiples déterminants, tels que :

- I) les caractéristiques de l'opérateur (e.g. familiarité avec la tâche à réaliser, état physique et mental du moment) ;
- II) la qualité du travail en équipage ;

- III) l'exigence de la tâche à réaliser (e.g. difficulté, complexité) ;
- IV) les caractéristiques des dispositifs technologiques utilisés (e.g. qualité de l'interface humain-machine) ;
- V) les caractéristiques de l'environnement organisationnel (e.g. politique de formation et d'entraînement des équipages, politique et directives de sécurité aérienne) et, plus globalement :
- VI) le contexte dans lequel les tâches sont réalisées (e.g. contraintes de l'environnement physique, enjeux des missions).

Pour une prévention efficace, il est donc essentiel, pour l'ensemble des acteurs impliqués dans la sécurité aérienne et, en particulier, les équipages, les responsables des unités navigantes, les autorités d'emploi et les constructeurs d'aéronefs de prendre en compte l'origine multifactorielle de la surcharge cognitive dès la conception des aéronefs et des missions aériennes puis dans la planification, la préparation et l'exécution des missions au quotidien. Cette prise en compte semble d'autant plus essentielle dans un contexte actuel caractérisé par des avancées technologiques sollicitant toujours plus la cognition humaine, par un spectre toujours plus élargi de missions aériennes confiées aux équipages, par des contraintes sur la formation et l'entraînement, par l'intégration croissante des missions aériennes dans des opérations multi-milieus et multi-champs et par la préparation à la haute-intensité.

Surcharge cognitive et accidentologie :
retour d'expérience des enquêtes de sécurité aérienne

Éléments de bibliographie

- AMALBERTI René, *Piloteur la sécurité : Théories et pratiques sur les compromis et les arbitrages nécessaires*, Springer Science et Business Media, 2013, 144 pages.
- CHANQUOY Lucile, TRICOT André et SWELLER John, « Qu'est-ce que la charge cognitive ? », *La charge cognitive – Théorie et applications*, Armand Colin, 2007, p. 11-32.
- ERGAÏ A., COHEN T. N., SHARP J. L., WIEGMANN D. A., GRAMOPADHYE A. K. et SHAPPELL S. A., « Assessment of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS): Intra-rater and inter-rater reliability », *Safety Science*, 82, 2016, p. 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.028>.
- GIBB Randall W. et OLSON Wess, *Classification of Air Force Aviation Accidents: Mishap trends and Prevention*. (Rapport n° CI04-1814), United States Air Force Academy, 2006 (<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA450205>).
- HART Sandra G. et STAVELAND Lowell E., « Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research », *Advances in Psychology*, 1988, p. 139-183. <https://doi.org/>.
- LANDIS J. Richard et KOCH Gary G., « The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data », *Biometrics*, 33(1), 1977, p. 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>.
- LUNDBERG Jonas, ROLLENHAGEN Carl et HOLLNAGEL Erik, « What-You-Look-For-Is-What-You-Find—The Consequences of Underlying Accident Models in Eight Accident Investigation Manuals », *Safety Science*, 47(10), 2009, p. 1297-1311. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.004>.
- MARTIN Caroline, HOURLIER Sylvain et CEGARRA Julien, « La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique », *Le Travail Humain*, 76(4), 2013, p. 285-308. <https://doi.org/>.
- MORAY Neville (dir.), *Mental Workload: Its Theory and Measurement*, Plenum, 1979.
- O'CONNOR Paul, COWAN Shawn et ALTON Jeffrey, « A Comparison of Leading and Lagging Indicators of Safety in Naval Aviation », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 81(7), 2010, p. 677-682. <https://doi.org/>.
- PAMPLONA Daniel Alberto et ALVES Claudio Jorge Pinto, « Does a Fighter Pilot Live in the Danger Zone? A Risk Assessment Applied to Military Aviation », *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5, 2020, p. 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100114>.
- PARUSH Avi, GAUTHIER Michelle S., ARSENEAU Lise et TANG Denis, « The human factors of night vision goggles: perceptual, cognitive, and physical factors », 2011, *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 7(1), p. 238-279. <http://dx.doi.org/10.1177/1557234X11410392>.
- PONTIGGIA Anaïs, GOMEZ-MERINO Danièle, QUIQUEMPOIX Michael, BEAUCHAMPS Vincent, BOFFET Alexis, FABRIES Pierre, CHENNAOUI Mounir et SAUVET Fabien, « MATB for Assessing Different Mental Workload Levels », *Frontiers in Physiology*, 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1408242>.
- REID Gary B. et NYGREN Thomas E., « The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload », *Advances in Psychology*, 52, 1988, p. 185-218. <https://doi.org/>.
- REMIGEREAU Alexis, DARSEZ Françoise, DOZIAS Baptiste et ALBENTOSA Julie, « Design and Validation of a Simulated Multitasking Environment for Assessing the Cognitive Load on the Infantry Squad Leader », *Frontiers in Psychology*, 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1433822>.
- US NAVAL SAFETY CENTER, *Department of Defense Human Factors Analysis and Classification system (DoD HFACS)* (Version 7.0). www.safety.af.mil/.
- YOUNG Mark S., BROOKHUIS Karel A., WICKENS Christopher D. et HANCOCK Peter A., « State of Science: Mental Workload in Ergonomics », *Ergonomics*, 58(1), 2015, p. 1-17. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.956151>.

ANNEXE I - Liste des 31 événements aériens graves ayant la surcharge cognitive parmi leurs causes

Identifiant	Nature de l'événement (type d'aéronef et autorité d'emploi)
T-2010-010-I	Atterrissage dur en campagne à la suite d'un dysfonctionnement moteur (hélicoptère, Alat)
M-2011-001-I	Affaissement du train d'atterrissage à l'appontage (avion de chasse, Alavia)
T-2011-013-A	Collision avec le sol lors d'un vol tactique de nuit (hélicoptère, Alat)
A-2012-004-I	Poser train non sorti (avion école, AA)
A-2012-020-A	Perte de contrôle temporaire lors d'un exercice de treuillage (hélicoptère, AA)
S-2013-013-I	Endommagement lors d'un écopage (avions à mission spécifique, DGSCGC)
A-2013-014-I	Perte de contrôle et sortie de piste au décollage (avion de chasse, AA)
M-2015-005-I	Quasi-collision avec le sol lors d'un vol d'instruction (aviation de chasse, Alavia)
A-2015-006-A	Perte de contrôle au décollage (avion école, AA)
S-2015-010-I	Heurt d'une ligne électrique lors d'une mission de secours sous JVN (hélicoptère, DGSCGC)
T-2015-013-I	Heurt d'une ligne électrique lors d'un entraînement au vol tactique de jour (hélicoptère Alat)
M-2016-003-I	Rupture du train d'atterrissage à l'appontage (avion de chasse, Alavia)
T-2016-004-A	Collision avec le sol lors d'un vol d'entraînement sous JVN (hélicoptère, Alat)
A-2016-011-I	Départ involontaire en lacet suivi d'un poser dur lors d'un vol d'entraînement (hélicoptère, AA)
A-2016-012-I	Atterrissage dur lors d'un poser en campagne (planeur, AA)
T-2017-002-I	Poser dur lors d'un entraînement à l'appontage de nuit avec panne moteur (hélicoptère, Alat)
M-2017-005-I	Heurt de la piste par l'aile gauche en courte finale (avion de transport, ALAVIA)
A-2017-006-A	Poser dur lors d'un atterrissage en campagne (planeur, AA)
T-2017-007-A	Perte de contrôle lors d'un exercice de panne moteur (hélicoptère, ALAT)
S-2017-12-I	Perte de contrôle à l'atterrissage lors d'un entraînement (avion à mission spécifique, DGSCGC)
A-2018-07-A	Perte de puissance en vol suite à une erreur de carburant (avion école, AA)
A-2018-14-A	Perte de contrôle en vol lors d'un vol d'instruction et poser dur de l'aéronef (hélicoptère, AA)
A-2019-01-A	Collision avec le sol lors d'une mission d'entraînement (avion de chasse, AA)
T-2019-06-I	Panne moteur en courte finale avec poser dur lors de l'atterrissage en campagne (avion de transport, ALAT)
A-2019-08-A	Atterrissage dur d'un planeur (avion de chasse, AA)
S-2019-13-A	Chute d'un secouriste lors d'un treuillage en mission de secours (hélicoptère, DGSCGC)
T-2019-15-A	Collision en vol de deux hélicoptères lors d'une action de combat au Sahel (ALAT)
S-2019-16-A	Collision avec le relief d'un hélicoptère lors d'un vol de liaison (hélicoptère, DGSCGC)
A-2020-01-A	Atterrissage d'urgence suite à un blocage des aérofreins (avion école, AA)
Y-2020-12-I	Quasi-collision en vol entre un hélicoptère (Alavia) et un avion de chasse (AA)
A-2020-13-I	Collision au sol sur la piste d'atterrissage de 2 planeurs (AA)

Notes. Alat : Aviation légère de l'armée de Terre ; AA : Armée de l'Air ; Alavia : Aéronautique navale ; DGSCGC : Direction générale de la sécurité civile et de la gestion de crise.

**ANNEXE II - Caractéristiques des événements aériens graves avec surcharge cognitive (n = 31)
et sans surcharge cognitive (n = 113)**

Caractéristiques	Surcharge cognitive		Total n (%)*
	Non n (%)*	Oui n (%)*	
Type d'événement	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (100)
Accidents	48 (42,5)	14 (45,2)	62 (43,1)
Incidents graves	65 (57,5)	17 (54,8)	82 (56,9)
Événement fatal	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (100)
Oui	9 (8,0)	5 (16,1)	14 (9,7)
Non	104 (92,0)	26 (83,9)	130 (90,3)
Lieu de survenue de l'événement	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (100)
France (Hexagone)	92 (78,6)	25 (21,4)	117 (100)
France (Outre-mer)	7 (100)	0 (0)	7 (100)
Étranger	14 (70,0)	6 (30,0)	20 (100)
Moment de survenue de l'événement	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (21,5)
Journée	104 (81,3)	24 (18,7)	128 (100)
Nuit	9 (56,6)	7 (43,8)	16 (100)
Conditions météorologiques	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (100)
Conditions de vol à vue	109 (79,6)	28 (20,4)	137 (100)
Conditions de vol aux instruments	4 (57,1)	3 (42,9)	7 (100)
Autorité d'emploi de l'aéronef**	120 (77,9)	34 (22,1)	154 (100)
Armée de l'Air	57 (79,2)	15 (20,8)	72 (100)
Aviation légère de l'armée de Terre	20 (70,0)	9 (30,0)	29 (100)
Aéronautique navale	12 (70,6)	5 (29,4)	17 (100)
Sécurité civile	11 (68,7)	5(31,3)	16 (100)
Gendarmerie nationale	5 (100)	0 (0)	5 (100)
DGA-Essais en vol	4 (100)	0 (0)	4 (100)
Douanes et droits indirects	4 (100)	0 (0)	4 (100)
Autres (armées étrangères, civil)	3(100)	0 (0)	3 (100)
Type d'aéronef**	120 (77,9)	34 (22,1)	154 (100)
Avion	71(83,5)	14 (16,5)	85 (100)
Hélicoptère	40 (72,7)	15 (27,3)	55 (100)
Planeur	7 (58,3)	5 (41,7)	12 (100)
Drone	2 (100)	0 (0)	2 (100)
Mission de l'aéronef**	120 (77,9)	34 (22,1)	154 (100)
Entraînement	49 (79,0)	13 (21,0)	62 (100)
Instruction	33 (76,7)	10 (23,3)	43 (100)
Opérationnelle	25 (78,1)	7 (21,9)	32 (100)
Liaison	6 (60,0)	4 (40,0)	10 (100)
Technique/Contrôle	4 (100)	0 (0)	4 (100)
Loisir	3 (100)	0 (0)	3 (100)
Phase de vol de l'aéronef**	120 (77,9)	34 (22,1)	154 (100)
Manœuvre » / Cœur de mission	43 (75,4)	14 (24,6)	57 (100)
Atterrissage	23 (65,7)	12 (34,3)	35 (100)
Décollage	19 (90,5)	2 (9,5)	21 (100)
Croisière	17 (85,0)	3 (15,0)	20 (100)
Approche	7 (70,0)	3 (30,0)	10 (100)
Roulage au sol	5 (100)	0 (0)	5 (100)
Montée	4 (100)	0 (0)	4 (100)
Standing	2 (100)	0 (0)	2 (100)
Vol sous JVN **	120 (77,9)	34 (22,1)	154 (100)
Non	116 (81,1)	27 (18,9)	143 (100)
Oui	4 (36,4)	7 (63,6)	11 (100)

Notes. *n (%) : nombre (pourcentage) ; ** Caractéristique nécessitant d'être exprimée en nombre d'aéronefs ou équipages impliqués (n = 154) et non en nombre d'événements (n = 144) afin de prendre en compte les événements impliquant 2 aéronefs ; DGA : Direction générale de l'Armement ; JVN : Jumelles de vision nocturne.

ANNEXE III - Répartition des catégories de causes de la grille HFACS des événements aériens graves avec surcharge cognitive (n= 31) et sans surcharge cognitive (n = 113)

Catégories de causes de la grille HFACS	Événements avec surcharge cognitive		Total
	Non n (%)*	Oui n (%)*	n (%)*
Écarts des opérateurs	105 (78,4)	29 (21,6)	134 (100)
Erreurs (écarts involontaires)	104 (78,2)	29 (21,8)	133 (100)
<i>Erreurs de routine</i>	88 (77,2)	26 (22,8)	114 (100)
<i>Erreurs de jugement et de prise de décision</i>	70 (76,1)	22 (23,9)	92 (100)
Écarts volontaires (« violations »)	34 (85,0)	6 (15,0)	40 (100)
Conditions préalables aux écarts	96 (76,2)	30 (23,8)	126 (100)
Environnement	54 (72,0)	21 (28,0)	75 (100)
<i>Environnement physique</i>	31 (63,3)	18 (36,7)	49 (100)
<i>Environnement technologique</i>	37(69,8)	16 (30,2)	53 (100)
État physique et mental	88 (75,2)	29 (24,8)	117 (100)
<i>Facteurs médico-physiologiques</i>	19 (65,5)	10 (34,5)	29 (100)
<i>Perception sensorielle erronée</i>	30 (78,9)	8 (21,1)	38 (100)
<i>Facteurs liés à l'état cognitif**</i>	61(67,8)	29 (32,2)	90 (100)
<i>Facteurs motivationnels et psychosociaux</i>	69 (79,3)	18 (20,7)	87 (100)
Travail en équipe	55 (67,9)	26 (32,1)	81 (100)
Défaillances dans la supervision	78 (75,0)	26 (25,0)	104 (100)
Supervision inadéquate	67 (75,3)	22 (24,7)	89 (100)
Opération planifiée non appropriée	49 (73,1)	18 (26,9)	67 (100)
Écarts volontaires des superviseurs (violations)	7 (70,0)	3 (30,0)	10 (100)
Influences organisationnelles	75 (74,3)	26 (25,7)	101 (100)
Problèmes de ressources	25 (89,3)	3 (10,7)	28 (100)
Sélection et recrutement du personnel	7 (53,8)	6 (46,2)	13 (100)
Directives et les process organisationnels	67 (74,4)	23 (25,6)	90 (100)
Influence de la culture organisationnelle	27 (67,5)	13 (32,5)	40 (100)
Total (événements)	113 (78,5)	31 (21,5)	144 (100)

Note. *n (%) : nombre d'occurrences (pourcentage) ; ** La surcharge cognitive appartient à la catégorie des facteurs liés à l'état cognitif ; elle donc a été exclue du comptage de cette catégorie.

Monitoring et gestion des *data* multichamps du footballeur de haut niveau

Christopher CARLING

Centre de recherche, Centre national de football Clairefontaine, Fédération française de football (FFF). Laboratoire Sport, Expertise et Performance (EA7370), Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep), Paris.

Introduction

Dans le football de haut niveau, plusieurs stratégies sont utilisées par les staffs techniques et médicaux pour suivre et évaluer la fatigue et l'état de forme de leurs joueurs au cours de la saison. Ces stratégies comprennent de multiples analyses de données subjectives et objectives, pendant et après les matchs ou les entraînements comme analysé en Figure 1 (Thorpe, *et al.*, 2017).

D'abord, les staffs analysent les demandes physiques (la charge externe [volume et intensité des courses] et/ou la charge interne [ex. fréquence cardiaque]) en compétition. Ensuite, pendant le microcycle de l'entraînement (1 semaine), ils dosent les charges physiques et/ou physiologiques du joueur et monitorent sa fatigue et l'état de sa forme. Ils utilisent également ces informations pour proposer des protocoles afin d'accélérer le temps nécessaire pour récupérer pleinement et pour évaluer et s'assurer que le joueur est apte à jouer. Parmi ceux-ci, on trouve des stratégies nutritionnelles (protéines, glucides, hydratation), le sommeil ou encore l'immersion en bain froid ou en bain contrasté (Field, *et al.*, 2021). Dans ce chapitre, l'attention est surtout portée sur le suivi de la fatigue et de l'état de forme du joueur de football à la suite de la compétition.

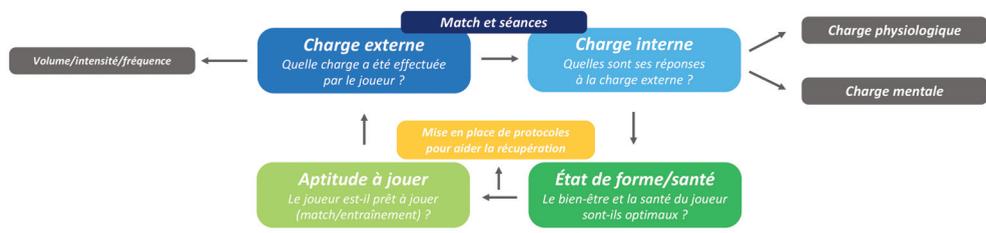


FIGURE 1 : Schéma du processus du suivi du joueur

Avant tout, il est important de passer rapidement en revue ce qui est attendu de la participation à un match de football en termes d'exigences et de réponses physiques, mentales, techniques et tactiques, ainsi que la fatigue et la récupération qui en découlent.

Demandes physiques et physiologiques

La participation à un match de football entraîne la réalisation de sprints, d'accélération, de décélération, de changements de direction à haute vitesse, de sauts et de réceptions, de tirs dans la balle ainsi que de contacts/duels avec les adversaires (la charge externe). Pendant les matchs, les joueurs professionnels parcourent en moyenne 10 à 11 km sur 90 minutes (Bradley, *et al.*, 2013), allant même jusqu'à 13 ou 14 km. Les actions à haute intensité comme les courses rapides (>19 km/h), les sprints (>25 km/h), les accélérations, les décélération et les changements de direction représentent environ 8-10 % de cette distance totale même si les performances sont très dépendantes du poste de jeu – attaquant, milieu ou défenseur (Carling, 2013). Au plus haut niveau, les joueurs effectuent entre 150-250 de ces actions intenses par match. En ce qui concerne la charge interne, nous observons une fréquence cardiaque maintenue à 80-90 % de la valeur maximale du joueur et des valeurs élevées pour leur perception subjective du niveau de l'effort – *Rating of Perceived Exertion* quantifié par l'échelle de Borg (Fessi et Moalla, 2018 ; Dellal, *et al.*, 2022). Au cours d'un match de 90 minutes (voire plus avec le temps additionnel et/ou les prolongations), cette répétition d'efforts physiques peut résulter en une diminution des performances que l'on appelle « fatigue ».

Demandes mentales et cognitives

Le joueur a besoin de rester vigilant pendant de longues périodes avant (débriefs, séance vidéo, etc.) et pendant les matchs. Dans le jeu, il doit effectuer un nombre considérable d'actions avec et sans ballon, tant sur les plans offensif que défensif tout en respectant les stratégies tactiques et le système du jeu mis en place par le staff technique. Le football exige que le joueur visualise et traite constamment des informations dans un environnement très dynamique et incertain, et qu'il prenne des décisions rapides et précises. Des analyses sur le très haut niveau en football montrent une fréquence de « scan » (ou prise d'information) allant parfois jusqu'à environ 50 fois dans une minute (Gordet, *et al.*, 2020). Toutes ces activités font appel à des processus perceptifs, cognitifs et moteurs. De plus, le joueur doit faire face aux facteurs de stress mental externes résultant des attentes sur lui-même et des entraîneurs, des supporters, des sponsors, des médias, de la famille et des amis. Ces demandes perceptivo-cognitives et émotionnelles contribuent à la fatigue ressentie par le joueur (Perrey, 2022).

La fatigue

Celle-ci est souvent définie comme une diminution de la performance musculaire associée à l'activité du muscle (Allen, *et al.*, 2008). Les charges associées à l'effort conduisent à une fatigue aiguë et résiduelle. Elle apparaît de manière transitoire

pendant le match, par exemple lors d'une période comportant de nombreuses actions à haute intensité et également de manière cumulée, comme dans les heures et jours qui suivent la compétition. Durant le match, bien que les actions à haute intensité représentent un assez faible pourcentage de la distance totale parcourue (~10 %), elles ont fortement la capacité d'induire de la fatigue (Nedelec, *et al.*, 2014). Sur le plan physiologique, nous constatons une forte acidification musculaire transitoire (pendant la répétition de sprints) et à la fin du match, un épuisement du glycogène musculaire : de - 40 à - 90 % par rapport au niveau en début de match (Bangsbo, *et al.*, 2007). En ce qui concerne la performance physique et neuromusculaire, nous constatons que les joueurs parcourent souvent moins de distance en 2nde mi-temps et en fin de match (Bradley, *et al.*, 2019) et que la performance anaérobie (capacité à effectuer des sprints, des sauts...) est fortement impactée à la fin du match (Carling, *et al.*, 2018). Une étude récente a également montré que la microstructure des fibres musculaires au niveau des ischio-jambiers est fortement touchée *post-match* (Camona, *et al.*, 2024).

Il est important d'avoir en tête que le processus de fatigue est très complexe tout comme son origine est multifactorielle et ne vient pas uniquement de stimulants physiques ou physiologiques mais aussi psychologiques. On note une sensation subjective de fatigue mentale, une baisse de motivation et un manque d'énergie à la fin d'un match de football (Smith, *et al.*, 2018). Des mesures objectives ont rapporté un temps de réponse plus lent et moins précis, une baisse de la vigilance psychomotrice (Smith, *et al.*, 2018) et une modification du signal EEG (Électroencéphalogramme, García-Calvo et Díaz-García, 2022). Il existe aussi un impact négatif sur les processus de perception (recherche visuelle), de traitement de l'information et d'anticipation (Casanova, *et al.*, 2013). En lien avec les événements du jeu, les joueurs peuvent effectuer moins d'actions techniques et montrent une baisse de la réussite (passes réussies, tirs cadrés) en 2nde mi-temps (Rampinini, *et al.*, 2008) et nous constatons davantage de buts marqués en fin de match. Ces dernières années ont vu l'essor des systèmes de détection de position (*GPS*, Systèmes optiques, Laser...) pour fournir des données de suivi spatiotemporel sur des joueurs et leurs performances tactiques sur le terrain. En effet, sur le plan du comportement tactique, on constate que la synchronisation collective est impactée et notamment le positionnement des joueurs (Coutinho, *et al.*, 2017, 2018) et les distances entre eux (Caetano, *et al.*, 2019) ainsi que l'équilibre défensif (Kunrath, *et al.*, 2018). Ces résultats sur la synchronisation collective peuvent être attribués à une stratégie collective pour surmonter les effets négatifs de la fatigue physique sur l'intensité du mouvement et du déplacement de l'équipe.

Alors que la fatigue mentale semble être un important contributeur à la fatigue, elle a pourtant reçu relativement peu d'attention dans la recherche scientifique sur le football de haut niveau. Il existe notamment un manque de tests valides et écologiques, et de preuves scientifiques solides sur son effet précis chez le joueur de haut niveau. Néanmoins, il a été montré qu'en mettant délibérément des footballeurs en état de fatigue mentale, toutes les composantes de la performance peuvent être impactées (Thomas, *et al.*, 2019) bien que parfois les preuves soient contradictoires (Dambroz, *et al.*, 2022). On a cependant constaté que la perception de l'effort du joueur augmente (Angius, *et al.*, 2022 ; Martin, *et al.*, 2018) et que sa performance lors

d'évaluations physiques baisse (Smith, *et al.*, 2018 ; Staiano, *et al.*, 2023). De plus, sa capacité à accomplir des tâches motrices du football telles que des tirs et passes est affectée (Badin, *et al.*, 2016 ; Sun, *et al.*, 2022) ainsi que sa vitesse de précision, son niveau d'attention et de vigilance psychomotrice (Smith, *et al.*, 2016 ; Gantois, *et al.* ; 2020, Trecroci, *et al.*, 2020 ; Angius, *et al.*, 2022 ; Sousa-Fortes, *et al.*, 2023) et sa capacité à se synchroniser tactiquement avec son équipe est diminuée (Coutinho, *et al.*, 2018).

Temps nécessaire pour récupérer à la suite d'un match

La vitesse de récupération des joueurs est très individuelle et les états perceptuels, physiologiques et physiques montrent des temps de récupération hétérogènes. De même, le temps optimal pour récupérer de la fatigue induite par un match de football dépend fortement de ce que le joueur a réalisé pendant le match précédent (notamment la performance physique ou la fréquence d'accélération, de décélération et de courses à haute intensité), le type de fatigue présente et la récupération nécessaire : c'est-à-dire physique, neuromusculaire, biochimique ou mentale. De plus, il y a une grande variabilité des demandes entre les matchs (associées à des facteurs contextuels tels que le niveau d'opposition et de compétition et le résultat) exigeant des charges externe et interne parfois plus ou moins importantes (Aquino, *et al.*, 2022). En général, les données issues de la recherche scientifique suggèrent qu'une période de 3 jours (72 h) est la durée minimale de récupération entre deux matchs (la période optimale étant de 5 à 7 jours). Souvent la période de récupération entre les deux matchs est courte et insuffisante pour permettre aux joueurs de récupérer complètement (Nedelec, *et al.*, 2012). Lorsque ces périodes réduites entre deux matchs s'accumulent, par exemple lors d'un enchaînement de plusieurs semaines à deux matchs, la récupération peut être davantage ralentie à cause de la fatigue résiduelle encore présente lorsque le match suivant doit être joué.

Les *data* portant sur les cinétiques de récupération des joueurs de haut niveau à différents intervalles *post-match* ont montré que la fatigue mentale (perception du joueur) perdure jusqu'à 72 h *post-match* (Abbott, *et al.*, 2020) et leurs capacités physiques, surtout en sprint, saut ou force, revient aux valeurs de référence seulement après 3 jours (72 h) bien qu'il y ait une variation importante entre les individus (Carling, *et al.*, 2018). Les marqueurs sanguins des dommages musculaires (ex : la créatine kinase ou CK) peuvent prendre jusqu'à 4 jours (96 h) pour revenir aux valeurs d'avant match et les valeurs pour le ratio testostérone/cortisol sont toujours plus hautes 72 h *post-match* (Marqués-Jiménez, *et al.*, 2022 ; Goulart, *et al.*, 2022). Le nombre d'accélération, décélération et changements de direction effectués est souvent corrélé à la concentration sanguine de CK *post-performance*.

Malgré la récupération insuffisante des paramètres physiques et physiologiques impactant potentiellement l'état de forme du joueur et son aptitude à jouer si l'intervalle entre les matchs est trop court, les facteurs de la performance physique en match ne semblent pas être négativement impactés (Julien, *et al.*, 2021). Par exemple, la distance totale parcourue en haute intensité et en sprint n'est pas affectée lorsque les

joueurs participent à deux matchs par semaine en comparaison avec un seul match et ceci même sur une période prolongée, bien que nous manquons d'études dans la littérature scientifique. En revanche, lorsque le calendrier est chargé en matchs, le risque de blessure s'élève significativement. Par exemple, un intervalle en dessous de 72 h entre deux matchs successifs ne permet pas une récupération adéquate au niveau de la microstructure des fibres musculaires des ischio-jambiers (Carmona, *et al.*, 2024) et peut en partie expliquer le risque élevé de blessures fréquemment observé chez le joueur de haut niveau (Wollin, *et al.*, 2018). Le Tableau 1 montre des exemples de différentes cinétiques des marqueurs de la récupération à la suite d'un match de football.

Variable	Baisse de performance immédiatement <i>post-match</i>	Temps pour revenir aux valeurs de référence
Sprint	-3 % à -9 %	5 h à 96 h
<i>Counter Movement Jump (CMJ)</i>	0 à -12 %	48 h à >72 h
Force des ischio-jambiers	-7 % à -15 %	51 h à >72 h
Créatine kinase	+75 % à +250 %	69 h à 120 h

TABLEAU 1 : Effets de la participation à un match de football sur la performance et temps nécessaire pour revenir aux valeurs d'avant-match (Nedelec, *et al.*, 2012)

Le suivi de la fatigue et de l'état de forme *post-match*

Dans un effort d'appréhender et d'objectiver au maximum la manière dont les joueurs récupèrent, et afin d'aider au processus de prise de décision concernant la « disponibilité » ou « l'aptitude » des joueurs à s'entraîner et/ou jouer, les staffs mettent en place un suivi systématique de la fatigue et de l'état de forme *post-match*. Cela implique l'utilisation d'outils de mesure de données *subjectives* souvent par questionnaire sur les douleurs musculaires, la fatigue, l'humeur, le sommeil, etc., et *objectives* tels que des analyses biochimiques (ex : les marqueurs sanguins des dommages musculaires, ratio testostérone/cortisol) et les capacités physiques (ex : la détente ou la force). Les staffs peuvent ensuite contrôler et doser les charges physiques et physiologiques en fonction des informations.

En revanche, un suivi peut s'avérer difficile d'un point de vue pratique ; par exemple le coût, le temps, les ressources humaines, l'implication des staffs et l'adhésion des joueurs surtout si le test est difficile sur le plan mental et/ou physique ou s'il est invasif. Les joueurs peuvent ainsi être réticents à fournir régulièrement un échantillon de sang ou de salive car ils le jugent invasif et chronophage. Le staff peut considérer dangereux un test de saut ou de sprint. De plus, bien qu'il existe une large panoplie de choix, pour le moment il n'y a pas d'outil ou de test « universel » pour assurer seul le suivi. Et quel que soit le test ou l'outil sélectionné, il faut adopter en amont un

processus rigoureux de validation basé sur plusieurs critères (Impellizzeri et Marcora, 2019) :

- 1) Utilité : l'outil (ou test) est-il pertinent pour déterminer le niveau de fatigue ou l'état de forme ?
- 2) Validité : mesure-t-il ce qu'il est censé mesurer ?
- 3) Reproductibilité : les données obtenues sont-elles reproductibles (sous les mêmes conditions de test) ?
- 4) Sensibilité : peut-il détecter des changements au niveau de la performance (le changement n'est pas lié à l'existence des erreurs de répétabilité de la mesure – capacité à séparer le « bruit » du « signal ») ?

Il faut également favoriser l'analyse et l'interprétation des changements au niveau de l'individu plutôt qu'utiliser des valeurs moyennes collectives en déterminant l'écart avec les tendances « normales » (valeurs de référence) au cours du temps. Il est essentiel de bien comprendre et d'utiliser les bonnes statistiques (*e.g.*, le changement minimal détectable) pour déterminer si la valeur est au-delà de laquelle la différence peut être raisonnablement considérée comme « réelle » (Pichonnaz, 2021).

Actuellement, il existe une pléthore de méthodes d'évaluation de l'état cognitif et mental, physique et physiologique / biochimique du joueur permettant de déterminer par la suite son niveau de fatigue et son aptitude à jouer. Il y a également la possibilité d'utiliser des statistiques de matchs avancées pour évaluer si la performance technique / tactique est impactée au cours des séances d'entraînement *post-match*.

Physiques, physiologiques et biochimiques

Le Saut en contre-mouvement (*CMJ*) est souvent utilisé pour observer la fatigue neuromusculaire. Des indicateurs obtenus à partir d'un saut sur une plateforme de force tels que le temps de vol et la hauteur du saut sont pertinents pour connaître l'état de forme des sportifs et leur niveau de fatigue par rapport à des valeurs de référence. McCall, *et al.* (2015) ont proposé un simple test de force maximale isométrique des muscles postérieurs et des membres inférieurs afin de réaliser un suivi de la fatigue *post-match* des ischio-jambiers et de la musculature adjacente. Également effectué sur une plateforme de force, ce test peut s'avérer utile surtout pour identifier les joueurs qui n'ont pas encore récupéré et qui sont donc potentiellement à risque de lésion musculaire au niveau des ischio-jambiers. Le temps réalisé sur des efforts de sprints courts (10 m, 30 m) est parfois utilisé mais les joueurs et staffs craignent un risque de blessure musculaire pendant de tels efforts.

Par le passé, des analyses de la fréquence cardiaque au repos ou pendant l'effort ont été utilisées pour déterminer l'état de fatigue des athlètes bien que les évidences scientifiques sont quelque peu contradictoires quant à leur précision. Plus récemment, la variabilité cardiaque a été utilisée pour évaluer l'activité du système nerveux autonome de manière non-invasive (*e.g.*, par simple montre ou ceinture connectée). Elle

correspond à un équilibre entre les deux systèmes nerveux – sympathique et parasympathique – et est associée aux charges physiques et cognitives. Une baisse peut être considérée comme un indicateur de fatigue chez le footballeur (Ayuso-Moreno, *et al.*, 2021). Cependant, de nombreux facteurs tels que l'âge, le stress, le sommeil, le tabac, l'alcool, la maladie ou les médicaments peuvent influencer les valeurs et doivent être pris en compte lors de l'interprétation des résultats.

Plus récemment, les *sports scientists* ont élaboré des méthodes d'analyse des joueurs sur le terrain (*in situ* ou le *monitoring invisible*). Ces méthodes réduisent la nécessité d'évaluer le niveau de fatigue *post-match* du joueur notamment *via* les tests physiques décrits ci-dessus conduits en dehors des séances d'entraînement et qui ne plaisent pas toujours aux staffs techniques. Par exemple, l'analyse des réponses physiologiques à un échauffement standardisé, ou celle du volume et de l'intensité des courses et des réponses mécaniques déterminées par *GPS* lors d'un jeu réduit standardisé, sont comparés à des valeurs de références des joueurs pour évaluer leur état de récupération (Lacome, *et al.*, 2021).

En ce qui concerne les marqueurs physiologiques et biochimiques, ils sont recueillis *via* le sang et la salive. On mesure notamment des marqueurs de dommages musculaires, inflammatoires et des médiateurs de la régulation endocrinienne (Goulart, *et al.*, 2022). La concentration sanguine de CK par exemple est couramment analysée pour donner une estimation de l'inflammation musculaire, elle est associée à l'état de forme du joueur *post-match* (Saidi, *et al.*, 2022). Au niveau hormonal, le ratio testostérone/cortisol et les marqueurs inflammatoires tels que le IL-6 et TNF- α sont également parfois utilisés pour analyser l'état du joueur.

Plus simple et moins onéreux même si elles restent des estimations subjectives, des réponses perceptuelles sur la fatigue ressentie sont couramment utilisées : par exemple, une simple échelle visuelle analogique pour déterminer la sensation de fatigue, de vigueur et les douleurs musculaires (*DOMS*). De même, les questionnaires Hooper (Figure 2) et Wellness permettent aux staffs de suivre régulièrement et facilement l'état de forme et de bien-être de l'athlète. Le Wellness comprend notamment des échelles sur l'humeur, la qualité du sommeil, le niveau d'énergie, les douleurs musculaires et le niveau de stress (McLean, *et al.*, 2010). Il existe d'autres questionnaires tels que le *POMS* (bien-être psychologique – tension, dépression, colère, vigueur, fatigue et confusion), *REST-Q* (Récupération-Stress) et *DALDA* (Symptômes de stress) mais leur remplissage et interprétation exigent plus de temps.

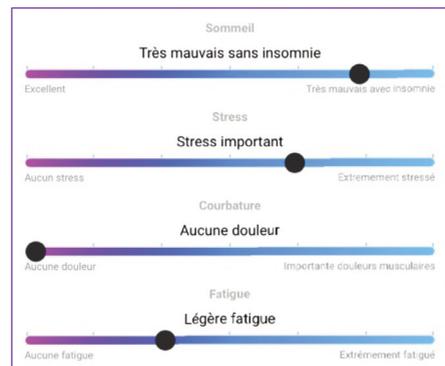


FIGURE 2 : Exemple du questionnaire Hooper pour l'analyse de l'état de forme

Fatigue mentale

Une récente étude a montré que 96 % des coachs pensent que la fatigue mentale impacte négativement la performance mais seulement 60 % l'évaluaient (Russell, *et al.*, 2024). Les raisons données pour expliquer ce résultat sont un manque de connaissances scientifiques et des problèmes directement en lien avec les protocoles (ex. : temps nécessaire, évidences scientifiques, éloignement des réalités du terrain). Néanmoins, plusieurs méthodes existent et ont été expérimentées telles que des questionnaires, des échelles psychométriques d'auto-évaluation et des tests en laboratoire pour suivre et étudier le niveau de fatigue mentale. Par exemple, le questionnaire pour déterminer et évaluer la charge mentale dans les sports collectifs (Díaz-García, *et al.*, 2023), le *NASA-TLX* (score de la charge mentale pour une tâche réalisée) (Angius, *et al.*, 2022), l'échelle d'évaluation de l'humeur de Brunel (*Brunel Mood Scale*) (Smith, *et al.*, 2015), le *Short Recovery and Stress Scale* ⁽¹⁾ (Kolling, *et al.*, 2020), le *Psychomotor Vigilance Test* ou *PVT* (Basner et Dinges, 2011), l'imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle et l'analyse des réponses oculaires EEG (Thompson, *et al.*, 2019). Peut-être que le plus simple et le moins onéreux à mettre en œuvre pour évaluer la fatigue mentale est une simple échelle visuelle analogique (FIGURE 3). Toutefois, le fait d'utiliser des outils d'auto-évaluation implique forcément qu'ils restent sous le contrôle de l'athlète qui peut facilement biaiser le résultat.

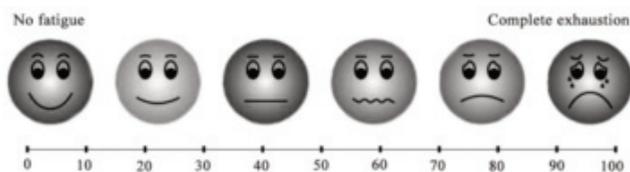


FIGURE 3 : L'échelle visuelle analogique pour évaluer subjectivement la fatigue mentale.

Techniques/tactiques

Il existe plusieurs tests et en laboratoire et sur le terrain pour évaluer l'impact de la fatigue physique et mentale sur la performance technique en football et notamment la capacité à réussir des passes et des tirs au but (Grgic, *et al.*, 2022). Cependant, un manque de validité écologique ⁽²⁾ et des problèmes logistiques empêchent leur utilisation au quotidien. Grâce aux avancées technologiques, les staffs sont maintenant en mesure d'évaluer les performances techniques et tactiques *in situ* ou de manière « invisible » lors de séances d'entraînement entre deux matchs. Par exemple, une analyse spatio-temporelle des joueurs pendant un jeu réduit (ex : 5v5) et la comparaison avec des données de référence obtenues pour plusieurs analyses du même jeu réduit peuvent indiquer que la synchronisation collective est impactée et notamment des

⁽¹⁾ Questionnaire d'auto-évaluation subjective ayant pour but d'évaluer l'état global de l'athlète, de sa récupération physique et cognitive.

⁽²⁾ La validité écologique consiste à savoir si les mesures et les comportements dans les contextes de recherche sont représentatifs du monde réel.

distances entre les lignes et entre certains joueurs plus importantes (Caetano *et al.*, 2019). Les statistiques avancées peuvent également révéler une capacité réduite des joueurs à prendre la meilleure décision avec ou sans ballon. Par exemple, en choisissant la meilleure passe ou en effectuant la bonne course pour se dézoner et se démarquer des adversaires (Forcher, *et al.*, 2022). Finalement, l'analyse du « *pitch control* » peut aussi aider à évaluer le niveau de contrôle par les joueurs des zones et espaces autour d'eux en fonction de leurs mouvements, de la localisation du ballon et des positions des adversaires (Higgins, *et al.*, 2023).

Conclusion

Dans le football de haut niveau, les demandes de plus en plus élevées en performance et l'enchaînement de nombreux matchs exigent que le niveau de fatigue et l'état de forme du joueur soient suivis de près. Pour cela, les staffs utilisent de multiples analyses de données subjectives et objectives après les matchs et les entraînements. Cependant, la réalité et le contexte du football présentent certains défis desquels découlent parfois des barrières concernant la mise en place de protocoles efficaces de suivi de la fatigue *post-match*. L'avenir est néanmoins prometteur grâce aux récents progrès scientifiques, notamment pour évaluer les joueurs de manière « invisible ».

Éléments de bibliographie

- ABBOTT William, BROWNLEE Thomas E., NAUGHTON Robert J., CLIFFORD Tom, PAGE Richard, et HARPER Liam D., « Changes in Perceptions of Mental Fatigue during a Season in Professional under-23 English Premier League Soccer Players », *Research in Sports Medicine*, 28(4), oct.-déc. 2020, p. 529-539. <https://doi.org/>
- ALLEN David G., LAMB G.D., et WESTERBLAD Håkan, « Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms », *Physiological Reviews*, 88(1), janvier 2008 p. 287-332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>.
- ANGIUS Luca, MERLINI Michele, HOPKER James, *et al.*, « Physical and Mental Fatigue Reduce Psychomotor Vigilance in Professional Football Players », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(9), 2022, p. 1391-1398. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2021-0387>.
- AQUINO Rodrigo, GUIMARÃES Rodrigo, JUNIOR Geraldo O.C., *et al.*, « Effects of Match Contextual Factors on Internal and External Load in Elite Brazilian Professional Soccer Players through the Season », *Scientific Reports*, 12(1), 2022, 21287. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-25903-x>.
- AYUSO-MORENO Rosa M., FUENTES-GARCÍA Juan Pedro, NOBARI Hadi, et VILLAFAINA Santos, « Impact of the Result of Soccer Matches on the Heart Rate Variability of Women Soccer Players », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 2021, 9414. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179414>.
- BADIN Oliver O., SMITH Mitchell R., CONTE Daniele, et COUTTS Aaron J., « Mental Fatigue: Impairment of Technical Performance in Small-Sided Soccer Games », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 2016, p. 1100-1105. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2015-0710>.
- BANGSBO Jens, IAIA F. Marcello, et KRUSTRUP Peter, « Metabolic Response and Fatigue in Soccer », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(2), 2007, p. 111-127. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2.2.111>.
- BASNER Mathias, et DINGES David F., « Maximizing Sensitivity of the Psychomotor Vigilance Test (PVT) to Sleep Loss », *Sleep*, 34(5), mai 2011, p. 581-591. <https://doi.org/10.1093/sleep/34.5.581>.
- BRADLEY Paul S., CARLING Christopher, GOMEZ Diaz A., *et al.*, « Match Performance and Physical Capacity of Players in the Top three Competitive Standards of English Professional Soccer », *Human Movement Science*, 2013, 32(4), p. 808-821. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.06.002>.
- BRADLEY Paul S., SHELDON William, WOOSTER Blake, OLSEN Peter, BOANAS Peter, et KRUSTRUP Peter, « High-Intensity Running in English FA Premier League Soccer Matches », *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 2009, p. 159-168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>.

Monitoring et gestion des *data* multichamps du footballeur de haut niveau

- CAETANO Fabio G., SILVA (DA) Vitor P., TORRES Ricardo da Silva, *et al.*, « Analysis of Match Dynamics of Different Soccer Competition Levels Based on the Player Dyads », *Journal of Human Kinetics*, 70, novembre 2019, p. 173-182.
- CARLING C., LACOME Mathieu, MCCALL Alan, *et al.*, « Monitoring of Post-match Fatigue in Professional Soccer: Welcome to the Real World », *Sports Medicine*, 48(12), décembre 2018, p. 2695-2702. <https://doi.org/>
- CARLING Christopher, « Interpreting Physical Performance in Professional Soccer Match-Play: Should We be More Pragmatic in Our Approach? », *Sports Medicine*, 43(8), 2013, p. 655-663. <https://doi.org/>
- CARMONA Gerard, MORENO-SIMONET Lia, COSIO Pedro Luís, *et al.*, « Hamstrings on Focus: Are 72 Hours Sufficient for Recovery After a Football (Soccer) Match? A Multidisciplinary Approach based on Hamstring Injury Risk Factors and Histology », *Journal of Sports Sciences*, 42(12), 2024, p. 1130-1146. <https://doi.org/>
- CASANOVA Filipe, GARGANTA Júlio, SILVA Gustavo, ALVES Alberto, OLIVEIRA José, et WILLIAMS Andrew M., « Effects of Prolonged Intermittent Exercise on Perceptual-Cognitive Processes », *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(8), 2013, p. 1610-1617. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31828b2ce9>.
- COUTINHO D., GONÇALVES B., WONG D.P., TRAVASSOS B., COUTTS A.J., et SAMPAIO J., « Exploring the Effects of Mental and Muscular Fatigue in Soccer Players' Performance », *Human Movement Science*, 58, avril 2018, p. 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.03.004>.
- COUTINHO Diogo, GONÇALVES Bruno, TRAVASSOS Bruno, WONG Del P., COUTTS Aaron J., et SAMPAIO Jaime E., « Mental Fatigue and Spatial References Impair Soccer Players' Physical and Tactical Performances », *Frontiers in Psychology*, 8, 2017, 1645. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01645>.
- DAMBROZ Felipe, CLEMENTE Filipe M., et TEOLDO Israel, « The Effect of Physical Fatigue on the Performance of Soccer Players: A Systematic Review », *PLoS One*, 17(7), 14 juillet 2022, e0270099. <https://doi.org/>
- DELLAL Alexandre, DINIZ DA SILVA Cristiano, HILL-HAAS Stephen, *et al.*, « Heart Rate Monitoring in Soccer: Interest and Limits During Competitive Match Play and Training, Practical Application », *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(10), octobre 2022, e105, p. 1890-2906. <https://doi.org/>
- DÍAZ-GARCÍA Jesús, GARCÍA-CALVO Tomás, LÓPEZ-GAJARDO Miguel A., RUBIO-MORALES Ana, et ALBERTO PARRACA José A., « Physical Fatigue Exacerbates the Negative Effects of Mental Fatigue on Soccer Performance in Practitioners », *European Journal of Human Movement*, 50, juin 2023, p. 62-69. <https://doi.org/>
- FESSI Mohamed S., et MOALLA Wassim, « Postmatch Perceived Exertion, Feeling, and Wellness in Professional Soccer Players », *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5), mai 2018, p. 631-637. <https://doi.org/>
- FIELD Adam, HARPER Liam D, CHRISMAS Bryna C.R., FOWLER Peter M., MCCALL Alan, PAUL Darren J, CHAMARI Karim, et TAYLOR Lee, « The Use of Recovery Strategies in Professional Soccer: A Worldwide Survey », *Int J Sports Physiol Perform*, 29 mai 2021, 16(12), p. 1804-1815. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2020-0799>.
- FORCHER Leander, ALTMANN Stefan, FORCHER Leon, JEKAUC Darko, et KEMPE Matthias, « The Use of Player Tracking Data to Analyze Defensive Play in Professional Soccer: A Scoping Review », *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(6), 2022, p. 1567-1592. <https://doi.org/10.1177/17479541221075734>.
- GANTOIS Petrus, CAPUTO FERREIRA Maria E., LIMA-JUNIOR (DE) Dalton, NAKAMURA Fábio Y., BATISTA Gilmaro R., FONSECA F., et SOUSA FORTES (DE) Leonardo, « Effects of Mental Fatigue on Passing Decision-Making Performance in Professional Soccer Athletes », *European Journal of Sport Science*, 20(4), 2019, p. 534-543. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1656781>.
- GARCÍA CALVO Tomás, et DÍAZ-GARCÍA Jesús, « Mental Fatigue and Sport Performance: Current Knowledge and Future Directions », *European Journal of Human Movement*, 48, 2020, p. 1-3. <http://dx.doi.org/>
- GOULART Karine N.O., COIMBRA Cândido C., CAMPOS Helton O., *et al.*, « Fatigue and Recovery Time Course After Female Soccer Matches: A Systematic Review and Meta-analysis », *Sports Medicine Open*, 8(1), 3 juin 2022, 72. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00466-3>.
- GRGIC Jozo, MIKULIC Ivan, et MIKULIC Pavle, « Negative Effects of Mental Fatigue on Performance in the Yo-Yo Test, Loughborough Soccer Passing and Shooting Tests: A Meta-Analysis », *Journal of Function Morphology and Kinesiology*, 7(1), 2022, 10. <https://doi.org/10.3390/jfink7010010>.
- HIGGINS Lewis, GALLA Tobias, PRESTIDGE Brian, et WYATT Terry, « Measuring the Pitch Control of Professional Football Players Using Spatiotemporal Tracking Data », *Journal of Physics: Complexity*, 4(2), 2023, 025008. <http://dx.doi.org/10.1088/2632-072X/acb67d>.
- IMPELLIZZERI Franco M., et MARCORA Samuele M., « Test Validation in Sport Physiology: Lessons Learned from Clinimetrics », *Int J Sports Physiol Perform*, 4(2), juin 2009, p. 269-277. <https://doi.org/10.1123/ijssp.4.2.269>.
- JORDET Geir, AKSUM Karl M., PEDERSEN Daniel N., *et al.*, « Scanning, Contextual Factors, and Association with Performance in English Premier League Footballers: An Investigation Across a Season », *Frontiers in Psychology*, 11, octobre 2020, 553813. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.553813>.

Monitoring et gestion des *data* multichamps du footballeur de haut niveau

- JULIAN Ross, PAGE Richard M., HARPER Liam D., « The Effect of Fixture Congestion on Performance During Professional Male Soccer Match-Play: A Systematic Critical Review with Meta-Analysis », *Sports Medicine*, 51(2), février 2021, p. 255-273. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01359-9>.
- KÖLLING Sarah, SCHAFFRAN Paul, BIBBEY Adam, *et al.*, « Validation of the Acute Recovery and Stress Scale (ARSS) and the Short Recovery and Stress Scale (SRSS) in three English-Speaking Regions », *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 2020, p. 130-139. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1684790>.
- KUNRATH Caito A., CARDOSO Felipe, NAKAMURA Fabio Y, et TEOLDO DA COSTA Israel., « Mental Fatigue as a Conditioner of the Tactical and Physical Response in Soccer Players: A Pilot Study », *Human Movement*, 19(3), 2018, p. 16-22. <http://dx.doi.org/10.5114/hm.2018.76075>.
- LACOME Mathieu, SIMPSON Ben M., et BUCHHEIT Martin, « Part 1: Monitoring Training Status with Playertracking Technology—Still on the Road to Rome », *Aspetar Sports Medicine Journal*, 7, 2018, p. 54-63. <https://journal.aspetar.com/>.
- MARQUÉS-JIMÉNEZ Diego, CALLEJA-GONZÁLEZ Julio, ARRATIBEL-IMAZ Iñaki, et TERRADOS Nicolás, « Biochemical and Physical Performance Responses to a Soccer Match after a 72-Hour Recovery Period », *Sports (Basel)*, 10(10), 2022, 140. <https://doi.org/10.3390/sports10100140>.
- MCCALL Alan, NEDELEC Mathieu, CARLING Christopher, LE GALL F, BERTHOIN Serge, et DUPONT Gregory, « Reliability and Sensitivity of a Simple Isometric Posterior Lower Limb Muscle Test in Professional Football Players », *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 2015, p. 1298-1304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022579>.
- MCLEAN Blake D., COUTTS Aaron J., KELLY Vince G., MCGUIGAN Michael R., et CORMACK Stuart J., « Neuromuscular, Endocrine, and Perceptual Fatigue Responses During Different Length Between-Match Microcycles in Professional Rugby League Players », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 2010, p. 367-383. <https://doi.org/10.1123/ijssp.5.3.367>.
- NÉDÉLEC Mathieu, MCCALL Alan, CARLING Chris, LEGALL Franck, BERTHOIN Serge, et DUPONT Gregory, « Recovery in Soccer: Part 1—Post Match Fatigue and Time Course of Recovery », *Sports Medicine*, 42(12), 2012, p. 997-1015. <https://doi.org/10.1007/BF03262308>.
- NÉDÉLEC M, MCCALL A, CARLING C, LEGALL F, BERTHOIN S, et DUPONT G., « The Influence of Soccer Playing Actions on the Recovery Kinetics After a Soccer Match », *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), juin 2014, p. 1517-1523. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000293>.
- PERREY Stéphane, « Training Monitoring in Sports: It Is Time to Embrace Cognitive Demand », *Sports (Basel)*, 10(4), 2022, 56. <https://doi.org/10.3390/sports10040056>.
- PICHONNAZ Claude, « Les propriétés des outils de mesure : les questions utiles à se poser », *Mains libres*, 38(2), juin 2021, p. 121-127. <https://arodes.hes-so.ch/record/8455?v=pdf>.
- RAMPININI Ermanno, IMPELLIZZERI Franco M., CASTAGNA Carlo, COUTTS Aaron J., WISLØFF Ulrik., « Technical Performance During Soccer Matches of the Italian Serie A League: Effect of Fatigue and Competitive Level », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 2009, p. 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.10.002>.
- SMITH Mitchell R., CHAI Rifai, NGUYEN Hung T., MARCORA Samuele M., et COUTTS Aaron J., « Comparing the Effects of Three Cognitive Tasks on Indicators of Mental Fatigue », *The Journal of Psychology*, 153(8), 2019, p. 759-783. <https://doi.org/10.1080/00223980.2019.1611530>.
- SMITH M.R., MARCORA S.M., COUTTS A. J., « Mental Fatigue Impairs Intermittent Running Performance », *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(8), août 2015, p. 1682-1690. <https://doi.org/>.
- SMITH M.R., THOMPSON Chris, MARCORA S.M., SKORSKI Sabrina, MEYER Tim, et COUTTS A.J., « Mental Fatigue and Soccer: Current Knowledge and Future Directions », *Sports Medicine*, 48(7), avril 2018, p. 1525-1532. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0908-2>.
- SOUSA FORTES (DE) Leonardo, BARBOSA Bruno T., MORTATTI Arnaldo L., MOREIRA Alexandre, et FERREIRA Maria E.C. « Effect of Mental Fatigue on Decision-Making Skill during Simulated Congested Match Schedule in Professional Soccer Athletes », *Current Psychology*, 43(2), 2023, p. 1785-1793. <http://dx.doi.org/>.
- STAIANO Walter, BONET Luis R.S., ROMAGNOLI Marco, et RING Christopher, « Mental Fatigue Impairs Repeated Sprint and Jump Performance in Team Sport Athletes », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(2), février 2024, p. 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.10.016>.
- SUN He, SOH Kim G., MOHAMMADI Alireza, WANG Xuanji, BIN Zuchang, et ZHAO Zijan, « Effects of Mental Fatigue on Technical Performance in Soccer Players: A Systematic Review with a Meta-Analysis », *Front Public Health*, 10, 2022, 922630. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.922630>.
- THOMPSON Chris J., FRANSEN Job, SKORSKI Sabrina, *et al.*, « Mental Fatigue in Football: Is it Time to Shift the Goalposts? An Evaluation of the Current Methodology », *Sports Medicine*, 49(2), février 2019, p. 177-183. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1016-z>.

*Monitoring et gestion des data multichamps
du footballeur de haut niveau*

THORPE Robin T, STRUDWICK Anthony J, BUCHHEIT Martin, ATKINSON Greg, DRUST Barry, et GREGSON Warren, « The Influence of Changes in Acute Training Load on Daily Sensitivity of Morning-Measured Fatigue Variables in Elite Soccer Players », *Int J Sports Physiol Perform*, 12(Suppl 2), 2017, p. 107-113. <https://doi.org/>.

TRECROCI Athos, BOCCOLINI Gabriele, DUCA Marco, FORMENTI Damiano, et ALBERTI Giampietro, « Mental Fatigue Impairs Physical Activity, Technical and Decision-Making Performance during Small-Sided Games », *PLoS ONE*, 15, 2020, p. 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238461>.

WOLLIN Martin, THORBORG Kristian, et PIZZARI Tania, « Monitoring the Effect of Football Match Congestion on Hamstring Strength and Lower Limb Flexibility: Potential for Secondary Injury Prevention? », *Physical Therapy in Sport*, 29, janvier 2018, p. 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.09.001>.

Découvrez les précédents *Cahiers de la RDN* codirigés par le Centre de recherche de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan et l'Institut de recherche biomédicale des armées



Le soldat augmenté : optimisation de la gestion du sommeil

Cet ouvrage a pour objet de montrer la réalité du sommeil en opérations militaires et de mieux faire comprendre son rôle, ses mécanismes et ses liens avec la vigilance et la performance pour les combattants. Il présente comment ces derniers peuvent l'appréhender, le contrôler, l'optimiser en mission opérationnelle dans le but de toujours accomplir leurs missions, tout en assurant leur propre sécurité et celle de leurs camarades.

2022, 152 pages - téléchargement libre (cliquer sur la couverture)

Le soldat augmenté : pour une gestion optimale du stress

Indissociable de la vie professionnelle du militaire, le stress voit ses effets amplifiés par des facteurs cumulatifs (incertitude, risques pris en opération). Non maîtrisé et sans récupération efficace, il peut causer des pathologies durables et chroniques, incompatibles avec le métier de soldat et à un retour serein à la vie civile. Ce *Cahier* a pour objet de faire le point sur les contre-mesures à déployer en amont et en aval des situations stressantes, afin d'améliorer la gestion du stress, protéger le combattant, voire optimiser son potentiel.

2023, 192 pages - téléchargement libre (cliquer sur la couverture)





Potentialiser le sens de l'audition en contexte opérationnel : outils d'évaluation de l'audition et de son 3D

Vincent Isnard & Guillaume Andéol
Département Neurosciences et Sciences Cognitives
Institut de recherche biomédicale des armées, Brétigny-sur-Orge, France

Contexte : Les capacités auditives des opérateurs sont cruciales pour le bon déroulement des missions. Cependant, les systèmes actuels ne prennent pas en compte tout leur potentiel.

Objectifs : 1) Développer des tests pour valider les capacités auditives ; 2) Développer des outils de synthèse audio pour utiliser toutes les ressources disponibles de la cognition auditive, comme la spatialisation sonore.

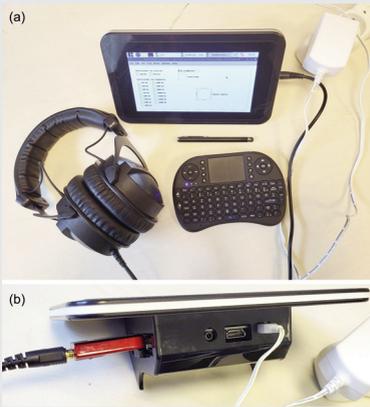
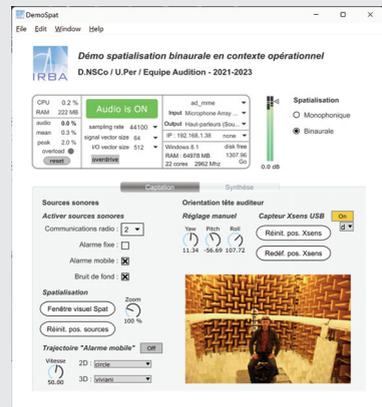


FIGURE 1. L'Aupiomètre : un audiomètre modulable pour le développement de tests innovants, l'expérimentation et l'évaluation de l'audition.

Voir aussi : ISNARD V., CHASTRES Véronique et ANDÉOL G., « Description of a New Low-Cost and Open-Source Audiometer and its Validation With Normal-Hearing Listeners: The Aupiometer », *PLoS one*, **19**(8), 2024, e0306751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306751>.

FIGURE 2. DemoSpat : un logiciel de démonstration pour faire entendre les atouts du son 3D binaural (au casque audio), comme la détection de cibles audio spatialisées ou le démasquage spatial de flux de communication multi-locuteurs.

Voir aussi : ANDÉOL G. et GUILLAUME A., « Le son 3D en aéronautique : applications et contraintes », *Médecine aéronautique et spatiale*, **51**(189), 2010, p. 5-12.





IHM adaptative par monitoring physiologique d'états cognitifs

Travaux de recherche

© Naval Group – Tous droits réservés

VARIABILITÉ
inter et intra
individuelle

Variation de la
PERFORMANCE
de l'utilisateur
dans son
ACTIVITE

IMPACT

- Variation des temps de détection et de prise de décision
- Risque d'erreurs
- Qualité dégradée de la conscience de la situation

➔ Prise en compte de la variabilité humaine pour augmenter le niveau de performance opérationnelle lors de l'exploitation d'une IHM

IHM ADAPTÉE À L'ÉTAT DE L'OPÉRATEUR

Monitoring physiologique

- Analyse multisenseurs
- Discrimination états cognitifs
- Niveau de criticité de l'état
- Monitoring non intrusif
- Acceptabilité

IHM adaptative en temps réel

- Définition des adaptations
- Distinction en fonction de l'état
- Temporalité
- Acceptabilité
- Performance



Projet « RAPID COGNISIM » - Mesure de la charge **cognitive** en **simulateur** pour l'optimisation de la formation

Porteur : Physip (75011). Autres partenaires : Agueris (78140), INSERM/COPHY (69500), Forvia (91150)

La surcharge cognitive présente des risques opérationnels car elle coïncide avec une baisse des performances : diminution de la compréhension, interprétation erronée du contexte, communication inefficace ou enfermement dans un tunnel, etc. Aussi, pour préserver l'efficacité opérationnelle, il est essentiel de reconnaître les situations de surcharge cognitive pour les éviter.

COGNISIM est une évaluation de la charge de travail cognitive conçue pour optimiser la formation par simulation. L'objectif est de pouvoir identifier les forces et les faiblesses d'un apprenant, de personnaliser sa formation ou de valider son niveau de maîtrise des tâches opérationnelles à l'aide de l'évolution de sa charge de travail cognitive. À terme, l'objectif est d'adapter en temps réel le scénario à l'état cognitif de chacun.

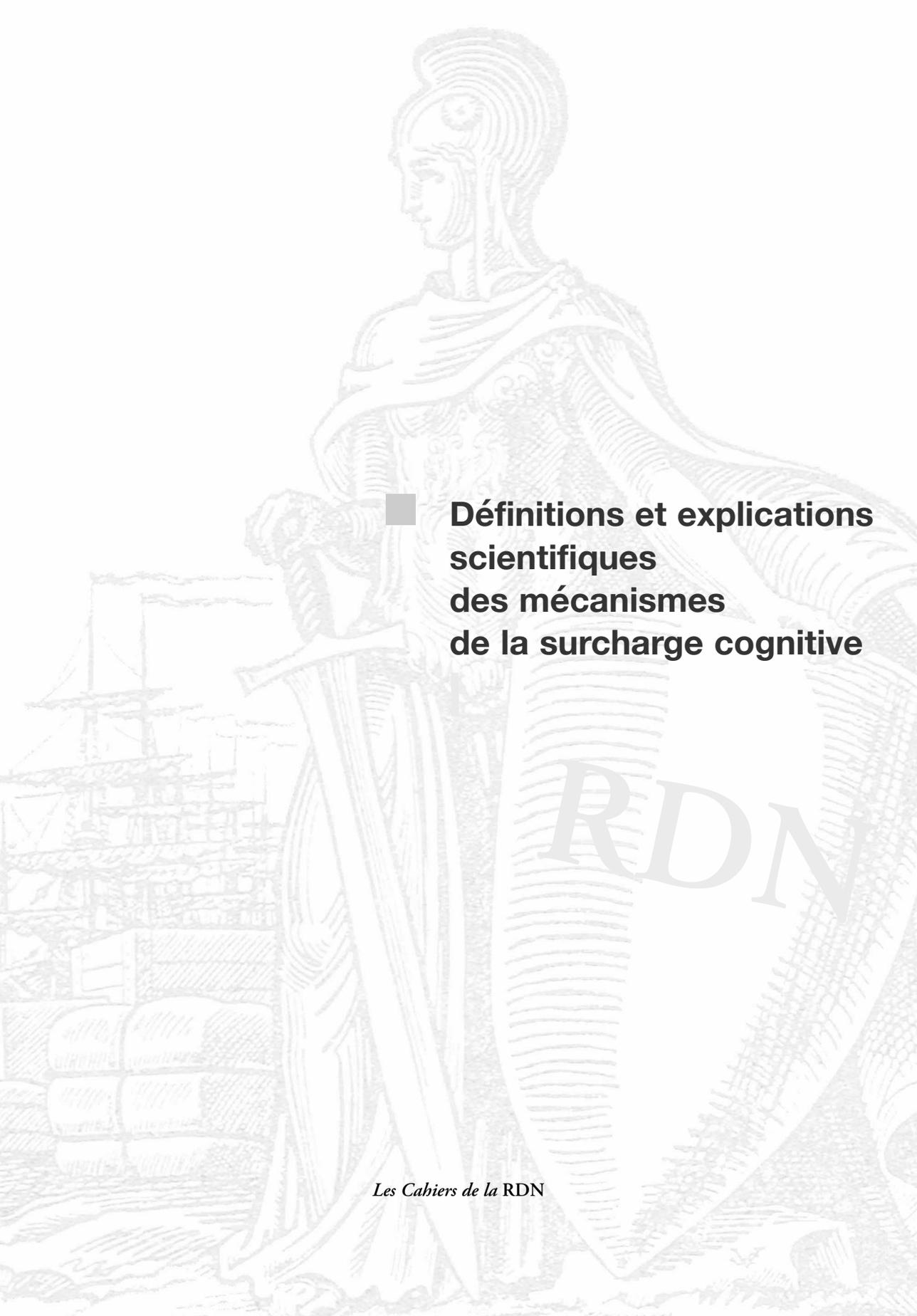
L'évaluation de la charge cognitive est basée sur l'analyse automatique de l'activité cérébrale capturée par l'Électroencéphalographie (EEG). En combinant le traitement avancé des signaux et l'IA, notre technologie réduit le nombre de capteurs à deux. L'objectif de cette réduction est d'exploiter l'objectivité, par opposition à l'auto-évaluation subjective, et la précision des données d'activité cérébrale, tout en facilitant la transition de l'EEG depuis les environnements contrôlés de laboratoire vers des applications dans le monde réel, telles que l'entraînement sur simulateur ou l'opération depuis une salle de contrôle.



Les premiers résultats du projet prouvent la faisabilité de l'évaluation de la charge cognitive à l'aide d'un seul signal EEG. Ils montrent que si l'EEG présente des performances comparables à celles de la pupillométrie dans une tâche d'ordinateur, il les surpasse dans un scénario sur simulateur de tourelle de char. Cette supériorité s'explique par le fait que les performances de l'EEG ne sont pas affectées par les variations de luminosité, un facteur qui influe sur les performances de la pupillométrie.

Les premiers résultats du projet prouvent la faisabilité de l'évaluation de la charge cognitive à l'aide d'un seul signal EEG. Ils montrent que si l'EEG présente des performances comparables à celles de la pupillométrie dans une tâche d'ordinateur, il les surpasse dans un scénario sur simulateur de tourelle de char. Cette supériorité s'explique par le fait que les performances de l'EEG ne sont pas affectées par les variations de luminosité, un facteur qui influe sur les performances de la pupillométrie.

RAPID (Régime d'appui à l'innovation duale) est un dispositif de l'Agence de l'innovation de Défense.



■ **Définitions et explications
scientifiques
des mécanismes
de la surcharge cognitive**

RDN

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

Françoise DARSES

Professeure, cheffe du département Neurosciences et Sciences cognitives, Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

Les militaires en opérations, quelle que soit leur armée et quelle que soit leur fonction, témoignent régulièrement de l'expérience qu'ils ont faite d'une « surcharge cognitive » survenant dans des situations le plus souvent menaçantes et caractérisées par leur forte dynamicité temporelle et par le caractère crucial – voire vital – des décisions à prendre dans ces conditions.

Dans le présent article, nous replaçons cette notion de surcharge cognitive au regard de plusieurs construits associés : charge cognitive, charge mentale et charge de travail. Nous adoptons un déroulé historique. Partant des travaux qui sont menés depuis plus d'un siècle sur la charge de travail, nous resserrons progressivement notre propos autour de la charge cognitive.

La charge de travail

Une problématique ancienne

La problématique de la charge de travail est ancienne et s'est amplifiée dès le début du XX^e siècle avec la mise en place de l'Organisation scientifique du travail (OST) par l'ingénieur américain Frederick W. Taylor (1911). Un des principes fondateurs de l'OST est de rationaliser le processus de production par standardisation des procédures, entraînant la division du travail et l'exécution de tâches parcellaires. En couplant ces dernières à la vitesse de fonctionnement des machines, on supprime les temps morts mais on introduit d'immédiates conséquences en termes de charge de travail, comme noté très vite par les physiologistes comme Jules Amar (1914), Jean-Maurice Lahy (1921) ou Alain Wisner (1974). Si la charge physique du travail est alourdie par l'intensification des cadences, la charge mentale est également accrue par la routinisation des tâches et leur monotonie, majorant le ressenti de pénibilité du travail (Teiger & Laville, 1972).

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

Il peut être pertinent de dissocier les composantes physiques des composantes mentales d'une situation de travail afin d'évaluer plus finement chacune d'entre elles. Mais comme schématisé en Figure 1, on ne doit pas oublier que ces deux composantes de la charge de travail agissent en partielle interaction pour développer un ressenti de charge.

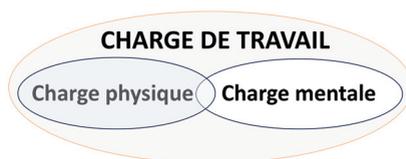


FIG. 1 : Composantes physique et mentale de la charge de travail.

Dans le présent article, nous traiterons uniquement de la charge mentale de travail et nous renvoyons les lecteurs intéressés par la charge physique de travail aux nombreux travaux menés sur la question (voir par ex., INRS, 2017 ; Keranguéven & Claudon, 2023 ; Meyer, 2014).

Définition : la charge comme le rapport entre exigences imposées par la situation de travail et ressources mobilisables par l'individu

Pour définir le concept de « charge de travail », on doit « distinguer ce qui est *relatif au travail à accomplir* et ce qui est *relatif à l'opérateur qui l'accomplit*, c'est-à-dire ce que ce travail représente pour lui » (Sperandio, 1972, p. 2). Il y a donc deux pôles dans la charge de travail :

– Le pôle **situation de travail** comprend non seulement les caractéristiques de la tâche (objectifs de résultats, cadence imposée, poids des éléments à manipuler, complexité intellectuelle d'une opération arithmétique, temps alloué pour fournir la réponse, etc.), mais aussi les exigences émanant de la structure organisationnelle et des outils et technologies utilisées.

– Le pôle **opérateur** concerne le degré de mobilisation du sujet, tant du point de vue physique (par ex., consommation d'oxygène, variation du rythme cardiaque) que mental (par ex., quantité de ressources attentionnelles, dégradation des performances).

La charge de travail est donc le « niveau d'activité (mentale, sensori-motrice, physiologique, physique, etc.) de l'opérateur, nécessaire à l'accomplissement d'un travail donné et évalué selon un certain critère » (Sperandio, 1972, p. 2). C'est sur ce principe que la plupart des auteurs – depuis les années 1970 (par ex., Leplat & Pailhous, 1969 ; Leplat, 1977 ; Welford, 1977) et encore aujourd'hui (par ex., Hollands, *et al.*, 2024) –, modélisent la charge induite par une situation de travail en faisant le rapport entre les exigences d'une situation de travail et les ressources mobilisables par l'opérateur pour y répondre (cf. Figure 2). Si le rapport est à l'équilibre, alors l'opérateur est en situation de charge nominale. Si le plateau des exigences

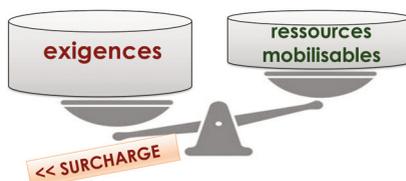


FIG. 2 : La charge de travail : un rapport entre exigences imposées par la situation de travail et ressources mobilisables par l'individu.

pèse moins que celui des ressources, l'opérateur est en déficit de sollicitation, ce qui peut avoir des conséquences délétères (par ex., baisse de vigilance, sentiment d'inutilité, perte de sens du travail). Si le plateau des exigences pèse plus que celui des ressources, l'opérateur est en surcharge de travail, avec des conséquences sur le plan physique et mental, notamment en termes de sécurité et de santé.

La charge mentale de travail

Accroissement de la composante mentale du travail

La sophistication technologique des outils de travail n'a cessé de croître à partir des années 1950. L'informatisation a accentué les opérations mentales de conduite, de contrôle et de supervision des systèmes. La composante mentale de la charge de travail s'en est trouvée particulièrement renforcée. Cet accroissement des exigences mentales du travail a tout naturellement conduit à se saisir de la problématique de la charge mentale et à étudier les conditions de survenue de la surcharge. À partir des années 1960, de nombreuses études ont été menées dans ce but, évaluant la charge mentale générée par des tâches exécutées en laboratoire (par ex., tâche de *tracking* – Garvey & Taylor, 1959 –, tâche de surveillance d'un index mobile sur un cadran – Poulton, 1958). Les modes mentaux opératoires étant peu variables, ce sont les effets des niveaux d'exigence imposés par la tâche qui sont étudiés (Hancock & Williams, 1993). Un certain nombre de recherches ont également été menées sur des tâches réelles, comme la conduite automobile (Brown, 1962 ; Michaut & Pin, 1965). Ici, les participants peuvent modifier à leur gré les processus opératoires pour contenir la charge, sans que cela soit contrôlé par l'expérimentateur. La transformation de ces processus n'étant pas analysée, l'évaluation de la charge s'en trouve biaisée. Un vaste champ de recherches s'est développé sur cette question, avec des travaux qui n'ont cessé de se renouveler jusqu'à aujourd'hui (voir par ex., Gopher & Donchin, 1986 ; Hancock & Meshkati, 1988 ; Hancock & Williams, 1993 ; Martin, *et al.*, 2013 ; Schouten, *et al.*, 1962 ; Svensson, *et al.*, 1997).

On peut illustrer cette augmentation de la dimension mentale du travail en s'appuyant sur un exemple issu du domaine de l'aéronautique (cf. Figure 3). Au cœur de cette représentation se noue l'interaction entre l'humain (ici, l'aviateur) et son « champ de travail » (ici, l'aéronef évoluant dans l'espace aérien). Aux débuts de l'aéronautique, rien ne s'interpose entre ces deux pôles : l'opérateur est en prise directe avec son « outil de travail » qui est relativement rudimentaire (par ex., la gouverne est directement actionnée par un câble relié au manche que tient l'aviateur). Là, l'interaction de l'humain avec son système de travail se résume à une action/rétroaction sensori-motrice directe. Avec le temps, des évolutions technologiques s'insèrent entre les deux pôles *aviateur/aéronef*, formant des sous-systèmes de plus en plus complexes. La composante physique du travail s'amointrit au profit de la composante mentale qui gagne en importance jusqu'à devenir le « nerf » de la situation de travail. Le traitement de l'information symbolique absorbe l'essentiel des ressources mentales de l'opérateur. Ce dernier doit désormais interagir avec une machine qui possède une capacité décisionnelle croissante, jusqu'à devenir, avec les systèmes à base d'intelligence

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

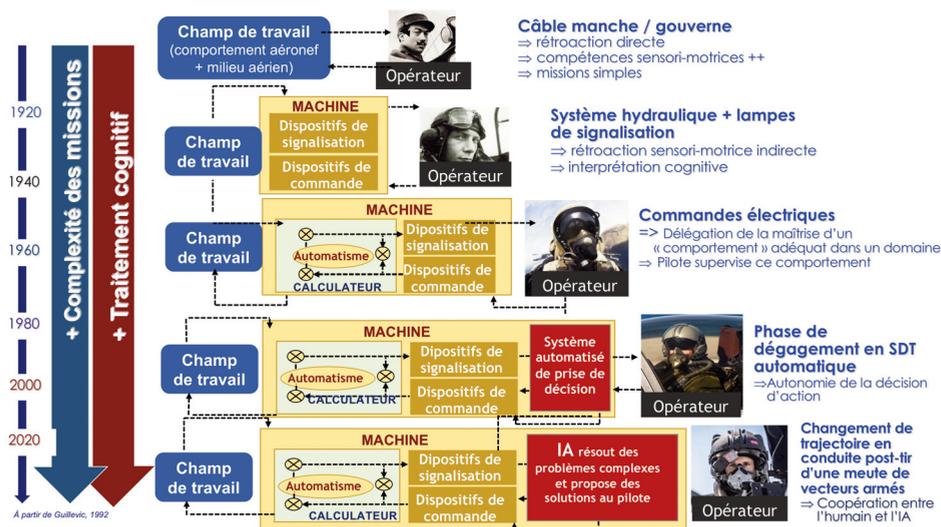


FIG. 3 : Intensification de la charge mentale de travail au fil des ans : un exemple issu de l'aéronautique.

artificielle (IA) contemporains, un quasi-partenaire dans les diagnostics et les prises de décision.

Le caractère plurifactoriel de la charge mentale

L'intensification de la charge mentale de travail n'est pas seulement provoquée par la complexité croissante des outils de travail. L'essor des activités du secteur tertiaire s'accompagne d'une hausse du poids des facteurs psychosociologiques socio-organisationnels et psychiques, comme le révèlent les enquêtes sur les conditions de travail (par ex., Cézard, Dussert & Gollac, 1992 ; Hamon-Colet, 2004). Y sont mis à jour plusieurs indicateurs de pénibilité se rapportant à la charge mentale : le fardeau de la responsabilité, l'urgence des résultats demandés, l'obligation d'attention soutenue, les interruptions répétées, l'insuffisance ou l'inadéquation des moyens de travail, la gestion de relations psychosociales dégradées, etc. Ces facteurs constituent des vecteurs indéniables de production d'une surcharge mentale (voir par ex., Galy, *et al.*, 2012) et sont aujourd'hui largement divulgués par un foisonnement de publications qui abordent cette problématique en relation à la santé et à la qualité de vie au travail et hors travail, en lien avec le bien-être, le développement personnel, ainsi que sous l'angle des études de genre (voir par ex., Patron, 2022).

Ces diverses sources de charge – et potentiellement de surcharge – mentale ont été brillamment illustrées par les témoignages militaires publiés en ouverture de ce *Cahier*. Tous insistent sur la charge mentale induite par les décisions à prendre en environnement hostile ou à risque, la crainte d'une possible erreur d'appréciation et de ses conséquences en termes de responsabilité et/ou de sanctions, l'anxiété provoquée par

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

les menaces immédiates pour sa propre survie et celle des autres, le dilemme entre le suivi des missions assignées et l'analyse de la réalité du terrain, les complications opérationnelles engendrées par les défaillances matérielles, etc.

On prendra à nouveau un exemple issu de l'aéronautique militaire pour illustrer l'origine intrinsèquement multifactorielle de la charge mentale. Cet exemple, qui nous ramène aux années 2010, illustre quelques conséquences en termes de charge mentale, de la doctrine de polyvalence du chasseur imposée dans le contexte de

l'adoption du *Rafale* par l'Armée française. Sur la Figure 4, on trouve les quatre champs qui composent la situation de travail du pilote. Chaque champ génère des exigences mais produit aussi des ressources : le pilote et ses compétences déjà acquises ou à acquérir, le système avec ses fonctions à maîtriser, la tâche prescrite par le commandement, et l'organisation au sens noble du terme, gouvernée par les états-majors. En suivant l'ordre des flèches (de 1 à 5 pour les exigences et de A à B pour les ressources), on voit bien l'engrenage plurifactoriel qui concourt à engendrer la charge mentale, et potentiellement la surcharge, dès lors qu'un des pôles grossirait ou diminuerait au détriment de l'équilibre général. Si l'on veut maîtriser la charge mentale, il faut donc nécessairement s'inscrire dans une démarche d'analyse systémique de la situation opérationnelle du militaire.

La charge cognitive

Les travaux présentés dans la section précédente témoignent d'un resserrement progressif de la notion de charge mentale autour de sa dimension cognitive. D'ailleurs, si le terme « infobésité » a été récemment créé et est fréquemment employé dans le cadre des systèmes de travail complexes, c'est bien pour exprimer l'exacerbation et la surabondance des informations symboliques et subsymboliques qu'imposent les outils technologiques contemporains.

Les processus cognitifs qui sont mobilisés en situation de charge et surcharge cognitive sont divers et se combinent les uns aux autres. Plusieurs articles de la présente parution portent spécifiquement sur tel ou tel processus (voir par exemple, Mecheri ou Albentosa, *et al.*). Dans le présent article, nous ne décrivons pas en détail ces divers processus cognitifs et leur articulation, tant la somme des travaux actuels sur la question est grande et la synthèse complexe à construire. Nous nous contentons de donner quelques pistes qui guideront le lecteur intéressé.

Capacité limitée du traitement des informations aboutissant à la saturation cognitive. – C'est sur ce postulat, formulé très tôt (Broadbent, 1958 ; Simon, 1979)

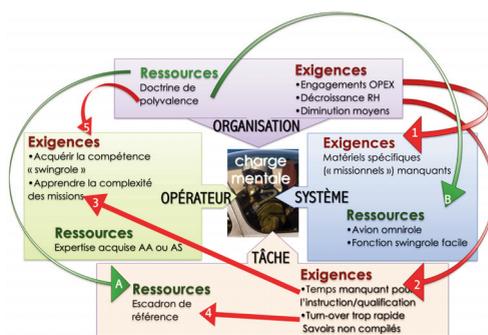


FIG. 4 : Facteurs contribuant à la survenue d'une surcharge cognitive dans une tâche de pilotage de chasse : l'exemple de la bascule air-sol/air-air.

que reposent les paradigmes d'étude de la charge cognitive. L'individu dispose d'une capacité limitée pour traiter les informations produites et disponibles, lesquelles peuvent se trouver prises dans un goulet d'étranglement quand leur volume augmente, créant une surcharge cognitive. Afin d'éviter cet engorgement, les processus cognitifs doivent s'adapter pour poursuivre le bon traitement de la situation.

Gestion de la saturation cognitive par modification des stratégies de traitement de la tâche. – Pour répondre aux variations des exigences informationnelles, les individus ajustent et modifient leurs processus mentaux ainsi que leurs modes opératoires durant l'exécution de la tâche. Sperandio (1977) a mené, dans le domaine du contrôle aérien, une étude particulièrement illustrative de cette capacité des opérateurs à remanier leurs modes opératoires dès l'apparition d'une surcharge, de sorte à maintenir une charge mentale nominale. L'auteur constate que lorsque le niveau d'exigence de la tâche des contrôleurs augmente (évalué par le nombre d'avions à contrôler simultanément), le processus opératoire se modifie, comme attesté par de nombreux indices observables : standardisation progressive des cheminements imposés aux avions, baisse du nombre moyen de données traitées pour chaque avion par sélection de celles jugées plus importantes, transformation des communications verbales (durée, nature), etc. Certes, cette étude porte sur une tâche qui est certainement bien différente de celle des contrôleurs aériens d'aujourd'hui (Kuk, *et al.*, 1999), mais le mécanisme cognitif reste générique : au fur et à mesure que la saturation mentale de l'opérateur s'accroît, ce dernier adopte de nouvelles stratégies de gestion de la tâche afin de contrecarrer et repousser autant que possible la survenue de la surcharge.

Économie des ressources cognitives nécessaires grâce au haut niveau d'expertise de l'opérateur. – L'acquisition progressive de l'expertise va jouer un rôle important car elle permet d'incorporer et d'automatiser les modes opératoires des tâches. Ces dernières seront alors effectuées sur la base de routines. À noter que toutes les tâches ne peuvent être routinisées ; dès lors qu'il s'agit d'une résolution de problème, le contrôle cognitif doit être maintenu au niveau le plus élevé afin de gouverner les processus de diagnostic, planification et évaluation de l'action. C'est ce que le modèle *SRK (Skill-Rule-Knowledge)* de l'ingénieur danois Jens Rasmussen (1983) formule.

Possibilité de faire face à des situations multitâches en actionnant simultanément différents niveaux de contrôle du traitement informationnel. – La routinisation cognitive de certaines tâches, telle que décrite ci-dessus, autorise l'opérateur à mener simultanément une ou plusieurs tâches qui sont gérées à des niveaux de contrôle différents. Ces situations multitâches sont particulièrement fréquentes dans le domaine militaire, du fait de la dynamique du contexte opérationnel.

Impact de la concurrence entre modalités perceptives (visuel, auditif, tactile) sur l'utilisation des systèmes et des équipements à fonctions multimodales. – En situation multitâche, la modalité perceptive des tâches (visuelle, auditive ou tactile) influence le niveau de charge cognitive et affecte les performances. Selon le Professeur en psychologie Christopher D. Wickens (2002), l'encodage de l'information est réalisé par des canaux sensoriels différents (par ex., auditif *vs* visuel). Ainsi, deux tâches de modalités différentes pourront être réalisées simultanément et sans augmentation de la charge

cognitive ni dégradation des performances. Selon l'auteur, lorsque les informations sont encodées par le même canal sensoriel (par ex., traitement simultané de deux tâches visuelles), alors la charge cognitive augmente et les performances sont altérées. Toutefois, il a été montré que ce modèle n'est plus valable lorsque le niveau d'exigence de la situation multitâche augmente. Dans ce cas, quelle que soit la combinaison des modalités d'encodage, les performances se dégradent. Cette problématique est abordée par la chercheuse en psychologie ergonomique Julie Albentosa et ses collègues dans le présent *Cahier* et par bon nombre de recherches contemporaines (par ex., Hollands, *et al.*, 2019). En conséquence, les fonctions multimodales, dont sont dotés les équipements et systèmes d'armes contemporains, sont potentiellement concurrentes sur le plan du traitement cognitif, et peuvent par conséquent engendrer une surcharge cognitive. On se trouve donc devant un paradoxe : alors que les équipements multimodaux s'inscrivent dans un objectif d'amélioration de la performance du soldat, ils sont susceptibles d'engendrer un dépassement de ressources cognitives, mettant les individus dans l'incapacité d'agir en sécurité (Darses, *et al.*, 2024).

Importance de l'efficacité des fonctions exécutives, notamment l'attention et la mémoire de travail, dans la gestion de la charge. – Les processus psychologiques de traitement des informations reposent sur des ressources cognitives répertoriées sous le terme de « fonctions exécutives ». Parmi celles-ci, la mobilisation des ressources attentionnelles et le recours à la mémoire de travail jouent un rôle majeur pour endiguer la survenue d'une surcharge. La manière dont ces mécanismes psychologiques sont activés pour répondre à l'intensification de la charge de travail est l'objet de nombreuses recherches (voir par ex., Dehais, *et al.*, 2020). Cette problématique est développée dans l'article du chercheur en neurosciences et sciences cognitives Sami Mecheri dans ce *Cahier*.

Rôle des facteurs intensifs (tels que l'anxiété, le stress ou la fatigue) dans la majoration de la charge cognitive. – Ces facteurs sont des générateurs de surcharge cognitive, du fait des perturbations du contrôle attentionnel qu'ils induisent. En fonction de leur niveau d'intensité, ils imposent d'accroître l'effort mental pour maintenir la capacité de traitement des informations pertinentes et ne pas compromettre la performance (voir par ex., Bong, *et al.*, 2016 ; Cros, *et al.*, 2019). Ce faisant, ils concourent à la production de la surcharge cognitive.

Mesurer la charge cognitive

Les recherches consacrées à la mesure de la charge cognitive sont foisonnantes et d'une cruciale actualité dans le milieu militaire. C'est d'ailleurs sur ce constat qu'un groupe de recherche Otan (STO-HFM-319) auquel nous avons participé, a élaboré un rapport de synthèse (Hollands, *et al.*, 2024). Nous en tirons les éléments exposés dans cette section. La problématique, bien qu'ancienne, profite aujourd'hui des avancées des nouvelles techniques et méthodes des neurosciences.

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle :
quelques repères théoriques

TYPE DE MESURE	CATÉGORIE	MESURE
Subjective-based	Workload Assessment	NASA-TLX, ISA, SWAT, Perceived Physical Discomfort, Bedford Rating Scale (BFRS), Rating Perceived Exertion/Effort (RPE), Borg CR-10 Scale, TMW, AMW
	Mood Motivation	Profile of Mood State Questionnaire, Intrinsic Motivation Questionnaire
Performance-based	Response Time and Accuracy	SA Accuracy, Response Time, Reaction Time, Accuracy, Time to Complete, Trial Duration
	Score to Cognitive Tasks	OSATS (Objective Structured Assessment of Technical Skills), NBack, Task performance specific to a domain (flight, tactical change, surgery, etc.)
	Dual Tasks	DRT RT, Dual Task
	Physical Performance	Step Speed and Endurance
Physiology-based	Heart Dynamic	ECG, ECG IBI, HR, HRV
	Brain Imagery	EEG, fNIRS, TCD (transcranial doppler), CBFV (cerebral blood flow velocity), rSO ₂ (oxygen saturation)
	Physiological Functions	EMG, Neuromuscular evaluations between contractions, GSR (Galvanic Skin Response), Facial Thermography, Breathing Activity
	Gait	Posture and Gait Parameters
	Eyes Activity	Eye Tracking, Eye Fixation Duration, Pupil Diameter

FIG. 5 : Types de mesures de la charge cognitive (extrait de Hollands, *et al.*, 2024).

Combiner les types de mesure pour garantir une évaluation fiable

Un consensus est désormais établi pour distinguer trois types de mesure de la charge cognitive :

– *Mesures basées sur des appréciations subjectives.* – Ce sont les appréciations des individus qui sont les données, obtenues par les réponses à des questionnaires validés ou par des cotations d'échelles de ressenti de charge.

– *Mesures fondées sur l'évaluation de la dégradation de la performance à la tâche.* – Sur la base de la capacité limitée de traitement des informations, on utilise deux voies. Soit on mesure tout simplement la dégradation de la tâche principale au fur et à

mesure de l'augmentation des exigences (avec le danger d'omettre les mécanismes de remaniement des stratégies, comme décrit dans la section précédente), soit on utilise une tâche secondaire bien contrôlée dont on va mesurer la dégradation. Celle-ci révèle en miroir l'accroissement de la part mentale nécessaire pour continuer à traiter la tâche principale (voir par ex., Kalsbeek, 1965 ; Leplat & Sperandio, 1967).

– *Mesures établies à partir de données physiologiques.* – Ces mesures permettent d'enregistrer les variations des mécanismes physiologiques qui participent à la mobilisation et à l'intensification des processus mentaux (voir par ex., Marinescu, 2018 ; Remigereau, *et al.*, 2024).

La Figure 5 répertorie ces diverses mesures dont on trouvera une description dans l'article de Justin Hollands, chercheur canadien en ergonomie cognitive, et ses collègues du groupe Otan. (2024).

Sélectionner les mesures en fonction de leur adéquation avec le contexte de l'activité étudié

Sélection des mesures appropriées

Parce que les mesures présentées précédemment ont des caractéristiques techniques spécifiques, il faudra sélectionner celles qui répondront aux particularités de l'activité étudiée. Si les mesures sont faites sur le terrain opérationnel en situation d'activité réelle (instruction, entraînement, etc.), les outils de mesure doivent être compatibles avec la mobilité des participants et avec la dynamique de leurs tâches. Si les mesures sont faites en laboratoire, on pourra s'affranchir de ces contraintes, au détriment de la représentativité de la situation de travail. On devra donc sélectionner les mesures en fonction des critères suivants (voir Figure 6) :

- lourdeur de mise en place du matériel ;
- présence requise de l'expérimentateur auprès des participants, afin de surveiller le bon fonctionnement des outils de mesure et régler les aléas techniques ;
- prise en considération de la possible introduction d'une interférence entre la tâche principale dont on veut mesurer la charge et la tâche secondaire qu'on introduit pour servir d'étalon de mesure ;
- niveau de qualité psychométrique de la mesure (fiabilité, validité et sensibilité).

Construction de micromondes

De nombreuses contraintes environnementales empêchent de recueillir les données sur le terrain où il est souvent difficile de déployer les instruments de mesure pertinents (captation vidéo, enregistrements oculométriques ou physiologiques, etc.) pour inférer les traitements cognitifs. Cet obstacle nécessite de concevoir des « micromondes » qui fournissent des scénarios représentatifs de l'activité réelle de l'opérateur. Ils peuvent être implémentés sur ordinateur ou bien dans des environnements immersifs, comme illustré en Figure 6. La démarche de conception de ces micromondes doit être bien maîtrisée si l'on veut obtenir des outils valides. Albentosa, *et al.* (voir ce présent

Conclusion

L'étendue du champ de recherche sur la charge cognitive est considérable et la diversité des approches est si grande qu'on ne pouvait avoir ici que la modeste ambition de fournir quelques repères pour mieux situer la notion de charge cognitive – et son corrélat, la surcharge cognitive, au regard des notions de charge mentale et de charge de travail.

À notre sens, trois défis empiriques doivent être relevés aujourd'hui par l'ergonomie cognitive et les neurosciences cognitives sur la problématique de la charge cognitive du militaire en opération. Le premier est de rappeler, encore et toujours, caractère multifactoriel de la charge cognitive et de marteler sans relâche qu'il faut adopter une analyse systémique afin de corriger les situations de surcharge. Cet angle de vue est trop souvent perdu de vue, face à l'attraction des techniques d'évaluation de la charge qui peuvent réduire la problématique de la charge cognitive à la simple mesure des capacités individuelles. Le deuxième défi est de maîtriser la combinaison des méthodes de mesure afin de garantir une approche globale de l'évaluation de la charge. Les outils des neurosciences sont un atout inestimable, associés aux techniques d'appréciation subjective de la charge et aux méthodes de mesure de performance. Afin que ces différents types de données soient mobilisés de manière pertinente en fonction des hypothèses et des objectifs d'étude, on gagnerait à s'appuyer sur un cadre méthodologique stabilisé, dans la suite de celui qui a été construit par Hollands *et al.* (2024). Le troisième défi est de créer des micromondes grâce auxquels on puisse mesurer la charge cognitive générée par des tâches représentatives de l'activité réelle des militaires en situation opérationnelle. Le coût de ces outils est important et la démarche de conception reste encore artisanale. Là aussi, il serait bénéfique de disposer d'une démarche de conception qui soit plus standardisée. Au-delà de ces défis empiriques, restent les importants enjeux théoriques relatifs aux mécanismes psychologiques sous-tendant la gestion de la charge cognitive, en lien avec les points qui ont été mentionnés dans la section précédente.

Autant de sillons que nous devons creuser avec détermination, dans l'objectif de tout mettre en œuvre pour qu'une charge mentale excessive ne mette pas en danger la santé et la sécurité des militaires en opération.

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

Éléments de bibliographie

- AMAR Jules, *Le Moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel*, Dunod et Pinat, 1914.
- Bong Choon Looi, FRASER Kristin et ORIOT Denis, « Cognitive Load and Stress in Simulation », in GRANT Vincent J. et CHENG Adam (dir.), *Comprehensive Healthcare Simulation: Pediatrics*, 2016, p. 3-17.
- BROADBENT D.E., *Perception and Communication*, Pergamon Press, 1958.
- BROWN I.D., « Measuring the 'Spare Mental Capacity' of Car Drivers by a Subsidiary Auditory Task », *Ergonomics*, 5(1), 1962, p. 247-250. <https://doi.org/10.1080/00140136208930580>.
- CÉZARD Michel, DUSSERT Françoise et GOLLAC Michel, « Travail : des conditions mal supportées », *Travail et Emploi*, 51(1), 1992, p. 112-115. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/>.
- CROS Sophie, LOMBARDOT Éric et VRAIE Benoît, « Manager sous stress aigu en situation de crise », *Revue française de gestion*, 282(5), 2019, p. 37-56. <https://doi.org/10.3166/rfg.2019.00360>.
- DARSES Françoise, REMIGEREAU Alexis et ALBENTOSA Julie, « Sophistication des équipements du fantassin : Le danger de la surcharge cognitive », *Le Magazine des Ingénieurs de l'Armement*, 131, 2024, p. 32-33. <https://www.caia.net/>.
- DEHAIS Frédéric, LAFONT Alex, ROY Raphaëlle et FAIRCLOUGH Stephen, « A Neuroergonomics Approach to Mental Workload, Engagement and Human Performance », *Frontiers in Neuroscience*, 14(268), 2020. <https://doi.org/>.
- GALY Edith, CARIOU Magali et MÉLAN Claudine, « What is the Relationship Between Mental Workload Factors and Cognitive Load Types? », *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 2012, p. 269-275. <https://doi.org/>.
- GOPHER Daniel et DONCHIN Emmanuel, « Workload: An Examination of the Concept », in BOFF Kenneth R., KAUFMAN Lloyd et THOMAS James P. (dir.), *Handbook of Human Perception and Performance*, vol. II, New York: Oxford University Press, 1986, p. 1-49.
- GUILLEVIC Christian, *Psychologie du travail*, Nathan, 1992, 255 pages.
- HAMON-CHOLET Sylvie, « La charge mentale : fardeau ou aiguillon ? » in BUÉ Jennifer, PUECH Isabelle et COUTROT Thomas (coord.), *Conditions de travail : les enseignements de vingt ans d'enquêtes*, Toulouse, Éditions Octares, 2004.
- HANCOCK Peter A. et MESHKATI N., *Human Mental Workload (Advances in Psychology n° 52)*, Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1988.
- HANCOCK P.A. et WILLIAMS G., « Effect of Task Load and Task Load Increment on Performance and Workload », in JENSEN R.S. (dir.), *Seventh International Symposium on Aviation Psychology*, Columbus: Ohio, 1993, p. 328-334.
- HOLLANDS Justin G., SPIVAK Tzvi et KRAMKOWSKI Eric W., « Cognitive Load and Situation Awareness for Soldiers: Effects of Message Presentation Rate and Sensory Modality », *Human Factors*, 61(5), 2019, p. 763-773. <https://doi.org/>.
- HOLLANDS J., ALBENTOSA Julie, BINSCH O., BOURGUIGNON N., CAHILL L., et al., *Measuring the Cognitive Load on the Soldier*, Report STO-TR-HFM-319, NATO, 2024.
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ POUR LA PRÉVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL ET DES MALADIES PROFESSIONNELLES (INRS), *Méthode d'analyse de la charge physique de travail*, Rapport ED 6291, 2017. ISBN 978-2-7389-2293-9.
- KALSBECK John W.H., « Méthode objective de la surcharge mentale. Nouvelles applications de la méthode des doubles tâches », *Le Travail humain*, 28(1/2), 1965, p. 121-132.
- KERANGUEVEN Lauren et CLAUDON L., « Une méthode pour l'analyse de la charge physique de travail », *Archives des Maladies professionnelles et de l'Environnement*, 84(2), 2023. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2023.101749>.
- KUK George, ARNOLD Martin et RITTER Frank E., « Effects of Light and Heavy Workload on Air Traffic Tactical Operations: A Hazard Rate Model », *Ergonomics*, 42 (9), 1999, p. 1133-1148. <https://doi.org/>.
- LAHY Jean-Maurice, *Le système Taylor et la physiologie du travail professionnel*, Masson, 1921, 216 pages.
- LEPLAT J. et PAILHOUS J., « The Analysis and Evaluation of Mental Work », in SINGLETON W.T., FOX J.G. et WHITFIELD D. (dir.), *Measurement of Man at Work*, Taylor & Francis, 1969, p. 51-56.
- LEPLAT Jacques, « Les facteurs déterminant la charge de travail Rapport introductif », *Le Travail humain*, 40(2), 1977, p. 195-202.
- LEPLAT J. et SPERANDIO Jean-Claude, « La mesure de la charge de travail par la technique de la tâche ajoutée », *L'année psychologique*, 67(1), 1967, p. 255-277.
- MARINESCU Adrian C., SHARPLES Sarah, RITCHIE Alastair C., SÁNCHEZ LÓPEZ Tomas, et al., « Physiological Parameter Response to Variation of Mental Workload », *Human Factors*, 60(1), 2018, p. 31-56. <https://doi.org/>.
- MARTIN Caroline, HOURLIER Sylvain et CEGARRA Julien, « La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique », *Le Travail humain*, 76(4), 2013, p. 285-308. <https://doi.org/>.
- MEYER J.-P., « Évaluation subjective de la charge de travail : Utilisation des échelles de Borg », *Référence en santé au travail*, 139, 2014, p. 105-122.

Charge et surcharge cognitive en situation opérationnelle : quelques repères théoriques

- MICHAUT G. et PIN M.C., « Effets sur quelques variables psychophysiologiques de la conduite automobile urbaine », *Communication au III^e Congrès d'Ergonomie de Langue française*, Paris, 1965.
- PATRON Sylvie (dir.), *Récits de la charge mentale des femmes*, Hermann, 2022, 212 pages.
- POULTON E.C., « Measuring the Order of Difficulty of Visual-Motor-Tasks », *Ergonomics*, 1(3), 1958, p. 234-239. <https://doi.org/10.1080/00140135808964592>.
- RASMUSSEN Jens, « Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 1983, p. 257-266.
- REMIGEREAU Alexis, DARSEZ F., DOZIAS Baptiste et ALBENTOSA J., « Design and Validation of a Simulated Multitasking Environment for Assessing the Cognitive Load on the Infantry Squad Leader », *Frontiers in Psychology*, 15, 2024, 1433822. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1433822>.
- SCHOUTEN J.F., KALSBECK J.W.H. et LEOPOLD F.F., « On the Evaluation of Perceptual and Mental Load », *Ergonomics*, 5(1), 1962, p. 251-260. <https://doi.org/10.1080/00140136208930581>.
- SIMON Herbert A., « Information Processing Models of Cognition », *Annual Review of Psychology*, 30(1), 1979, p. 363-396. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.30.020179.002051>.
- SPERANDIO J.-C., « Charge de travail et régulation des processus opératoires », *Le Travail humain*, 35(1), 1972, p. 85-98.
- SPERANDIO J.-C., « La régulation des modes opératoires en fonction de la charge de travail chez les contrôleurs de trafic aérien », *Le Travail humain*, 40(2), 1977, p. 249-256.
- SVENSSON E., ANGELBORG-THANDEREZ M., SJÖBERG L. et OLSSON S., « Information complexity-mental workload and performance in combat aircraft », *Ergonomics*, 40(3), 1997, p. 362-380. <https://doi.org/>.
- TAYLOR Frederick W., *The Principles of Scientific Management*, Harper & Brothers, 1911.
- TEIGER C. et LAVILLE A., « Nature et variations de l'activité mentale dans des tâches répétitives : essai d'évaluation de la charge de travail », *Le Travail humain*, 35(1), 1972, p. 99-116.
- WELFORD A.T., « La charge mentale de travail comme fonction des exigences de la capacité de la stratégie et de l'habileté Rapport de synthèse », *Le Travail humain*, 40(2), 1977, p. 283-304.
- WICKENS Christopher D., « Multiple Resources and Performance Prediction », *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 2002, p. 159-177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>.
- WISNER Alain, « Contenu des tâches et charge de travail », *Sociologie du travail*, 16(4), 1974, p. 339-357.

Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?

Emmanuel GARDINETTI

Ingénieur en chef de 1^{re} classe des études et techniques de l'armement (ICETA1). Chef du département « expertise et technologies de défense » et responsable du domaine scientifique « Homme & Système », Agence de l'innovation de défense (AID).

Si l'on considère l'activité opérationnelle, il n'est pas possible de négliger la dimension socio-technique. Il est donc difficile de considérer le facteur humain indépendamment de la technologie qu'il emploie, du contexte dans lequel il se trouve et de l'activité qu'il y réalise. Les études de laboratoires en sciences cognitives sont intéressantes et nous permettent d'approcher le problème sous un angle donné, mais elles peuvent ou pourraient être un peu trop simplificatrices si l'on ne considérait pas les autres paramètres.

Une nécessaire coopération scientifique pluridisciplinaire qui intègre le Facteur humain

Je passe mon temps à plaider dans un monde d'ingénieurs pour que le Facteur humain (FH) soit pris en compte dans le système d'équations. Je demande à mes camarades de ne pas oublier l'humain et sa complexité (variabilité interindividuelle, variabilité intra-individuelle, traitement de l'information non indépendant de son état émotionnel, etc.) ; aussi convient-il de ne pas oublier, de notre côté, la dimension technologique en insistant sur le FH un peu trop rapidement.

Pour ma part, j'ai la chance de diriger un collège de responsables de domaines scientifiques où personne n'a le même bagage scientifique. La diversité des points de vue est une richesse que j'expérimente au quotidien. Travailler au niveau du « boulon de 10 » sans prendre en compte les interactions avec les autres domaines scientifiques et technologiques ne permet pas d'appréhender les choses à un niveau systémique.

En ce qui nous concerne, nous avons parmi nos objectifs à l'AID de tenter d'identifier les technologies émergentes et disruptives (EDT) et d'exploiter plus largement la puissance de notre réseau. Réseau auquel appartiennent nos prestigieuses écoles sous tutelles : Polytechnique (X), Institut supérieur de l'aéronautique et de l'Espace (ISAE/Supaéro), École nationale supérieure des techniques avancées (ENSTA Paris et

Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?

Bretagne) ainsi que des organismes nationaux de recherche comme l'Office national d'études et de recherche aérospatiales (Onera), l'Institut franco-allemand de recherche de Saint-Louis (ISL), le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), le Centre national d'études spatiales (CNES), sans oublier nos liens forts avec l'Agence nationale de la recherche (ANR) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Je plaide donc pour deux choses :

- Abordons réellement les questions complexes de manière pluridisciplinaire, voire de manière transdisciplinaire, en croisant les regards et les apports des différents champs scientifiques et technologiques (si nécessaire, l'AID peut aider en jouant un rôle « d'entremetteur scientifique »). À titre d'exemple, avec Dassault aviation, Dassault système, Naval Group, KNDS et l'agence de l'innovation, appuyés par le centre interdisciplinaire d'étude de défense et de sécurité (X, ENSTA Paris, Telecom Paris, Telecom Sud Paris), nous avons lancé une chaire d'architecture des systèmes complexes avec la tenue d'une première journée scientifique sur le campus de polytechnique le 22 mars 2024.

- Mettons à profit tous les atouts en notre possession pour essayer de faire progresser nos connaissances sur des questions aussi complexes que celle posée dans cet ouvrage. À titre d'exemple, j'ai prévu – avec l'aide des directions scientifiques des instituts du CNRS – une collaboration étroite en croisant leurs dix instituts avec nos quinze domaines scientifiques, y compris donc dans le domaine « Hommes & Systèmes » qui nous intéresse ici. Par ailleurs, nous avons programmé la création d'un groupe de travail (GT) neurosciences et neuroergonomie avec le CEA, qui impliquera leurs directions de la recherche technologique (DRT) et de la recherche fondamentale (DRF). Seuls, nous sommes bien peu et nous en sommes tous convaincus ; aussi l'AID essaie de se donner les moyens de construire des partenariats solides à bon niveau.

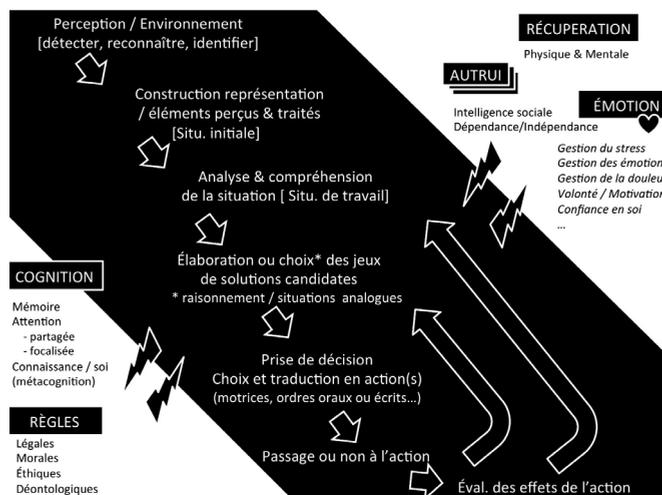
Comment schématiser le traitement cognitif de l'information par le soldat ?

Des travaux antérieurs sur les limites physiologiques et cognitives du combattant, effectués dans le cadre du programme de recherche lancé en 2015 par le CREC Saint-Cyr et l'IRBA sur le « soldat augmenté », ont été publiés dans un précédent *Cahier de la RDN* en décembre 2017. Certains s'en servent encore comme référence. La schématisation suivante d'un traitement cognitif de l'information par un soldat y avait été proposée ⁽¹⁾. Il s'agit de la synthèse du travail d'un groupe de chercheurs et d'ingénieurs qui auraient aimé pouvoir augmenter ledit soldat. Il s'agit d'une vision assez sérielle des choses. Je reconnais m'interroger sur cet auteur, un certain Emmanuel Gardinetti, qui entouré du CREC Saint-Cyr et de l'IRBA avait tenté en 2017 de faire tenir dans un seul schéma un modèle de l'activité cognitive d'un soldat amené :

⁽¹⁾ GARDINETTI Emmanuel, « L'augmentation des fonctions cognitives et émotionnelles du soldat en questions », *Cahier de la RDN – Le soldat augmenté : les besoins et les perspectives de l'augmentation des capacités du combattant*, décembre 2017, p. 84-112 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?carticle=172&cidcahier=1138>).

Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?

- à détecter, reconnaître, identifier des éléments ;
- se construire et/ou mettre à jour sa représentation mentale de la situation ;
- élaborer des choix (soit par une analyse, soit par analogie en mobilisant des schèmes déjà utilisés précédemment) ;
- puis prendre des décisions d'actions ou de non actions ;
- avant d'en évaluer les effets.



Évidemment, ce schéma compte des boucles de rétroactions. Il intègre les caractéristiques des grandes fonctions cognitives : attentionnelles, mnésiques, les méta-connaissances, les grandes règles intégrées du fait de notre éducation.

Il prend également en compte l'influence des dimensions physiques (fatigue, récupération), psychosociales (relations avec autrui, sociocentrisme, conformité, etc.), émotionnelles, volitionnelles ⁽²⁾, etc.

Toutefois, ce schéma, par sa compacité et sa forme, nous éloigne des travaux de Daniel Kahneman qui publiait, en 2011, *Thinking fast and slow*, son ouvrage référence sur les deux vitesses de la pensée ⁽³⁾. Cette approche oppose :

- **Un système 1** rapide, instinctif, émotionnel, automatique, qui fonctionne sans nécessiter notre volonté. Il est peu coûteux en énergie. Comme il est intuitif et permet des associations, il ouvre à la créativité.

- **Le système 2** qui nécessite de la concentration et de l'attention. Il est plus lent, plus analytique mais, *de facto*, plus adapté pour considérer des situations inconnues,

⁽²⁾ Volition : acte de volonté, manifestation de la volonté.

⁽³⁾ *Thinking, Fast and Slow*, Daniel Kahneman, 2011.

Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?

des problèmes nouveaux. Il est cependant plus énergivore et notre tentation est donc d'être paresseux et de nous appuyer de manière basale sur notre système 1. En effet, ces deux systèmes sont en interrelations, ce ne sont pas deux systèmes étanches.

Attention aux biais de raisonnement

Ce système basal est sujet à de nombreux biais de raisonnement. En avoir conscience ne suffit pas à s'en prémunir et s'il existe, certes, des biais dans chaque système, le recours à notre système 1 basal, notamment lorsque l'on est très chargé, fatigué, stressé ou apeuré, nous y expose encore plus et impacte nos « raisonnements ».

Le système 1 étant majoritairement associatif et échappant à notre volonté, il cherche en permanence des similarités pour pouvoir « dérouler quelque chose de connu ». Il associe des représentations et essaie de pouvoir ré-exploiter ce dont il dispose déjà (clin d'œil aux copier-collers quand on doit préparer un exposé en urgence, ce qui peut ne pas être très différent lorsqu'il s'agit desortir d'un cadre d'ordres sous pression, etc.).

Par ailleurs, on peut s'auto-intoxiquer car on va tenir plus facilement pour vrai ce qui est aisé et concordant avec nos représentations, nos stéréotypes, nos préjugés, mais aussi les schèmes et heuristiques disponibles : « Pourquoi chercher midi à 14 heures ? »

Le système 2 est plus méfiant, plus vigilant mais il est coûteux et lent... Aussi, quand on est en situation d'urgence opérationnelle et/ou sous pression, le système 1 s'exprime plus facilement et peut faire taire nos envies de nous poser et de faire l'exercice d'analyse qui pourrait devoir s'imposer.

Le système 1 s'appuie volontiers sur des régularités, sur des normes. Il cherche en permanence des corrélations entre les choses et conclut hâtivement, au risque de nous rendre crédule. Le système 2 pourrait avoir une approche plus statistique et être un peu moins sujet aux effets de halo (un premier événement ou un premier comportement influence le traitement du second) ou d'ancrage (quand on a vécu quelque chose d'intense, le second événement peut paraître plus anodin).

Le système 1, bien qu'associatif et créatif, peut – malgré tout, du fait de cet effet de halo – nous empêcher de penser hors cadre (« *think out of the box* ») alors qu'au combat, l'adversaire, comme nous, cherche à nous surprendre, à ruser, à induire et biaiser nos perceptions.

Le système 1 étant plus frugal et économe, concluant plus rapidement avec peu de données, si le système 2 paresse et ne reprend pas la main, on va juger de l'intention de l'autre sur très peu de choses et faire confiance à son instinct. Le système 1 « va vite en besogne », conclut même si les données sont peu nombreuses (cf Loi des petits nombres *versus* Loi des grands nombres). Il simplifie et s'accommode parfois de

Quelles sont les fonctions cognitives affectées en conditions opérationnelles ?

répondre légèrement à côté pour trouver une réponse plus facile. Il fait « comme si » et nous pouvons aller jusqu'à nous leurrer et nous faire croire que nous avons mené l'analyse de la situation.

Il se laisse volontiers piéger par la saillance des éléments et ceux-ci arrivent d'autant plus vite à l'esprit qu'ils sont chargés émotionnellement. Le sensationnalisme renforce donc nos biais en captant et détournant nos ressources attentionnelles.

On peut privilégier des informations douteuses, qui vont dans le sens d'un stéréotype au détriment d'informations statistiques. D'ailleurs, nous avons plus de facilité à **déduire** en passant du général au particulier, qu'à **induire** en passant du particulier au général (comme tirer une règle à partir de plusieurs cas particuliers). En nous appuyant sur le système 1, cela n'est pas très étonnant. Par souci d'économie, tous les cas atypiques ou discordants ont tendance à être ramenés vers la moyenne. On observe une tendance à la régression moyenne.

De nombreux autres biais existent mais je terminerai par notre « surestimation de nos intuitions ». On pense pressentir, mais c'est aussi, parfois, reconstruire et se berner soi-même et berner nos capacités d'autocontrôle.

Certes, le dramaturge Henry Bernstein a dit que « l'intuition c'est l'intelligence qui commet un excès de vitesse », mais ceci n'est valable que si et seulement si celle-ci repose sur un socle analytique non explicité au préalable. C'est un peu l'*insight* que l'on croit émerger du système 1 mais qui repose souvent sur de longues analyses du système 2. C'est, d'ailleurs, un processus bien connu dans le domaine de l'innovation ou certains opposent temps long et temps court alors même que les prétendues innovations géniales, de rupture, spontanées, radicales, etc. sont le fruit de travaux et réflexions antérieurs qui étaient dans la noosphère sans avoir été explicités ou opérationnalisés. Le temps long n'est pas l'ennemi du temps court, il est le terreau dans lequel il pousse.

Enfin, n'oublions pas que nous mémorisons mieux nos expériences quand elles sont chargées émotionnellement. Émotion et cognition sont difficilement dissociables et, trop souvent, mes collègues ingénieurs lorsqu'ils acceptent de prendre en compte le facteur humain le font avec une approche computationnaliste – c'est-à-dire selon la calculabilité des états mentaux et de leurs représentations symboliques ayant des propriétés sémantiques et syntaxiques avec lesquels on peut travailler et faire des prédictions.

Conclusion

Pour rassembler les deux composantes de cette analyse (zoom arrière puis zoom avant), la clé est, à mon sens, sans doute du côté des analyses écologiques, holistiques. Il faut que nous dépassions les travaux où, toutes choses égales par ailleurs, nous analysons les effets de quelques variables manipulées sur des variables bien mesurées. Certes, il faut continuer à le faire pour produire et solidifier notre socle de connaissances, mais il nous faut aussi changer de braquet et prendre des risques en nous frottant

Quelles sont les fonctions cognitives affectées
en conditions opérationnelles ?

à la complexité, à la croisée de la cognition et des technologies... car si on ne s'y risque pas, pour diverses raisons, nous déploierons des technologies et découvrirons bien (trop) tard leurs impacts. L'AID vous y invite dans le cadre de ses divers appels à projets et ses orientations. ♦

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué : de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

Christophe DENIAUD

Docteur en science du mouvement humain. Architecte Combattant du futur, Direction générale de l'armement (DGA).

Introduction sur la phénoménologie de la perception, de la cognition et de l'action

Jean Piaget, fondateur des premières théories sur le développement cognitif, a écrit que « connaître ne consiste pas à copier le réel mais à agir sur lui et à le transformer » (Vergnaud, 2002). Nous pourrions ici reformuler son propos par « le monde n'est que ce que j'en expérimente par mes actions ou les intentions que je peux projeter dessus, et de la même manière je ne suis que ce que le monde me permettra d'en percevoir, penser et agir ». C'est, en substance, l'idée que nous formulons pour résumer le positionnement ontologique de notre réflexion sur la boucle perception-cognition-action qui sous-tend l'interaction du soldat avec son environnement (Stewart *et al.*, 2012). Nous appuyons notre réflexion en nous basant sur les propos du phénoménologue et philosophe français Merleau-Ponty (1956) qui évoquait dans ses travaux comme le rappelle Luyat (2014) que : « la chose perçue, elle-même est paradoxale, elle n'existe que tant que quelqu'un peut l'apercevoir... » complétant son propos par cette autre idée consistant à dire que « je ne peux donc concevoir de lieu perceptible où je ne sois moi-même pas présent ». Dès lors, dans notre exemple du soldat et de son environnement, on ne peut envisager l'environnement (*a fortiori* perceptible) que comme une somme de phénomènes qui auraient au préalable été exposés à notre cognition *via* notre perception (Depraz, 2010). On retrouve dans les sciences cognitives des idées analogues à la phénoménologie de la perception évoquée par Merleau-Ponty dans les idées émanant de la théorie écologique de la perception de Gibson (1979), où l'usage du monde est présupposé par le monde lui-même qui, à la manière d'une poignée de porte, contient déjà sa suggestion d'action autosuggérée sans qu'il soit nécessaire de l'explicitier (Slanskis, 1993). L'auteur souligne qu'il n'y a pas d'action sans perception

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

mais, de la même façon, qu'il n'y a pas de perception sans action dans la mesure « où nous n'avons pas affaire aux objets eux-mêmes, mais uniquement à la manière dont nous les percevons » ou aux idées de ces objets eux-mêmes, c'est-à-dire dans les suggestions d'actions auxquelles ils nous renvoient. Pour mieux se représenter ces propos de la phénoménologie, il nous semble intéressant d'illustrer les concepts de charge cognitive, de perception, cognition et action en faisant une analogie avec certains concepts de physique théorique qui nous permettront d'illustrer l'agencement de plusieurs considérations de concepts des sciences cognitives dans ce qu'il conviendra d'appeler la métaphore d'« une mécanique cognitive ».

La métaphore de la mécanique cognitive relativiste

Charge cognitive : métaphore de la force d'interaction attentionnelle ou poids cognitif

Considérons le soldat et l'environnement comme des systèmes d'information équivalents c'est-à-dire possédant chacun une « masse cognitive d'informations » et qui, placés dans un espace-temps-cognitif (Versace, 2021), vont faire peser l'un sur l'autre « un poids cognitif » lorsque plongés rétrospectivement dans ce que nous allons dénommer (par analogie avec la physique de la gravitation) « le champ gravitationnel-attentionnel » de l'autre. Dans notre exemple nous proposons d'assimiler un environnement à toute entité capable d'influencer une action sur le système soldat et de traiter tout ou partie des informations le caractérisant (par exemple, un autre système soldat, une technologie de capteurs et/ou de système d'information...).

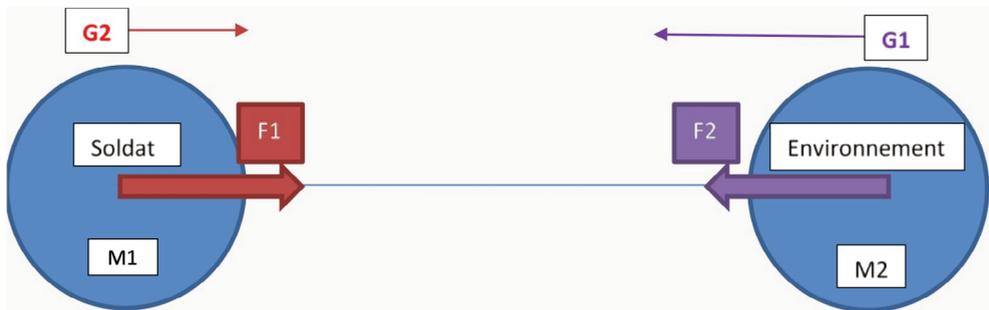


FIGURE 1 : Force d'interaction gravitationnelle « attentionnelle »

L'idée du triptyque phénoménologique « perception-cognition-action », évoquée dans notre propos liminaire, s'illustre ici par le fait que le soldat ne peut agir sur l'environnement que parce qu'il le perçoit et qu'en même temps celui-ci « perçoit » le soldat parce qu'il « agit » sur lui. Chaque système (soldat ou environnement) n'acquiert donc de « poids cognitif » que s'il est placé dans la déformation de l'espace-temps cognitif (ou champ attentionnel) générée par la masse cognitive de l'autre entité.

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

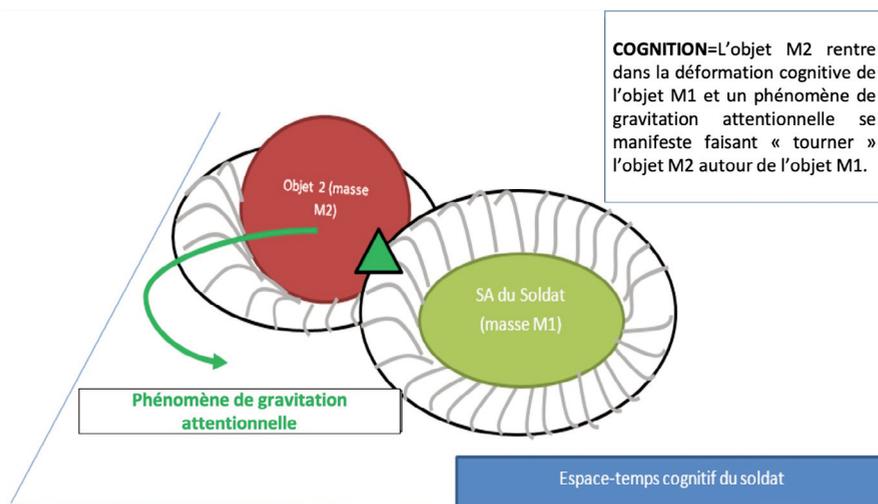


FIG. 2 : Illustration de la métaphore d'une « mécanique cognitive » : le phénomène de gravitation attentionnelle

C'est l'apparition de ce poids cognitif d'un système (ayant une masse cognitive) placé dans le champ attentionnel d'un autre système cognitif (ayant lui aussi une masse cognitive) que l'on caractérisera comme la manifestation de ce que l'on considère être la charge cognitive, c'est-à-dire, en définitive, la capture attentionnelle d'un système cognitif par un autre système cognitif. Cette idée basée sur une analogie avec le concept d'interaction gravitationnelle en mécanique classique permet également d'illustrer que « le sujet cognitif » soldat est en fait tout autant un « objet cognitif » pour l'autre système qu'est son environnement et qui, dans le triptyque phénoménologique de la boucle perception-cognition-action, peut également constituer « un sujet cognitif » à part entière. En effet les systèmes cognitifs « soldat et environnement » peuvent chacun acquérir un poids cognitif dans le champ attentionnel de l'autre.

De la charge cognitive à la surcharge cognitive : « mécanique cognitive »

Nous venons de voir qu'il y aurait charge cognitive dès lors qu'une masse cognitive se voit placée dans la déformation cognitive de l'espace-temps engendrée par une autre masse cognitive. Cette « gravitation attentionnelle » caractérise une interaction attentionnelle entre deux systèmes dans un espace-temps cognitif dédié. Ce qui signifie que chaque système possède une masse cognitive intrinsèque mais qui n'aura pas le même poids quand placée dans différents champs attentionnels. Dans cette mécanique cognitive, il est important de comprendre « le caractère relativiste » de la boucle perception-cognition-action, qui signifie que si un système (en tant qu'entité de traitement de l'information) comme le soldat perçoit, traite et agit sur cet autre système qu'est l'environnement (qu'il ne perçoit pourtant que comme un objet), cela signifie que celui-ci, dans son référentiel, en fait tout autant, en tant que système à part entière. C'est d'ailleurs la raison intrinsèque pour laquelle chaque système peut être qualifié comme un sujet qui réduit tout ce qui n'est pas lui à un objet à traiter et que

de ce fait, il est forcément à son tour le nouvel objet de ce nouveau sujet quand il est placé dans son référentiel. Un système cognitif est un objet cognitif qui s'ignore traitant, de ce fait, tout ce qui lui est extérieur comme objet cognitif. Ce qui signifierait qu'un système cognitif ne pourrait exister sans objet cognitif à considérer et uniquement s'il échoue à se percevoir comme objet cognitif, en lui-même, pour autrui.

Dans cette approche métaphorique « d'une mécanique cognitive », si l'on se place dans le référentiel du soldat en tant que système, lequel considère son environnement comme un objet cognitif à traiter, précisons dès lors les notions de perception, cognition et d'action :

- **Perception** : un soldat qui voit apparaître une information provenant de son environnement verra dans son espace-temps cognitif apparaître une déformation associée à la prise en compte de ce nouvel objet cognitif intégré par la perception.
- **Cognition** : une fois l'objet cognitif intégré dans l'espace-temps cognitif, s'il est traité par le soldat, il rentrera dans la déformation cognitive occasionnée par la masse cognitive de la Situation Awareness (Endsley, 2021) de ce dernier et un phénomène de gravitation attentionnelle se produira. L'objet 2 de masse M_2 , sous l'attraction du champ de pesanteur attentionnel G_1 se verra octroyer un poids cognitif que l'on caractérisera par cette notion de charge cognitive.
- **Action** : lorsque l'objet d'intérêt de l'environnement est rentré en interaction gravitationnelle-attentionnelle, si les informations contenues par cet objet cognitif commandent la réalisation d'une action dans l'environnement alors le soldat verra la masse cognitive de l'objet incorporée puisqu'intégrée à « la masse cognitive » de sa représentation mentale dénommée SA.

Bilan

Dans cette partie, nous avons pu illustrer le triptyque phénoménologie perception-cognition-action à l'aide de la métaphore d'une mécanique cognitive relativiste qui nous a permis d'illustrer ce que signifie, pour deux systèmes cognitifs, de s'intercepter en termes de perception, de cognition et d'action. L'intérêt de cette partie a été plus particulièrement d'introduire une distinction entre ce que nous avons qualifié de masse cognitive et ce que nous avons dénommé poids cognitif. Un système seul n'est pas un système masse cognitive, c'est un objet qui possède une masse cognitive et non un poids cognitif, puisque non placé dans le champ de gravitation attentionnel d'un autre objet ou système. Cette interdépendance entre les objets ou systèmes cognitifs ouvre encore avec plus d'intérêt la nécessité de poser dans notre réflexion ce que nous appelons une mesure de la charge cognitive. De notre point de vue, notre analogie avec la physique nous permet de préciser que le concept de charge cognitive mériterait d'être décrit en termes de masse et de poids pour mieux comprendre les interactions entre les systèmes. Chercher à mesurer la charge cognitive signifierait de préciser de ce fait les masses cognitives considérées et déterminer leur poids dans les champs attentionnels respectifs. La charge cognitive doit être appréhendée comme une dynamique à caractériser dans un espace-temps cognitif lui-même à caractériser. Nous espérons que les propositions

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

conceptuelles faites dans cet article pourront compléter certaines considérations sémantiques et méthodologiques qui nous semblent encore devoir être investiguées dans la littérature scientifique dans le domaine des sciences cognitives.

Dans la suite de notre exposé, dans cet enjeu de vouloir rendre opérationnelle une méthodologie de mesure et de caractérisation de la charge cognitive pour le combattant débarqué, nous allons malgré tout reprendre les modèles existants des sciences cognitives pour évoquer les pistes qui nous semblent les plus prometteuses à explorer.

La problématique de la caractérisation de la charge/surcharge cognitive chez le soldat en opération

Dans cette section nous exposerons les modèles et concepts issus de la psychologie cognitive, à proprement parler, pour aborder la question de la mesure de la charge cognitive.

La charge cognitive correspondrait à la quantité de ressources cognitives investies par un individu lors de la réalisation d'une tâche (Bellec *et al.*, 2013). Elle dépendrait de :

- la complexité de la tâche (le nombre d'éléments à traiter et à mettre en relation) ;
- des ressources de l'individu (ses connaissances à propos de la tâche) ;
- de la manière dont la tâche est présentée.

Le soldat en opération mobiliserait plusieurs fonctions cognitives pour interagir avec son environnement telles que :

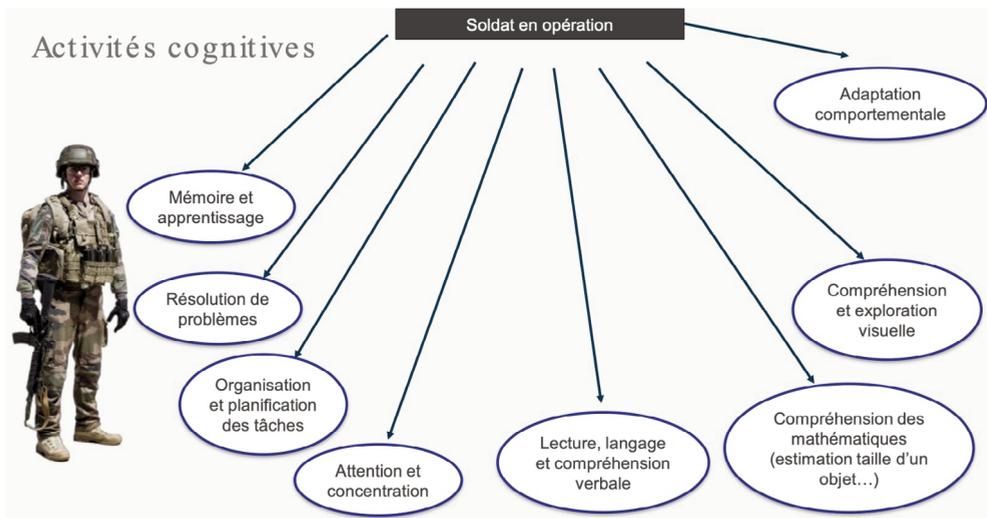


FIGURE 3 : Les activités cognitives du soldat débarqué en opération

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

Ainsi s'intéresser à la charge cognitive du soldat en opération pourrait signifier vouloir dire de catégoriser chacune de ses tâches suivant cette taxonomie d'activités cognitives décrites.

Une autre approche ou une approche complémentaire consisterait à aller chercher les concepts théoriques et modèles sous-tendant cette taxonomie d'activités afin d'en affiner leur compréhension et leur éventuelle déclinaison en outils de mesure et de caractérisation fiables et utiles de la charge/surcharge cognitive.

L'objectif de cette partie n'est pas d'illustrer dans le détail chacun des sous modèles ou concepts, mais d'illustrer que de s'intéresser à la charge cognitive requiert de :

- Définir ce que l'on appelle la charge cognitive, à dissocier de la surcharge cognitive (Chamberland, 2023) :
 - **charge cognitive** : la charge cognitive d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs en mémoire de travail et des opérations de traitement de ces informations ;
 - **surcharge cognitive** : est le dépassement des capacités de la mémoire de travail par une tâche cognitive.
- Caractériser différentes dimensions de la charge cognitive (Sweller et Kalyuga, 2011) :
 - **charge intrinsèque** : regroupe l'ensemble des ressources cognitives à investir en lien direct avec la tâche principale à réaliser pour traiter des informations en même temps par la mémoire de travail ;
 - **charge extrinsèque** : regroupe l'ensemble des ressources cognitives investies qui ne sont pas en lien direct avec la tâche principale ;
 - **charge utile** : regroupe l'ensemble des ressources cognitives nécessaires pour encoder une information de la mémoire de travail à la mémoire à long terme.

Remarquons que le phénomène de surcharge cognitive pourrait dès lors s'appréhender comme une répartition de charge intrinsèque et extrinsèque ne permettant pas, sur la somme restante de ressources cognitives à disposition, de constituer la charge utile pour permettre l'encodage des informations (passage de la mémoire de travail à la mémoire à long terme).

Expliciter les processus de mémorisation intervenant dans le traitement d'une information jusqu'à son encodage

Dans le modèle de la théorie de la charge cognitive de Moreno et Mayer (2007), il est intéressant de relever que s'intéresser à la charge cognitive du soldat pourrait signifier catégoriser ses processus de traitement de l'information en essayant d'identifier ce qui relève de la mémoire de travail et ce qui relève de la mémoire à long terme. On identifie dès lors que la charge cognitive intrinsèque permet de placer l'information dans la mémoire de travail et que la charge utile permet d'encoder l'information de la mémoire de travail à la mémoire à long terme. Il y aurait surcharge

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

cognitive quand plus aucun encodage ou récupération de l'information au niveau de la mémoire à long terme ne serait possible. En outre, ce modèle illustre également l'importance de prendre en compte la dynamique d'action et de temps de chacune des mémoires (sensorielle, de travail, à long terme) pour appréhender la notion de charge cognitive.

Identifier les processus attentionnels mis en œuvre

Il existe deux typologies de ressources attentionnelles, verbale et visuo-spatiale, et qu'il convient de prendre en compte dès lors qu'on cherche à caractériser la nature des processus cognitifs à l'œuvre dans l'émergence de la charge cognitive. En effet, les processus attentionnels préfigurent ce qui sera donné à traiter dans la mémoire de travail. Ils agissent en amont et participent à sélectionner les informations issues de l'environnement. À ce titre, on identifie également un deuxième niveau de complexité, à savoir qu'il existe deux typologies de processus attentionnels dits automatiques (pilotés indépendamment de la volonté consciente) et contrôlés (pilotés par la conscience). On parlera de saillance visuelle de *stimuli* qui, provenant de l'environnement, opéreront ce que l'on appelle une capture attentionnelle du soldat, indépendamment de la volonté consciente de ce dernier. Les processus attentionnels ainsi mobilisés sont les processus attentionnels automatiques ou « *Bottom-up* » (Theeuwes, 2010). À l'inverse, on parlera de pertinence visuelle de *stimuli* qui, provenant de l'environnement, mobiliseront des processus attentionnels contrôlés pilotés par la conscience du soldat et dénommés processus « *top-down* ».

Décliner les modalités de traitements de l'information mobilisées dans les activités cognitives du soldat en opération

Dans le modèle « *Skill-Rules-Knowledge* » de Rasmussen (1983), trois niveaux différents de traiter une information sont exposés :

- Niveau « *S = Skills* » : il concerne toutes les tâches de traitement de l'information qui mobilisent des automatismes ou habiletés motrices ne mobilisant aucune ressource cognitive et garantissant l'efficacité de la tâche.
- Niveau « *R = Rules* » : il concerne toutes les tâches de traitement de l'information qui mobilisent des procédures garantissant l'efficacité de la tâche et mobilisant des ressources cognitives.
- Niveau « *K = Knowledge* » : ce niveau concerne toutes les tâches de traitement de l'information qui mobilisent des règles ou heuristiques (procédures essai-erreur) ne garantissant pas l'efficacité de la tâche et mobilisant des ressources cognitives.

Il est intéressant de relever que lorsque l'on est dans le niveau *S* on ne consomme aucune ressource cognitive, il n'existe donc aucun phénomène de charge ou surcharge cognitive dans la réalisation de tâches de ce niveau. Il est admis qu'un soldat se « *drille* » à l'entraînement, c'est-à-dire qu'on le conditionne pour développer des automatismes en situation opérationnelle, ainsi on entraîne le soldat pour qu'il soit dans le niveau *S* en opération. De même pour des tâches garantissant l'efficacité de la

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

tâche mais requérant la mobilisation de ressources cognitives dans des procédures plus complexes que des automatismes, le niveau *R* traduit bon nombre de procédures qu'un soldat en opération doit pouvoir exécuter. C'est dans l'expression de ces procédures avec un coût cognitif non nul que le phénomène de charge cognitive pourrait être caractérisé et identifié. On parle de surcharge cognitive pour le niveau *K* qui correspond à une situation où le soldat devrait chercher une procédure ou règle qu'il n'a pas en sa connaissance pour résoudre un problème nouveau. On relève également que ce modèle est intéressant pour caractériser le niveau d'apprentissage des soldats (expert *vs* novice), puisqu'à une tâche donnée on pourrait identifier la montée en expertise ou en perte de compétences en qualifiant le niveau de traitement de l'information associé à la réalisation d'une tâche.

Décliner le concept de Situation Awareness (SA) en lien avec la charge cognitive

La *Situation Awareness (SA)* est un modèle situationnel (Endsley, 2021) qui permet de comprendre que pour agir sur son environnement, le soldat devra se construire une représentation mentale de ce dernier qui se modulera constamment au cours de son activité, au gré d'injonctions extrinsèques ou intrinsèques au soldat lui-même, contrôlées ou délibérées. On comprend dès lors que la dynamique qui s'opère entre la perception d'une information et l'action qui pourrait en découler en réponse à cette dernière repose sur une complexité de paramètres relevant tout d'abord de trois niveaux propres à la *SA*, à savoir :

- Perception : les processus attentionnels automatiques ou contrôlés caractériseront les schémas de perception à l'œuvre, les objectifs et attentes moduleront les *patterns* de perception.
- Compréhension : la priorisation des informations et leur traitement correspondront à la recherche de procédures ou heuristiques pour faire de la résolution de problèmes et garantir l'efficacité d'une tâche à réaliser.
- Projection : la mise à jour de la représentation mentale de la situation est opérée à ce niveau et préfigure les nouveaux espaces de prise de décisions qui suivront ainsi que les actions qui en découleront.

Il est important de relever le postulat fort de ce modèle qui consiste à dire qu'un opérateur ou un soldat efficace est un combattant qui saura moduler sa *SA* en fonction des contraintes de son environnement et qui saura opérer le meilleur compromis cognitif entre ses ressources cognitives et les exigences de la situation. Il y a phénomène de charge cognitive dans ce modèle dès lors que la *SA* devra se moduler et que les schémas de perception, compréhension et projection seront à l'œuvre. Si une décision est prise et que l'action qui en découle garantit l'efficacité de la tâche, on parlera de charge cognitive. Si toutefois la modulation de la *SA* ne préfigure aucune prise de décision ou bien engendre une prise de décision avec une action non efficace, on parlera de surcharge cognitive.

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

On comprend dès lors que c'est davantage la dynamique de la *SA* qui est à caractériser et qui pourrait être à investiguer pour chercher un indicateur direct ou indirect de la charge ou surcharge cognitive du soldat débarqué. Opérationnaliser ce modèle présuppose de pouvoir identifier les schémas de tâches qui constituent bon nombre de ses activités. En substance il n'existe pas une *SA* mais autant de *SA* que de situations d'action caractéristiques qu'il conviendrait au préalable d'identifier. Une approche intéressante constituerait donc de pouvoir construire cette base de connaissance en termes d'analyse de tâches et d'y associer des mesures subjectives ou objectives d'efficacité de réalisation de tâche pour objectiver l'efficacité des stratégies de modulation cognitives qui sous-tendent les modulations de représentation mentale de l'action à réaliser en opération. À noter que plusieurs questionnaires de *Situation Awareness* existent et autant de protocoles croisés de recueil de données physiologiques, subjectifs et/ou comportementaux. Dans notre approche il semblerait que la mesure d'entropie cognitive (mesure du chaos ou désordre cognitif) de la *SA* serait un indicateur intéressant à développer qui irait chercher l'état d'efficacité de cette perpétuelle modulation ou adaptation de la représentation mentale du soldat, nous permettant, *in fine*, de statuer plus précisément la dynamique d'un processus.

Décliner le concept de sentiment de présence et d'immersion à l'entraînement vs situation opérationnelle

Une question importante qui peut sous-tendre l'approche de celle de la mesure et de la caractérisation de la charge cognitive porte sur ce que l'on appelle l'efficacité du comportement associée à la sollicitation de ressources cognitives et à son niveau de représentativité en termes de validité écologique. En effet, lorsqu'un soldat s'entraîne, il développe une somme de procédures et d'automatismes pour faire face aux situations futures probables. La mobilisation de ressources cognitives à l'entraînement pour certains niveaux de tâche est donc clairement identifiée, mais il n'est pas clairement établi que les processus à l'œuvre à l'entraînement sont transposables avec ce qui se produirait en situation opérationnelle réelle. En clair la charge cognitive et la surcharge cognitive à l'entraînement sont d'un autre ordre en situation réelle. Une autre façon de formuler la chose consisterait à se demander si pour le soldat, sachant qu'il est à l'entraînement et que sa vie n'est pas en danger, cela implique que sa charge cognitive à l'entraînement n'est pas représentative de ce qu'il éprouverait en situation opérationnelle ? Il apparaît donc nécessaire de comprendre quelle est la situation réaliste (dite écologique) que l'on cherche à évaluer pour mesurer et caractériser la charge cognitive. Une interrogation qui nécessite de définir ce que l'on considère être une situation réaliste ou non. Si l'on reprend certaines définitions de concepts en épistémologie, on relève que le réel ne s'oppose pas au virtuel mais à l'actuel. Est réel ce qui est ancré à notre perception et nos sens et qui constitue l'espace-temps dans lequel je réalise une action – en ce sens que ce que le soldat vit à l'entraînement est donc « réel », mais est-ce « le réel » du « théâtre opérationnel » ? Une autre idée intéressante est de considérer comme virtuel tout ce qui n'attend qu'à se réaliser en s'actualisant. Par exemple, le « bouton de rose » qui donnera la fleur en question, ou le gland qui virtuellement préfigure le chêne : on comprend ainsi que l'enjeu est de pouvoir évaluer dans

quelle mesure l'actualisation des procédures virtuelles mises en place par le soldat à l'entraînement garantit ou non l'efficacité de la tâche, ou dans quelle mesure elle ne parvient pas à se faire, ce que l'on qualifiera comme phénomène de surcharge cognitive. Des outils et concepts comme le niveau d'immersion d'un environnement virtuel (Michaux, 2023) permet de caractériser l'impact d'une somme de caractéristiques techniques et technologiques dans la propension à persuader un opérateur qu'il est immergé dans un environnement.

Ce concept d'immersion ne permet pas de trancher si, immergé dans l'environnement, l'opérateur considère son expérience comme équivalente à la réalité. L'idée soutenue ici est de s'intéresser à la charge cognitive du soldat débarqué, laquelle nous oblige à nous poser la question de l'environnement dans lequel on cherche à la mesurer et donc du niveau de représentativité ou de validité écologique (réalisme) de la situation considérée. Peut-on dire d'un soldat qui se serait entraîné des mois durant, mais dont le comportement hautement conditionné se voit contraint de ne pas pleinement s'exprimer le moment venu en situation opérationnelle, qu'il puisse éprouver autre chose qu'un sentiment de présence paradoxal, l'amenant, par cette incongruité d'impuissance d'action, à se poser la question du réalisme d'une situation pourtant bien réelle ? La réponse passe par l'utilisation du sentiment de présence comme concept. Ce serait alors « ce sentiment de non présence » que l'on pourrait qualifier de surcharge cognitive.

Conclusion

Dans notre propos liminaire, nous avons exposé l'importance de considérer la phénoménologie de la perception, de la cognition et de l'action pour souligner que le soldat et son environnement étaient deux entités complémentaires, voire « intriquées » préfigurant l'idée que le soldat en termes de boucle perception-cognition-action « fait » autant son environnement que ce dernier « fait » le soldat. Cette première idée nous a amené à considérer que le soldat et l'environnement étaient des systèmes cognitifs à part entière et qu'ils pouvaient être appréhendés comme des entités s'auto-influençant de par leur masse cognitive, à la manière des masses en physique qui exercent à une certaine distance une force d'interaction gravitationnelle l'une sur l'autre. Cette analogie physique nous a permis de dissocier deux notions que sont la masse cognitive et le poids cognitif, qui nous semblent être à davantage développer dans nos modèles des sciences cognitives. L'idée « d'une mécanique cognitive relativiste » permettrait, non pas en tant que science, mais en tant que métaphore conceptuelle, de mieux agencer et se représenter plusieurs concepts des sciences cognitives qu'il nous reste encore à opérationnaliser en termes de mesure et de caractérisation.

Dans la suite de notre article, nous avons tenu à exposer certains concepts théoriques clés des sciences cognitives et présenter plusieurs modèles pour tenter d'envisager une opérationnalisation du concept de charge et de surcharge cognitives en termes de mesure et de caractérisation. Nous y avons présenté d'entrée de jeu l'importance de définir ce que l'on entend par charge cognitive, le fait de prendre en considération dans nos protocoles de mesures les processus de mémorisation et

Définition et mesure de la charge cognitive chez le soldat débarqué :
de la « phénoménologie de la cognition » à l'idée d'une « mécanique cognitive »

d'attention qui sous-tendent toute la mécanique de perception-cognition-action et le fait d'intégrer l'ensemble de ces considérations dans une somme de situations d'actions caractéristiques à construire que l'on déclinera autant que nécessaire. De plus, sur la validité écologique des situations d'évaluation de la charge cognitive, un écueil a été formulé pour interroger ce que l'on cherche réellement à mesurer et dans quelle mesure il est possible d'améliorer l'entraînement et éviter le biais d'actualisation en situation opérationnelle de procédures virtuellement préparées mais inadaptées. L'idée d'un concept ou indicateur d'entropie cognitive (mesure du chaos ou du désordre cognitif) a également été suggérée pour parfaire l'efficacité de procédures réduisant l'écart entre l'entraînement et la situation réelle de combat. La surcharge cognitive pourrait être appréhendée comme cette augmentation d'entropie cognitive, alors que la charge cognitive pourrait être interprétée comme cette réduction d'entropie cognitive.

Éléments de bibliographie

BELLEC Dominique et TRICOT André, « Étude des systèmes techniques en enseignement secondaire : apports de la théorie de la charge cognitive », *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, 2013, 8, p. 47-64. <https://doi.org/10.4000/rdst.761>.

CHAMBERLAND Éric, *Une analyse historique et conceptuelle des concepts de charge cognitive dans la théorie de la charge cognitive de John Sweller*. (mémoire de recherche), Téléq, Université de Québec, 2023, 202 pages (<https://t-libre.teluq.ca/3087/1/%C3%89ric%20Chamberland.pdf>).

DEPRAZ Natalie, « Attention et conscience : à la croisée de la phénoménologie et des sciences cognitives », *Alter. Revue de phénoménologie*, 18, 2010, p. 203-226. <https://doi.org/10.4000/alter.1683>.

ENDSLEY Mica R., « Situation awareness », *Handbook of human factors and ergonomics*, 2021, p. 434-455. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch17>.

GIBSON James J., *The ecological approach to visual perception*, Psychology Press, 2014, 346 pages. <https://doi.org/>.

LUYAT Marion, « Qu'est-ce que la perception ? », in LUYAT M., *La perception*, Dunod, 2014, p. 11-21.

MERLEAU-PONTY Maurice et BANNAN John F., « What is Phenomenology? », *CrossCurrents*, 6(1), 1956, p. 59-70 (<https://pdfcoffee.com/what-is-phenomenology-merleau-ponty-pdf-free.html>).

MICHAUX Romane, *Le besoin de contrôle constitue-t-il un frein à l'immersion en réalité virtuelle ? Étude des relations entre besoin de contrôle, propension à l'immersion et sentiment de présence* (mémoire), Université de Liège, 2023, 115 pages. <http://hdl.handle.net/2268.2/19189>.

MORENO Roxana et MAYER Richard, « Interactive Multimodal Learning Environments: Special Issue on Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends », *Educational Psychology Review*, 19(3), 2007, p. 309-326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>.

RASMUSSEN Jens, « Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models », *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics*, SMC-13(3), 1983, p. 257-266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>.

SLANSKIS Jean-Michel, « Philosophies et sciences cognitives », *Intellectica*, 17(2), 1993, p. 9-25 (https://intellectica.org/SiteArchives/archives/n17/n17_table.htm).

STEWART Terrence C., CHOO Feng-Xuan, et ALIASMITH Chris, « Spaun: A Perception-Cognition-Action Model Using Spiking Neurons », *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 2012, vol. 34(34), p. 1018-1023 (<https://compneuro.uwaterloo.ca/files/2012-Spaun.pdf>).

SWELLER John, AYRES Paul et KALYUGA Slava, « Intrinsic and Extraneous Cognitive Load », *Cognitive Load Theory*, Springer, 2011, 274 pages, p. 57-69. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4_5.

THEUWES Jan, « Top-Down and Bottom-Up Control of Visual Selection », *Acta Psychologica*, 135(2), 2010, p. 77-99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>.

VERGNAUD Gérard, « Piaget visité par la didactique », *Intellectica*, 33, 2002, p. 107-123. <https://hal.science/hal-03043452/document>.

VERSACE Rémy, « L'espace-temps cognitif. Introduction au volume », in VERSACE R. (dir.), « Mémoire et cognition incarnée : comment le sens du monde se construit-il dans nos interactions avec l'environnement ? », *Intellectica*, 74(1), 2021, p. 7-22. <https://doi.org/10.3406/intel.2021.1983>.

Charge cognitive en situation opérationnelle

Julie ALBENTOSA ¹ - Alexis REMIGEREAU ² - Françoise DARSEZ ³

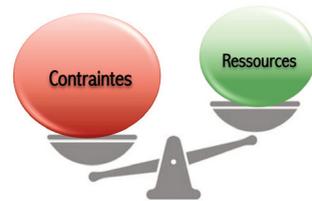
¹ Cheffe de projet de recherche en psychologie ergonomique, département Neurosciences et sciences cognitives (NSCo), Unité Ergonomie cognitive des situations opérationnelles (ECSO) de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

² Doctorant en psychologie ergonomique, département NSCo, unité ECSO, IRBA.

³ Professeur et cheffe du département Neurosciences et sciences cognitives (IRBA).

Contexte opérationnel : le cas du fantassin débarqué

Lors de ses missions, le fantassin débarqué peut rapidement supporter une charge cognitive élevée. La problématique survient lorsqu'il atteint le seuil de surcharge, caractérisé par le fait de ne plus avoir suffisamment de ressources cognitives pour répondre aux contraintes auxquelles il est confronté ⁽⁵⁾. La surcharge mène à une dégradation des performances pouvant mettre en danger le fantassin en situation opérationnelle.



Il est donc important de prendre en compte le caractère multidimensionnel de la charge cognitive, en mettant en rapport, d'une part, l'ensemble des contraintes qui pèsent sur le fantassin et, d'autre part, les ressources dont il dispose pour y faire face.

Au niveau opérationnel, le fantassin est confronté aux contraintes de sa mission (par exemple, celle de réaliser un assaut en zone urbaine), à des situations multitâches (par exemple, pour un chef de groupe, prendre une décision tactique afin de neutraliser un ennemi, répondre au chef de section à la radio et donner des ordres à ses subordonnés), ainsi qu'à des tâches complexes (par exemple, celle d'évacuer un blessé dans une zone dangereuse). La formation dont il dispose ainsi que son expérience l'aident à automatiser certaines tâches et à réduire son niveau de charge cognitive.

Au niveau technologique, les contraintes sont liées aux équipements qui sont de plus en plus sophistiqués. Cependant, grâce à la modularité des équipements, le fantassin ne peut utiliser que certaines des fonctions disponibles, selon le type de mission.

Au niveau environnemental, le climat ou encore la topographie peuvent imposer de fortes exigences. Pour y faire face, le fantassin dispose d'aides traditionnelles

telles que la carte et la boussole et s'appuie sur son endurance développée grâce à son entraînement physique.

Au niveau cognitif, le fait de devoir traiter plusieurs informations simultanément, de même modalité (i.e : visuelles) ou de modalités différentes (i.e : visuelle et auditive), nécessite de puiser dans les ressources attentionnelles.

Comment préserver l'équilibre entre les contraintes qui pèsent sur le fantassin et les ressources qu'il mobilise dans un contexte opérationnel où la surcharge cognitive peut avoir de graves impacts sur la sécurité des fantassins ?

Prévenir la surcharge en situation opérationnelle

Nous avons mené une étude, commencée en 2019, auprès des fantassins et, en particulier, des chefs de groupe débarqués qui doivent gérer leurs équipes, élaborer des stratégies tactiques et répondre aux ordres de leur chef de section. L'objectif était de créer un environnement simulé afin de mettre les chefs de groupe en situation multi-tâche pour tester l'impact du nombre de tâches et de leur modalité sur leur charge cognitive et leurs performances.

L'étude était composée de deux étapes. La première étape consistait à identifier des situations typiques qui peuvent générer une charge cognitive élevée ainsi que des tâches opérationnelles réalisées lors de ces situations, afin de concevoir des scénarios reproduisant fidèlement l'activité des chefs de groupe, dans un environnement simulé. La deuxième étape consistait à mesurer la charge cognitive des chefs de groupe dans différents types de situations simulées afin d'identifier celles dans lesquelles le seuil de surcharge était atteint.

Étape 1 : Identifier les situations typiques générant une charge cognitive élevée et les tâches opérationnelles associées

En ergonomie, Jeffroy (1987, cité par Bellemare, 1995) ⁽¹⁾ développe le concept de situation d'action caractéristique (SAC). Une SAC permet l'« identification des éléments qui structurent l'activité d'une manière caractéristique et qui peuvent être transposés dans le futur » ⁽³⁾. Il s'agit donc de situations représentatives de l'activité en contexte.

Dans le cadre du chef de groupe débarqué, des entretiens ainsi que des observations sur le terrain d'entraînement ont été menés afin d'identifier les situations typiques pouvant générer une charge cognitive élevée, voire une surcharge. Plusieurs SAC ont été identifiées, telles que le contact avec un ennemi avec ou sans ouverture de feu, des communications simultanées, ou encore un ou plusieurs équipiers blessés.

Durant chaque SAC, les chefs de groupe effectuent plusieurs tâches. Par exemple, durant la SAC « communications simultanées », ils peuvent donner un ordre de déplacement, communiquer une information, recevoir un compte rendu et s'orienter.

Charge cognitive en situation opérationnelle



Parmi toutes les SAC, quatre tâches ont été majoritairement identifiées, à savoir :

- Tâche 1 visuelle (T1) : Détecter des changements.
- Tâche 2 visuelle (T2) : S'orienter dans l'espace.
- Tâche 3 auditive (T3) : Transmettre des informations radio.
- Tâche 4 visuelle (T4) : Prendre des décisions tactiques.

Sur la base de ces quatre tâches principales des chefs de groupe débarqués durant les situations pouvant générer une charge cognitive élevée, un environnement multitâche simulé sur ordinateur a été conçu (Figure 2). Cet environnement, nommé « *Simulated Multitask Environment for the Squad leader* » (SMES) a été validé par une étude ⁽⁷⁾.

Le SMES présente l'avantage de pouvoir être utilisé pour répondre à des problématiques scientifiques en mettant les chefs de groupe en situation de réalisation de tâches.

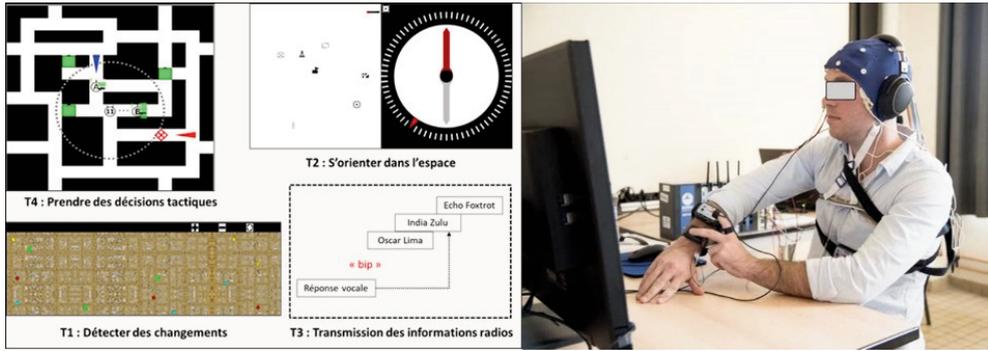


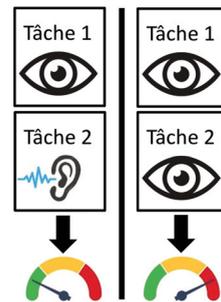
FIGURE 2. Interface du SMES (*Simulated Multitask Environment for the Squad leader*).
Présentation des quatre tâches (à gauche) ; Passation expérimentale par un chef de groupe (à droite).

Étape 2 : Mesure écologique de la charge cognitive

Une question qui est au centre des préoccupations de l'Armée de terre est de savoir quelles sont les capacités du chef de groupe débarqué, en particulier en fonction du nombre de tâches simultanées et de la modalité de ces tâches. Par exemple, est-ce que le chef de groupe qui effectue deux tâches visuelles aura suffisamment de ressources pour traiter un signal visuel supplémentaire provenant de ses équipements sans être cognitivement saturé ?

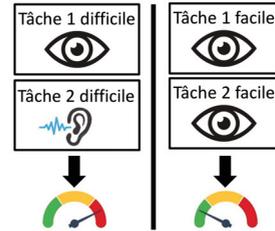
Il est communément admis que les situations multitâches composées de tâches à réaliser simultanément nécessitent d'alterner rapidement les tâches à accomplir – par exemple, quelques secondes entre des tâches concomitantes, telles que parler et conduire –, comparativement à des situations multitâches séquentielles durant lesquelles plusieurs tâches peuvent être réalisées alternativement avec une durée de changement entre les tâches qui peut aller de plusieurs minutes à plusieurs heures – par exemple, préparer un plat tout en lisant un livre peut se faire en commençant par préparer le plat puis en délaissant le plat pour lire quelques pages pour ensuite revenir à la préparation du plat, et ce de manière successive avec des allers-retours entre ces deux tâches... Réaliser simultanément des tâches exige des changements attentionnels plus fréquents que les situations multitâches séquentielles ⁽⁸⁾ et puise donc davantage dans les ressources cognitives, pouvant entraîner une dégradation des performances aux tâches. Ce type de situation multitâche est donc particulièrement intéressant à étudier chez le chef de groupe débarqué qui doit souvent réaliser plusieurs tâches simultanément.

Par ailleurs, la modalité des tâches joue un rôle important dans la génération de charge cognitive. D'après le modèle des ressources attentionnelles multiples ⁽¹¹⁾, si deux tâches sont de modalités différentes, par exemple visuelle pour l'une et auditive pour l'autre, les performances



aux tâches ne sont pas altérées grâce aux réservoirs de ressources spécifiques à chaque modalité sensorielle. En revanche, si deux tâches sont de même modalité, par exemple visuelle pour les deux, cela puise dans le même réservoir de ressources visuelles, avec un risque d'épuisement de ces ressources et de dégradation des performances aux tâches.

Morrison, Burnham et Morrison ⁽⁶⁾ ont nuancé et complété le modèle de Wickens (2002) ⁽¹¹⁾ en soulignant l'importance du niveau de charge cognitive généré par le type de tâche. Selon eux, si deux tâches sont de modalité différente mais que la charge cognitive est élevée car les deux tâches sont très difficiles, les performances peuvent tout de même être altérées. À l'inverse, dans le cas où deux tâches sont de même modalité, si ces tâches sont faciles et ne génèrent pas d'augmentation de la charge cognitive, l'individu ne sera pas cognitivement saturé même s'il puise uniquement dans le réservoir de ressources visuelles. Ses performances seront ainsi maintenues.



L'étude réalisée avec le *SMES* ⁽⁴⁾ avait pour objectif de tester l'effet du nombre de tâches simultanées et de la modalité des tâches sur la charge cognitive des chefs de groupe débarqués. Pour ce faire, une tâche principale, composée soit d'une double-tâche ou d'une triple-tâche était présentée aux chefs de groupe. Quatre conditions étaient possibles :

- Double-tâche unimodale visuelle : T4 (visuelle) + T2 (visuelle).
- Double-tâche multimodale : T4 (visuelle) + T3 (auditive).
- Triple-tâche unimodale visuelle : T4 (visuelle) + T1 (visuelle) + T2 (visuelle).
- Triple-tâche multimodale : T4 (visuelle) + T1 (visuelle) + T3 (auditive).

À ces conditions était ajoutée une tâche secondaire non symbolique, non prioritaire par rapport à la tâche principale, qui consistait à détecter un signal soit visuel (voyant lumineux), soit auditif (bip), soit tactile (vibration sur le poignet). Les performances à la tâche secondaire permettaient d'appréhender si les chefs de groupe avaient suffisamment de ressources cognitives pour détecter un signal supplémentaire ou s'ils étaient surchargés. Les niveaux subjectif et objectif de charge cognitive associés à chaque condition étaient respectivement mesurés par des questionnaires ⁽²⁾ ⁽¹⁰⁾ et par des indicateurs physiologiques issus d'un électrocardiogramme et d'un électroencéphalogramme.

Les résultats de l'étude révèlent que les chefs de groupe étaient en surcharge principalement en situation de triple-tâche mais également en double-tâche en condition multimodale (Figure 5), ce qui est contraire aux modèles cités plus haut ⁽⁶⁾ ⁽¹¹⁾ d'après lesquels la surcharge devrait plutôt survenir en situation multitâche unimodale.

Ces résultats peuvent être dus à la nature même des tâches. En situation multimodale, la tâche auditive était probablement particulièrement coûteuse car les chefs de groupe devaient garder en mémoire de travail les informations entendues au fur et à

Charge cognitive en situation opérationnelle

Modalité de la tâche secondaire	TÂCHE PRINCIPALE			
	DOUBLE-TÂCHE		TRIPLE-TÂCHE	
	UNIMODALE Visuel/Visuel T4 + T2	MULTIMODALE Visuel/Auditif T4 + T3	UNIMODALE Visuel/Visuel/Visuel T4 + T1 + T2	MULTIMODALE Visuel/Visuel/Auditif T4 + T1 + T3
Visuelle	vert	orange	rouge	orange
Auditive	vert	rouge	rouge	rouge
Tactile	vert	rouge	orange	rouge

FIGURE 5. Niveau de charge cognitive en situation multitâche unimodale et multimodale simulée avec le SMES.
NB : vert = charge faible, orange = charge élevée, rouge = surcharge.

mesure. Le coût cognitif ne serait donc pas uniquement dû au nombre de tâches simultanées et à leur modalité, mais également à leur nature qui fait mobiliser certains processus cognitifs plus ou moins coûteux.

Discussion

L'étude a permis de relever six situations de surcharge (les cases rouges de la figure 5) durant lesquelles les chefs de groupe peuvent rencontrer des difficultés pour traiter un signal supplémentaire provenant d'un de leurs équipements. Les situations les moins cognitivement saturantes se rapportent à un signal tactile dans les situations unimodales visuelles et un signal visuel dans les situations multitâches multimodales (les cases orange de la figure 5).

L'étude présente la limite d'avoir été réalisée « en laboratoire », dans un environnement très contrôlé qui permet bien d'identifier l'impact des facteurs qui ont été

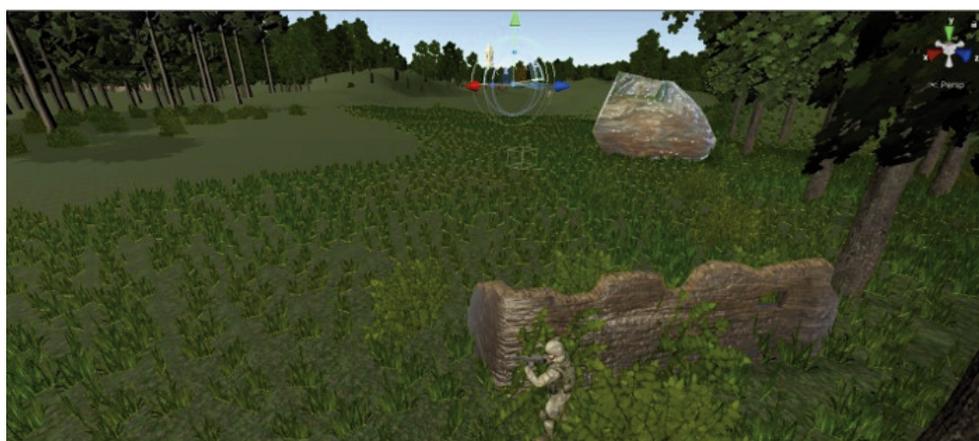


FIGURE 6. Simulated Multitask Environment for the Squad Leader (SMES+) en environnement virtuel.

choisis, mais avec des tâches relativement courtes qui ne représentent pas entièrement la complexité inhérente aux situations opérationnelles réelles et un décor minimaliste par rapport à la réalité.

Une seconde étude a donc été menée en réalité virtuelle en 2024 (figure 6), dans un contexte immersif plus enrichi, afin d'évaluer si les chefs de groupe sont cognitivement surchargés en situation multitâche multimodale (T4 + T3), avec un signal visuel ou auditif supplémentaire à détecter. Les résultats sont en cours de traitement et seront présentés dans une publication ultérieure.

Conclusion

La seconde étude menée en réalité virtuelle permettra de vérifier si, dans un environnement plus enrichi en situation multitâche multimodale, les chefs de groupes sont toujours surchargés lorsqu'ils doivent détecter un signal auditif. Nous pourrions également identifier si, comme dans l'étude en environnement sur ordinateur, ils ne seront pas surchargés pour détecter un signal visuel ou si au contraire, le fait d'être dans un environnement enrichi avec davantage d'informations leur fera atteindre le seuil de surcharge. Les résultats permettront a) d'identifier les limites des chefs de groupe en situation opérationnelle représentative de la réalité et b) de déterminer si les dispositifs de simulation sur ordinateur et en réalité virtuelle pourraient servir d'entraînement à ce type de situation, afin d'automatiser le plus possible les actions à réaliser dans le but de réduire leur charge cognitive.

Références bibliographiques

- (1) BELLEMARE Marie, GARRIGOU Alain, LEDOUX Élise et RICHARD Jean-Guy, « Les apports de l'ergonomie participative dans le cadre de projets industriels ou architecturaux », *Relations industrielles / Industrial Relations*, 50(4), p. 768-788.
- (2) CEGARRA Julien et MORGADO Nicolas, « Étude des propriétés de la version francophone du *NASA-TLX* », *EPIQUE 2009 : 5^e colloque de psychologie ergonomique*, p. 233-239.
- (3) DANIELLOU François, « L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail », in FALZON Pierre (dir.), *Ergonomie*, Presses universitaires de France (PUF), 2004, p. 359-373
- (4) DARSE F., REMIGEREAU Alexis et ALBENTOSA Julie, « Sophistication des équipements du fantassin », *Le Magazine des ingénieurs de l'armement*, 131, 2024, p. 32-33.
- (5) LEPLAT J., « Les facteurs déterminant la charge de travail », *Le Travail humain*, 40(2), 1977, p. 195-202.
- (6) MORRISON Nathalie M.V., BURNHAM Denis et MORRISON Ben W., « Cognitive Load in CrossModal DualTask Processing », *Applied Cognitive Psychology*, 29(3), 2015, p. 436-444.
- (7) REMIGEREAU A., DARSE F., DOZIAS Baptiste et ALBENTOSA J., « Design and Validation of a Simulated Multitasking Environment for Assessing the Cognitive Load on the Infantry Squad Leader », *Frontiers in Psychology*, 15, 2024.
- (8) SALVUCCI Dario D. et TAATGEN Niels A., *The Multitasking Mind*, Oxford University Press, 2011, 320 pages.
- (9) SANTIAGO-ESPADA Yamira, MYER Robert R., LATORELLA Kara A. et COMSTOCK JR James R., *The Multi-Attribute Task Battery II (MATB-II) Software for Human Performance and Workload Research: A User's Guide*, NASA, 2011.
- (10) TSANG Pamela S. et VELAZQUEZ Velma L., « Diagnosticity and Multidimensional Subjective Workload Ratings », *Ergonomics*, 39(3), 1996, p. 358-381.
- (11) WICKENS Christopher D., « Multiple Resources and Performance Prediction », *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 2002, p. 159-177.

Le contrôle cognitif du combattant débarqué : entre flexibilité et stabilité attentionnelle

Sami MECHERI

Chercheur au département Neurosciences et sciences cognitives de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

En matière de cognition, la réalisation d'une tâche requiert la sélection et l'activation d'une représentation de cette tâche qui renvoie à une configuration du système cognitif (appelée « *task-set* », Rogers et Monsell, 1995). Cette configuration est spécifique au sens où elle organise un ensemble de processus perceptifs, attentionnels, mnésiques et moteurs nécessaires pour la réaliser. Dans les environnements complexes, le maintien d'une telle configuration sous-tend la cohérence du comportement, en modulant le traitement des informations et des sorties motrices en fonction du but et du contexte, tout en inhibant les informations distrayantes. Ainsi, interagir avec son environnement sans fournir invariablement la même réponse aux mêmes stimulations, mais en articulant des traitements et des actions en adéquation avec un but, nécessite une forme de contrôle de l'activité cognitive. Ce contrôle cognitif – aussi appelé contrôle exécutif – renvoie aux processus de contrôle d'une configuration du système cognitif associée à une tâche, à savoir son établissement, son niveau d'activation, et son éventuel maintien face aux sollicitations externes.

Dans les situations opérationnelles, l'efficacité du contrôle cognitif mis en œuvre par les combattants est un facteur critique de la réussite des missions (Chérif *et al.*, 2018). Elle est singulièrement importante dans les situations débarquées (i.e. à pied), caractérisées par des environnements multitâches, incertains et changeants, au sein desquels les décisions doivent parfois être prises sous contrainte temporelle (Nibbeling *et al.*, 2014). Les situations débarquées exposent aussi les combattants à de nombreux *stimuli* inattendus en raison des informations incomplètes dont ils disposent sur le champ de bataille, ce qui leur impose, en plus de l'imprévisibilité des manœuvres ennemies, une exigence attentionnelle particulièrement élevée. À titre d'exemple, un combattant peut être amené à focaliser son attention sur les informations pertinentes pour la tâche en cours et inhiber l'orientation de son attention vers les informations perceptivement saillantes, tout en surveillant son environnement à la recherche de menaces. Pour ce faire, il doit focaliser son attention pour se prémunir des interférences susceptibles de perturber son activité, mais il doit également maintenir une

sensibilité à une profusion de *stimuli* pouvant indiquer une plus haute priorité en engageant des déplacements répétés de l'attention d'une information à une autre et/ou d'une tâche à une autre. Le contrôle cognitif exercé par le combattant débarqué se caractérise donc par une balance entre stabilité (maintien d'une configuration cognitive associée à une tâche) et flexibilité (changement de configuration) selon le caractère plus ou moins changeant du contexte : les réponses à des mêmes *stimuli* peuvent changer si de nouvelles intentions sont formées, et les réponses à des *stimuli* changeants peuvent rester constantes, si les buts sont maintenus dans le temps et dans différentes situations.

Les processus de contrôle cognitif qui sous-tendent une telle balance permettent aux combattants d'ajuster l'allocation de leurs ressources attentionnelles à l'évolution des exigences situationnelles. En psychologie et en neurosciences cognitives, ces processus ont souvent été étudiés dans le contexte des situations multitâches (Musslick et Cohen, 2021). Dans ces situations, le contrôle cognitif joue un rôle essentiel consistant à organiser les multiples traitements de l'information qui ont lieu de manière concurrente ou séquentielle pour satisfaire aux contraintes imposées par un environnement offrant diverses possibilités d'actions.

Le contrôle cognitif en situation multitâche

Le concept de situation multitâche désigne toute situation où un combattant doit mener la réalisation parallèle de deux ou plusieurs tâches. Cette définition renvoie à une multitude de situations, fréquemment rencontrées en contexte opérationnel, que l'on distingue habituellement par la façon dont se superposent les activités mentales propres à l'exécution de chaque tâche (Salvucci et Taatgen, 2011). Lorsque les tâches sont réalisées strictement simultanément, ou avec une légère asynchronie, l'exécution des tâches est dite **concurrente** (on parle alors de double-tâche, voir la figure 1). Lorsque les tâches sont réalisées les unes après les autres, l'exécution des tâches est dite **séquentielle** (on parle alors d'alternance de tâches).

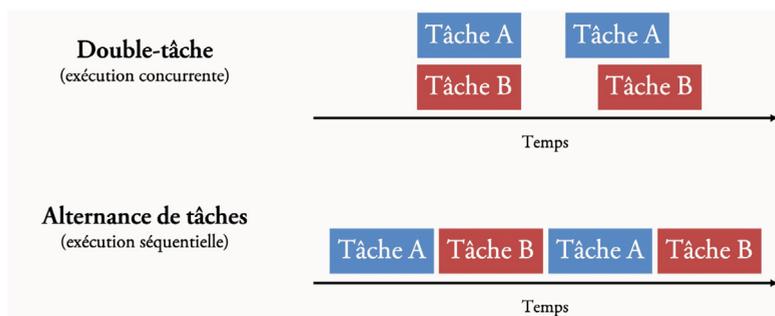


FIGURE 1 – Représentation schématique des différentes classes de situations multitâches. Dans le cas de double tâche, les tâches sont réalisées strictement simultanément ou avec une légère asynchronie. L'exécution des tâches est dite concurrente. Dans le cas de l'alternance de tâches, les tâches sont réalisées les unes après les autres. L'exécution des tâches est dite séquentielle.

Il est solidement établi que ces deux ⁽¹⁾ classes de situations multitâches (double-tâche et alternance de tâches) compromettent les performances cognitives (Salvucci et Taatgen, 2011). Dans le cas de la double-tâche, l'exécution simultanée d'une tâche principale et d'une tâche secondaire repose sur la capacité de l'opérateur à partager son attention entre les deux tâches. Hormis lorsque le traitement de ces tâches est largement automatisé, l'exécution d'au moins l'une d'entre elles se réalise de manière dégradée en raison du partage des ressources attentionnelles, qui sont par définition limitées (Wickens, 2002). Il a été proposé que la limitation des performances en situation de double-tâche soit causée par l'existence d'un goulet d'étranglement situé à un niveau central du traitement de l'information (i.e. situé entre les processus perceptifs et la sortie motrice) dont le taux d'occupation temporelle détermine le coût cognitif pour l'activité (Pashler, 1994). Dans le cas de l'alternance de tâches, le déplacement de l'attention d'une tâche à une autre entraîne un coût à la performance qui est attribué au temps nécessaire pour reconfigurer le système cognitif et/ou à l'interférence causée par l'inertie de la configuration cognitive précédente (Monsell, 2003). Bien que ces deux hypothèses – qui feront l'objet d'un développement dans une prochaine section – soient encore débattues, ce coût à la performance, traduit par une augmentation du temps de réponse et du taux d'erreurs comparativement à l'exécution répétée d'une seule et même tâche, constitue un résultat scientifique très robuste, toujours observé lorsque le moment de l'alternance est prédictible, qu'un temps de préparation est fourni avant de réaliser l'autre tâche, et que les participants sont entraînés aux tâches devant être exécutées (pour revue, voir Grange et Houghton, 2014). Cet ensemble de preuves comportementales montre que le coût cognitif inhérent à l'alternance de tâches forme un autre facteur de limitation de la performance cognitive des combattants en situation multitâche, lui aussi lié à l'architecture du système cognitif. Ainsi, si la double-tâche est un paradigme ayant été communément utilisé pour étudier le contrôle cognitif et la surcharge cognitive dans les situations militaires, nous portons intérêt dans la suite de cet article à la contrainte d'alternance de tâches et aux paradigmes permettant de mesurer ses effets afin de fournir une vision plus complète des mécanismes contributifs de la dégradation des performances en situation multitâche.

Les paradigmes d'alternance de tâches

Les paradigmes d'alternance de tâches permettent d'isoler les processus de contrôle cognitif – en particulier attentionnel ⁽²⁾ – impliqués lorsqu'un participant opère un changement de but interne. Un paradigme classiquement utilisé est le

⁽¹⁾ Notons, pour rigoureusement caractériser la diversité des situations multitâches, qu'une troisième classe de situation multitâche existe : l'interruption de tâche. Elle correspond à la suspension temporaire d'une tâche en cours, généralement déclenchée par l'obligation d'en exécuter une autre de plus grande priorité. Dans le cas d'une interruption de tâche, le passage de la tâche principale à la tâche interruptive entraîne un déficit cognitif qui résulte de la récupération des objectifs liés à la tâche interrompue (Altmann et Trafton, 2002). Lorsque l'interruption est terminée, les objectifs de la tâche principale doivent être récupérés en mémoire et réactivés. Ces opérations cognitives entraînent un coût cognitif qui entrave temporairement l'exécution de la tâche principale au moment de sa reprise et affectent négativement la performance.

⁽²⁾ Si le contrôle cognitif renvoie à l'ensemble des processus qui participent à configurer le traitement de l'information pour accomplir la ou les tâches qui incombent à un individu (dont ceux qui sous-tendent l'ajustement des seuils de sensibilité aux stimuli cibles et distracteurs), il est entendu par contrôle attentionnel les processus activement mobilisés pour organiser les ressources attentionnelles d'une manière particulière pour la tâche en cours (Ritz et Shenhav, 2023).

paradigme de tâches indicées (*task-cueing paradigm*, Meiran, 1996) dans lequel des participants doivent réaliser (ou non) des alternances entre une tâche A et une tâche B à la suite d'une instruction (appelée indice). À chaque essai, un indice est présenté avant l'apparition du *stimulus* et indique quelle est la tâche à réaliser (voir figure 2). Le plus souvent, les essais sont présentés en série et organisés en trois blocs expérimentaux : I) un bloc « pur » dans lequel une tâche A est requise à chaque essai, II) un bloc « pur » dans lequel une tâche B est requise à chaque essai, III) un bloc « mixte » dans lequel les tâches A et B sont aléatoirement requises en fonction de l'indice présenté. Cette organisation permet de catégoriser les essais réalisés par les participants en trois classes : « tâche simple », « répétés » et « alternés ». Les essais « tâche simple » correspondent aux essais présentés dans les blocs purs, où les participants sont plongés dans un contexte situationnel monotâche. Les essais « alternés » et « répétés » correspondent aux essais présentés dans les blocs mixtes, où les participants sont plongés dans un contexte situationnel multitâche. Ils sont définis par voie de dépendance à l'essai qui les précède : si la tâche réalisée à l'essai n-1 diffère de celle réalisée à l'essai n, alors l'essai n est un essai « alterné ». Si la tâche réalisée à l'essai n-1 est identique à celle réalisée à l'essai n, alors l'essai n est un essai « répété ».

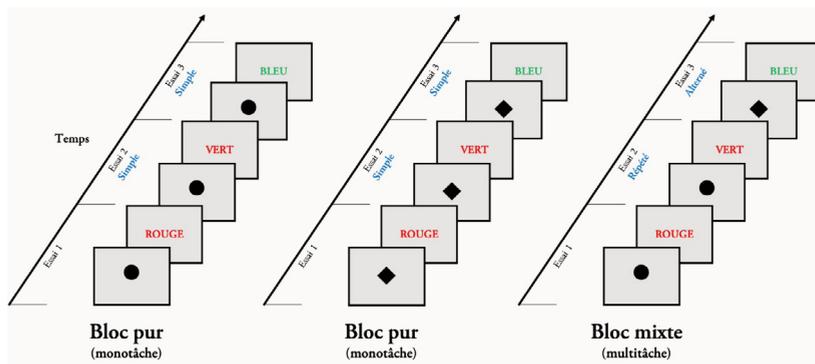


FIGURE 2 – Paradigme d'alternance de tâches indicées. Chaque essai est composé de la présentation d'un indice (« point » ou « losange ») indiquant quelle est la tâche à exécuter (point = tâche de lecture ; losange = tâche de couleur), suivie de la présentation des stimuli auquel les participants doivent répondre. Dans les blocs purs, une seule et même tâche est requise tout au long des essais (à gauche : la tâche de lecture ; au milieu : la tâche de couleur). Dans les blocs mixtes, les tâches de lecture et de couleur sont aléatoirement requises en fonction de l'indice présenté en début d'essai.

Ce paradigme présente l'avantage de constituer des situations très standardisées : les *stimuli* composant les environnements de chaque tâche et les exigences relatives à la sélection de la réponse sont équivalents à tous les essais et les effets de différents facteurs sur la performance cognitive peuvent être rigoureusement examinés. Typiquement, il est exigé des participants qu'ils répondent « le plus rapidement possible mais sans sacrifier la justesse de leurs décisions » à un ensemble spécifique de *stimuli* (chiffres, mots, formes) en appuyant sur une touche selon des règles arbitraires (e.g. « appuyer sur la touche de gauche si la forme présentée est un cercle ou sur la

touche de droite si la forme présentée est un carré »). Dans la plupart des études, les tâches utilisées dans ces paradigmes sont des tâches arithmétiques, d'identification ou de catégorisation relativement simples (Monsell, 2005). À titre d'exemple, l'alternance de tâches peut consister à présenter un chiffre se situant entre 1 et 9 (excepté 5) et à demander aux participants de juger si le chiffre est pair ou impair (tâche de parité) ou si ce chiffre est inférieur ou supérieur à 5 (tâche de magnitude). Dans d'autres cas, elle peut consister à présenter simultanément deux chiffres et à demander aux participants de les additionner (tâche d'addition) ou de les multiplier (tâche de multiplication). Il convient aussi de mentionner – pour la suite de l'exposé – qu'il peut être demandé aux participants de répondre à des *stimuli* impliquant un fort conflit entre les tâches. Comme l'illustre la figure 2, un exemple classique est les *stimuli* de Stroop (1935), pour lesquels les participants doivent alterner entre nommer le mot présenté (tâche de lecture) et nommer la couleur dans laquelle le mot est présenté (tâche de couleur). Étant donné que ces *stimuli* activent les configurations cognitives rattachées à ces deux tâches, les deux schémas d'action entrent en conflit. Dans la tâche de couleur, ce conflit cause une considérable augmentation des temps de réponse et des taux d'erreur lorsque l'information pertinente pour la tâche (la couleur du mot) et l'information non pertinente pour la tâche (l'identité du mot) sont associées à des réponses différentes (e.g. le mot « vert » coloré en rouge), relativement aux essais dans lesquels les réponses associées aux deux tâches sont identiques (e.g. le mot « rouge » coloré en rouge). Ces résultats montrent que les informations situationnelles non pertinentes (i.e. associées à la tâche non actuellement requise) interfèrent avec le traitement cognitif de la tâche en cours du fait de la compétition entre les deux schémas d'action.

Au total, indépendamment de la notion de conflit, ces paradigmes visent à quantifier les coûts cognitifs induits par l'alternance de tâches parce qu'ils sont considérés comme une mesure indirecte des processus de contrôle impliqués dans l'établissement d'une nouvelle configuration cognitive lorsque plusieurs tâches doivent être séquentiellement exécutées.

Les coûts associés à la flexibilité attentionnelle

Les coûts cognitifs observés au moyen des paradigmes d'alternance de tâches représentent une mesure indirecte de l'efficacité des processus de contrôle impliqués dans l'alternance entre deux tâches. En cela, ils permettent d'apprécier les coûts associés à la flexibilité attentionnelle (Gedder et Egner, 2022). Pour déterminer ces coûts, les performances obtenues aux trois classes d'essais précédemment établies sont comparées afin de quantifier les impacts au plan du contrôle cognitif liés à l'exécution alternée de deux ou plusieurs tâches.

Une première mesure, appelée coût d'alternance (*switch cost*), constitue une mesure des processus directement impliqués lors de la transition d'une tâche à une autre (voir figure 3). Elle correspond à la différence de performance entre les essais « alternés » et les essais « répétés » présentés à l'intérieur des blocs mixtes (i.e. comprenant deux tâches différentes). Le coût d'alternance reflète donc les opérations de contrôle attentionnel intervenant localement, à chaque fois que la transition d'une

tâche à une autre est requise. Une seconde mesure, appelée coût mixte (*mixing cost*), constitue une mesure plus englobante de la contrainte d'alternance de tâches. Elle correspond à la différence de performance entre les essais « répétés » présentés à l'intérieur des blocs mixtes, et les essais « tâche simple » présentés à l'intérieur des blocs purs (i.e. comprenant une seule tâche). Le coût mixte n'est donc pas calculé par comparaison aux moments de transition d'une tâche à une autre. Il reflète l'implication d'autres processus impliqués dans l'instauration d'un état de préparation aux différentes tâches pouvant être requises dans le contexte multitâche. Cet état de préparation entraîne un coût cognitif qui lui est propre, pour assurer le maintien relativement actif chez l'opérateur des multiples configurations cognitives associées aux différentes tâches composant les blocs mixtes.

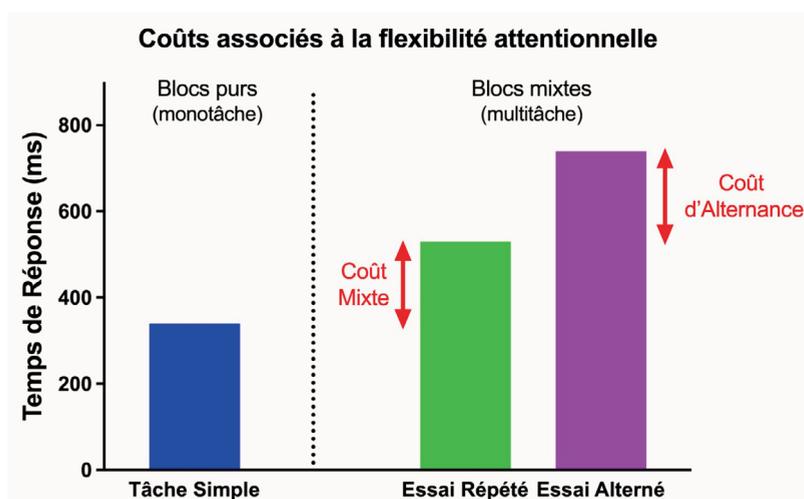


FIGURE 3 – Représentation des coûts associés à la flexibilité attentionnelle (en temps de réponse) dans un paradigme d'alternance de tâches. Pour quantifier le coût mixte (*mixing cost*), les performances (temps de réponse et taux d'erreur) obtenues aux essais « tâche simple » (présentés dans les blocs purs) et aux essais « répétés » (présentés dans les blocs mixtes) sont comparées. Pour quantifier le coût d'alternance (*switch cost*), les performances (temps de réponse et taux d'erreur) obtenues aux essais « alternés » (présentés dans les blocs mixtes) et aux essais « répétés » (présentés dans les blocs mixtes) sont comparées.

Le coût d'alternance et le coût mixte reflètent donc des processus de contrôle cognitif qui opèrent à des niveaux différents. Le coût mixte reflète des processus opérant à un niveau global, alors que le coût d'alternance reflète des processus opérant localement lors de la transition d'une tâche à l'autre. L'intérêt de mener une analyse conjointe de ces deux coûts est de capturer l'ensemble des processus de contrôle qui sous-tendent la flexibilité en situation multitâche : des processus transitoires survenant spécifiquement lors de l'alternance d'une tâche à une autre, aux processus durables correspondant au rehaussement du niveau d'activation et d'effort mental relativement aux situations monotâche (Rubin et Meiran, 2005).

Théorie du coût d'alternance

Les hypothèses théoriques proposées pour expliquer l'origine causale du coût d'alternance se divisent principalement en deux catégories : 1) l'hypothèse de reconfiguration et 2) l'hypothèse d'interférence.

1) D'après l'hypothèse de reconfiguration (Rogers et Monsell, 1995), le coût d'alternance proviendrait de la nécessité de reconfigurer le système cognitif lors de la transition d'une tâche à une autre. La reconfiguration du système cognitif se réfère au mécanisme par lequel un individu peut activer les éléments pertinents pour la tâche en cours et inhiber les éléments se rapportant à la tâche précédente, devenus non pertinents. Ce processus de reconfiguration est nécessaire uniquement aux essais alternés pour assurer l'établissement de la configuration nécessaire à la réalisation de la tâche nouvellement requise, ce qui explique l'allongement des temps de réponse dans cette condition (voir figure 4). Dans cette perspective, le coût d'alternance traduit le recrutement de processus de contrôle exécutifs intervenant dans la reconfiguration du système cognitif en raison du fait que la configuration préalablement établie n'est plus adaptée. Sur le plan empirique, cette hypothèse est appuyée par toute une ligne de recherches montrant un effet du temps de préparation sur la magnitude du coût d'alternance. Dans les paradigmes de tâches indicées, le temps de préparation correspond à l'intervalle temporel séparant le moment d'apparition de l'indice et le moment d'apparition du *stimulus*. Lorsque ce temps est manipulé, on observe que la magnitude du coût d'alternance varie en fonction du temps de préparation alloué aux participants : plus les participants possèdent de temps pour effectuer la reconfiguration, moins celle-ci retarde l'exécution de la tâche.

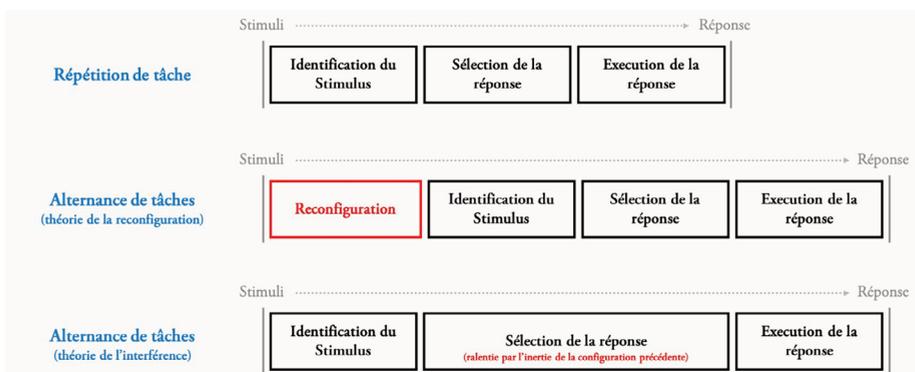


FIGURE 4 – Hypothèses émises quant à l'origine causale du coût d'alternance. D'après l'hypothèse de reconfiguration, le coût d'alternance proviendrait de la nécessité de reconfigurer le système cognitif. Dans cette perspective, la séquence des processus cognitifs permettant d'exécuter une tâche nouvellement requise est augmentée d'une étape. D'après l'hypothèse d'interférence, le coût d'alternance proviendrait de l'inertie de la tâche précédente qui interfère avec la tâche en cours. Dans cette perspective, la séquence des processus cognitifs permettant d'exécuter une tâche nouvellement requise est structurellement inchangée, mais au moins une étape (e.g., l'étape de sélection de la réponse) est prolongée.

2) D'après l'hypothèse d'interférence, le coût d'alternance proviendrait du phénomène d'inertie de la tâche précédente, qui interférerait avec le traitement de la tâche nouvellement requise (Allport *et al.*, 1994). Dans cette perspective, le coût d'alternance n'est pas causé par la nécessité de reconfigurer le système cognitif, mais par l'activation résiduelle du schéma d'action précédent qui prendrait la forme d'un effet d'interférence qui se dissipe passivement avec le temps. En d'autres termes, une fois qu'un schéma d'action est sélectionné, la configuration cognitive qui lui est associée demeure activée pendant un certain moment, créant ainsi de l'interférence lorsque le participant doit réaliser une autre tâche. Cette hypothèse a reçu un fort soutien empirique des études ayant montré l'existence de coûts d'alternance asymétriques (i.e. différents selon la direction de l'alternance : tâche A->tâche B, ou tâche B->tâche A). Le cas des tâches de Stroop en est une parfaite illustration. Alternier de la tâche de couleur du mot (peu automatisée) vers la tâche de lecture du mot (très automatisée chez les lecteurs réguliers) produit un coût d'alternance significativement plus important que l'autre direction d'alternance. Il a été proposé que cette asymétrie relève du plus haut degré de contrôle devant être exercé lors de l'exécution de la tâche couleur, à l'essai précédent, pour contrer la réponse consistant à lire le mot et ainsi gérer le conflit avec la tâche de lecture qui lui est dominante du fait du caractère irrépressible de la lecture. Un tel degré de « *focus* » attentionnel pendant l'exécution de la tâche de couleur conduit, au moment où la tâche de lecture est requise, à ce que la configuration cognitive associée à la tâche de lecture soit tellement inhibée qu'une plus grande durée est nécessaire pour rehausser son niveau d'activation et permettre son exécution.

En l'état actuel des connaissances, il est de plus en plus admis que les phénomènes relatifs à ces deux hypothèses participent au coût d'alternance (Grange et Houghton, 2014). Il a en effet été montré que la magnitude du coût d'alternance varie en fonction du temps de préparation alloué aux participants ainsi qu'en fonction du temps alloué à la dissipation de l'interférence causée par l'activation résiduelle de la tâche précédente. Le coût d'alternance a donc (au moins) une double origine causale, tenant à la fois au temps nécessaire au déploiement des processus de reconfiguration du système cognitif et au temps nécessaire pour que l'interférence causée par la configuration cognitive précédente se dissipe.

Le dilemme stabilité-flexibilité

Les modèles de contrôle cognitif s'accordent sur le fait qu'un plus haut degré de contrôle attentionnel exercé sur une tâche (i.e. la force du maintien exercé sur une configuration cognitive) installe une plus grande stabilité cognitive qui conduit en général à une meilleure performance (Musslick et Cohen, 2021). En dépit de ce bénéfice, les études menées en laboratoire montrent que les participants s'abstiennent en général d'allouer un haut degré de contrôle lorsqu'ils exécutent une tâche, sauf à être récompensés pour cela. Dès lors, il peut être permis de se demander pourquoi les participants n'engagent pas routinièrement un haut degré de contrôle à une tâche dans laquelle ils sont pourtant déjà engagés. La raison tient au même phénomène que celui causant les coûts d'alternance asymétriques : plus le contrôle attribué à une tâche est

Le contrôle cognitif du combattant débarqué : entre flexibilité et stabilité attentionnelle

élevé, plus il est difficile et coûteux d'alterner vers une autre tâche. Ce constat met en lumière le dilemme stabilité-flexibilité auquel sont confrontés les combattants, et qu'ils doivent perpétuellement régler, pour déployer une activité cognitive leur permettant de répondre aux exigences opérationnelles. Un mauvais ajustement de l'équilibre stabilité-flexibilité peut se traduire par un comportement trop rigide ou trop distrait, tous deux délétères à la sécurité des combattants et des missions. Il est donc important d'examiner la manière dont cet équilibre peut être régulé et de se doter d'outils permettant de le mesurer.

Au laboratoire, des mesures de la stabilité et de la flexibilité attentionnelle peuvent être recueillies au moyen des paradigmes d'alternance de tâches indicées (voir figure 5). Comme déjà mentionné, dans ces paradigmes, la flexibilité attentionnelle est évaluée à partir de l'efficacité des processus de contrôle permettant de passer d'une tâche à une autre. Le coût d'alternance (différence de performance entre les essais « alternés » et « répétés ») représente donc une mesure inverse de la flexibilité cognitive : moins le coût d'alternance est élevé, plus la flexibilité cognitive est grande. Pour caractériser la stabilité attentionnelle, la mesure utilisée est le « coût d'incongruence ». Dans le cas des tâches de Stroop, ce coût correspond à la différence de taux d'erreur et/ou de temps de réponse entre les essais incongruents (i.e. différentes réponses dans la tâche de lecture et la tâche de couleur) et congruents (i.e. même réponse dans la tâche de lecture et la tâche de couleur). Plus l'incongruence affecte un participant, moindre est sa stabilité cognitive, au sens où il ne résiste que peu aux interférences émanant des informations non pertinentes pour la tâche en cours.

Existe-t-il un état de contrôle cognitif idéal ? Est-il préférable d'être plus stable ou plus flexible ? Sur le plan opérationnel, une dimension cruciale à aborder en réponse à cette question est celle de l'état de contrôle qui exige le plus d'efforts et de ressources

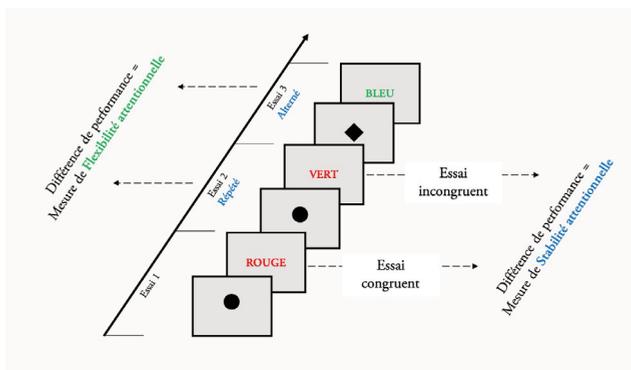


FIGURE 5 – Mesures de stabilité et de flexibilité attentionnelle au sein d'un paradigme de tâches indicées. La flexibilité attentionnelle est évaluée à partir de la différence de performance entre les essais « alternés » et « répétés » (i.e., coût d'alternance). Moins le coût d'alternance est élevé, plus la flexibilité cognitive est grande. La stabilité attentionnelle est évaluée à partir de la différence de performance, au sein des essais « répétés », entre les essais incongruents (différentes réponses dans la tâche en cours et la tâche concurrente) et congruents (même réponse dans la tâche en cours et la tâche concurrente).

mentales. Même sous ce seul angle, donner réponse à cette question n'est pas aisée. En effet, bien que l'alternance de tâches entraîne un coût cognitif, dans un contexte où les buts ou la situation évoluent fréquemment, le cumul de ces coûts pourrait être inférieur aux coûts nécessaires pour continuellement protéger le système cognitif contre les informations distrayantes qui lui parviennent. Au contraire, si certains contextes offrent aux combattants un contrôle total de l'évolution de la situation, il peut devenir opportun de ne pas se placer en capacité de pouvoir assouplir les buts en réponse aux changements situationnels et ce, afin de réduire l'influence des distractions provenant de l'environnement et ainsi faciliter le maintien de l'objectif poursuivi. Comme l'illustrent ces exemples, ni une stabilité ni une flexibilité élevée ne sont intrinsèquement préférables ; c'est la capacité du combattant à adapter son niveau de stabilité ou de flexibilité au contexte – c'est-à-dire à mettre en œuvre un « contrôle cognitif stratégique », modulant son habileté à détecter et répondre aux changements – qui est cruciale pour évoluer avec efficacité et sécurité dans les milieux opérationnels.

Enjeux pour la recherche au service du combattant

En ouverture de cet article, nous indiquions que l'action orientée vers un but dans les situations débarquées, caractérisées par des environnements multitâches, changeants et incertains, nécessite de trouver une balance entre des exigences cognitives antagonistes. D'une part, les combattants doivent maintenir et protéger les objectifs liés à la tâche en cours pour se prémunir des informations distrayantes (stabilité attentionnelle). D'autre part, ils ont besoin de rapidement reconfigurer leur système cognitif pour effectuer une tâche nouvellement requise à la suite d'un changement de l'environnement et/ou de but interne (flexibilité attentionnelle). Bien que le contrôle cognitif donne lieu à une adaptation de l'activité cognitive permettant d'y faire face, cette flexibilité consistant à alterner entre plusieurs tâches s'accompagne de coûts à la performance, traduits par une augmentation du temps de réponse et du taux d'erreurs comparativement à l'exécution répétée d'une seule et même tâche. Dans les situations débarquées, cette contrainte d'alternance se retrouve renforcée par la nécessité d'exécuter des actes élémentaires et réflexes dont les configurations cognitives sont très distinctes (e.g. rendre compte, progresser, mettre en œuvre son armement), exigeant le recrutement de processus de contrôle qui réorganiseront les ressources attentionnelles pour l'acte en cours mais limiteront la performance. Il est donc crucial de mieux comprendre la manière dont les combattants mettent en œuvre un contrôle attentionnel adapté aux exigences situationnelles et de documenter quelles peuvent être les conséquences d'une altération de ce contrôle sur les décisions qu'ils prennent « en contexte », afin de les prévenir.

À cette visée, trois lignes de recherche nous semblent devoir être favorisées. Premièrement, malgré la quantité de travaux ayant porté sur le contrôle cognitif, les effets néfastes de l'alternance de tâches ont souvent été étudiés au moyen de tâches et de stimuli simples, peu représentatifs des propriétés informationnelles des environnements débarqués. Une première disparité tient au fait que la confrontation à des stimuli simples (chiffres, mots, formes) et statiques implique peu d'informations à traiter en

mémoire de travail, contrastant avec les situations débarquées qui contiennent une profusion d'informations pertinentes et non pertinentes pouvant excéder les capacités attentionnelles. Une autre disparité tient à l'utilisation de *stimuli* pour lesquels la réponse à produire est univoque et non ambiguë, alors que les combattants prennent souvent des décisions à partir d'informations « bruitées » ou dégradées (vues obstruées, camouflées, faiblement illuminées). Ces disparités entravent la généralisation des résultats actuellement disponibles aux situations militaires, et indiquent d'examiner les performances d'alternance de tâches avec des stimuli qui reflètent davantage les exigences cognitives imposées par ces situations, en incorporant des stimuli complexes, dynamiques et « bruités ».

Deuxièmement, les travaux portant sur le contrôle cognitif se sont attachés à employer des tâches que l'on pourrait qualifier de purement cognitives, au sens où elles n'impliquent pas de dimension motrice (en dehors d'un appui touche). Si cette approche est pertinente pour isoler les processus de contrôle cognitif de tout facteur susceptible de les influencer, la conséquence est que l'activité cognitive analysée est réduite à des processus de contrôle détachés de l'action à entreprendre, la rendant peu transférable aux situations réelles. Eu égard à la forte intrication entre les processus cognitifs et moteurs dans les situations débarquées, analyser le contrôle cognitif au sein de protocoles préservant la relation fonctionnelle cognition/action permettra d'identifier des marqueurs comportementaux de l'efficacité du contrôle cognitif, ouvrant vers des méthodes d'optimisation et des contre-mesures.

Troisièmement, un fort intérêt applicatif réside dans l'investigation des mécanismes – très peu explorés à ce jour – régissant la régulation du compromis entre stabilité attentionnelle et la flexibilité attentionnelle. En particulier, l'élucidation de quelles sont les informations exploitées par un combattant pour réguler ce compromis, et de quelle est la durée pendant laquelle un combattant peut réguler ce dernier en réponse à une bonne sensibilité au contexte.

Par un tel programme, nous pensons que de futurs travaux permettront des avancées significatives dans la compréhension du contrôle cognitif mis en œuvre par les combattants, en réduisant la distance instaurée entre le laboratoire et les situations opérationnelles par des simplifications excessives des modalités d'interaction combattant/contexte. Il existe là tout un axe de recherches à explorer dont les retombées seront mises au service du combattant.

Le contrôle cognitif du combattant débarqué : entre flexibilité et stabilité attentionnelle

Éléments de bibliographie

- ALLPORT Alan, STYLES Elizabeth A. et HSIEH Shulan, « Shifting Intentional Set: Exploring the Dynamic Control of Tasks », in UMLITA Carlo et MOSCOVITCH Morris (dir.), *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing*, MIT Press, 1994, p. 421-452.
- ALTMANN Erik M. et TRAFTON J. Gregory, « Memory for Goals: An Activation-Based Model », *Cognitive Science*, 26(1), 2002, p. 39-83.
- CHERIF Lobna, WOOD Valerie, MAROIS Alexandre, LABONTÉ Katherine et VACHON François, « Multitasking in the military: Cognitive consequences and potential solutions », *Applied Cognitive Psychology*, 32(4), 2018, p. 429-439.
- GEDDERT Raphael et EGNER Tobias, « No Need to Choose: Independent Regulation of Cognitive Stability and Flexibility Challenges the Stability-Flexibility Trade-Off », *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(12), 2022, p. 3009-3027.
- GOSCHKE Thomas, « Intentional Reconfiguration and Involuntary Persistence in Task Set Switching », in MONSELL Stephen et DRIVER Jon (dir.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes*, MIT Press, 2000, p. 331-355.
- GRANGE James A. et HOUGHTON George (dir.), *Task Switching and Cognitive Control*, Oxford University Press, 2014.
- MEIRAN Nachshon, « Reconfiguration of Processing Mode Prior to Task Performance », *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(6), 1996, p. 1423-1442. <https://tzin.bgu.ac.il/>
- MONSELL S., « Task Switching », *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 2003, p. 134-140.
- MUSSLICK Sebastian et COHEN Jonathan D., « Rationalizing Constraints on the Capacity for Cognitive Control », *Trends in Cognitive Sciences*, 25(9), 2021, p. 757-775.
- NIBBELING Nicky, OUDEJANS Raoul R.D., UBINK Emiel M. et DAANEN Hein A., « The Effects of Anxiety and Exercise-Induced Fatigue on Shooting Accuracy and Cognitive Performance in Infantry Soldiers », *Ergonomics*, 57(9), 2014, p. 1366-1379.
- PASHLER Harold, « Dual-task interference in simple tasks: Data and theory », *Psychological Bulletin*, 116(2), 1994, p. 220-244. https://laplab.ucsd.edu/articles/Pashler_PB1994.pdf.
- RITZ Harrison et SHENHAV Amitai, « Humans Reconfigure Target and Distractor Processing to Address Distinct Task Demands », *Psychological Review*, 131(2), 2024, p. 349-372.
- ROGERS Robert D. et MONSELL S., « Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks », *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 1995, p. 207-231.
- RUBIN Orit et MEIRAN Nachshon, « On the Origins of the Task Mixing Cost in the Cuing Task Switching Paradigm », *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 31(6), 2005, p. 1477-1491.
- SALVUCCI Dario D. et TAATGEN Niels A., *The Multitasking Mind*, Oxford University Press, 2011.
- STROOP J. Ridley, « Studies of Interference in Serial Verbal Reactions », *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 1935, p. 643-662.
- WICKENS Christopher D. « Multiple Resources and Performance Prediction », *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 1995, p. 159-177.

Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

Fabien SAUVET ^(a), Anaïs PONTIGGIA ^(b), Danielle GOMEZ-MERINO ^(c)
et Mounir CHENNAOUI ^(d)

(a) Médecin en chef, chef du département Environnements opérationnels de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), unité de recherche URP 7330 VIFASOM (Vigilance fatigue sommeil et santé publique), Université Paris Cité.

(b) Aspirant, IRBA, doctorante, URP 7330 VIFASOM, Université Paris Cité.

(c) Unité de recherche URP 7330 VIFASOM, Université Paris Cité.

(d) Directeur scientifique et technique de l'IRBA, co-directeur de l'équipe de recherche URP 7330 VIFASOM, Université Paris Cité.

Les opérateurs de systèmes d'armes modernes, notamment dans les domaines de l'avion de combat, des véhicules sans pilotes (« drones ») ou des postes de commandements, sont confrontés à une charge de travail mental (*mental workload*) de plus en plus élevée. Les différents sous-systèmes induisent des afflux concomitants d'informations numériques, des stimuli visuels et auditifs, des tâches de planification et des prises de décision, imposant la réalisation de tâches multiples et complexes. Les progrès rapides et convergents dans des domaines tels que la robotique, les technologies de l'information et l'Intelligence artificielle (IA) continueront d'avoir un impact sur le champ de bataille de demain. Les humains dans les environnements opérationnels travailleront avec des systèmes plus complexes, où la performance multitâche devient une question importante. Les effets de ces technologies seront surtout ressentis par les combattants au niveau tactique, avec des exigences cognitives croissantes associées à l'emploi et à l'utilisation de nouvelles capacités ^[1].

Dans les situations opérationnelles à haute intensité et contraintes temporelles, le traitement de tâches multiples et les prises de décision rapides peuvent favoriser l'apparition de périodes de surcharge mentale, caractérisées par une diminution des performances cognitives malgré l'augmentation de la contrainte. Ces périodes sont associées à des réductions des performances opérationnelles et une augmentation des risques d'accident ^[2].

La détection de ces périodes est un enjeu pour la sécurité, la formation, la détection et la mise au point de stratégies protectrices. La surveillance en temps réel de

la charge de travail mental est une étape cruciale dans la construction des systèmes d'armes et le développement de systèmes d'assistance adaptatifs pour les systèmes homme-machine. De nombreuses études ont été menées afin de mettre au point des algorithmes de détection à partir de signaux électrophysiologiques [3]. En effet, l'évaluation des performances cognitives peut être réalisée à partir de l'analyse de signaux reflétant l'activité du système nerveux central tels que l'électroencéphalogramme (EEG) et l'électrooculogramme (EOG), ainsi que des mesures de l'activité du système nerveux autonome ou de paramètres physiologiques tels que la fréquence cardiaque, la variabilité de la fréquence cardiaque (*HRV*), l'activité électrodermale, la variabilité des réponses respiratoires ou l'électromyographie [4].

L'enregistrement « *monitoring* » de ces paramètres électrophysiologiques en laboratoire, permet aujourd'hui de détecter ces périodes de surcharges cognitives, avec un haut niveau de performance. De nombreux travaux, faisant appel à des outils mathématiques, d'IA ou d'apprentissage automatique (*machine learning*), ont permis la mise au point d'outils performants de détection et de prédiction des périodes de surcharge cognitive.

Cependant, la plupart des travaux de modélisation de la charge de travail mental se sont principalement appuyés sur des données recueillies lorsque les participants sont au repos, dans des conditions « non stressantes » dites « standard ». Or, dans les conditions opérationnelles ou d'entraînement, les militaires sont souvent confrontés à la réalisation des tâches cognitives complexes et multiples, dans des conditions de contraintes physiologiques, telles que l'hypoxie, le manque de sommeil, les accélérations pour les pilotes, l'exercice physique, la chaleur, etc. [5, 6].

Plusieurs études menées avec des simulateurs de vols ou avec des tâches cognitives associées, sous différentes contraintes physiologiques [7-9], ont mis en évidence une majoration de la charge cognitive, induisant une augmentation globale de la charge de travail et une modification des réponses électrophysiologiques [10]. Ces contraintes physiologiques induisent également, par elles-mêmes, des effets sur les réponses électrophysiologiques, parfois même supérieurs aux effets de l'augmentation de la charge de travail mental, ce qui diminue la performance des algorithmes. L'évaluation de la charge de travail mental et cognitive, dans des environnements physiologiques de laboratoire ou de terrain, est donc nécessaire pour évaluer les capacités des opérateurs et éviter les périodes de surcharges lorsqu'ils seront en situation opérationnelle. Les réponses physiologiques et électrophysiologiques induites par les contraintes physiologiques doivent également être prises en compte lors de la conception d'un modèle prédictif de la surcharge mentale (Figure 1).

Réalisation de tâches cognitives multiples sous contraintes physiologiques

L'environnement hypoxique

L'oxygène (O_2), est nécessaire au bon fonctionnement des processus physiologiques et cognitifs [11, 12]. L'exposition à des environnements de haute altitude induit une diminution de la pression partielle de l' O_2 (PO_2) dans l'air atmosphérique, ce qui

Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

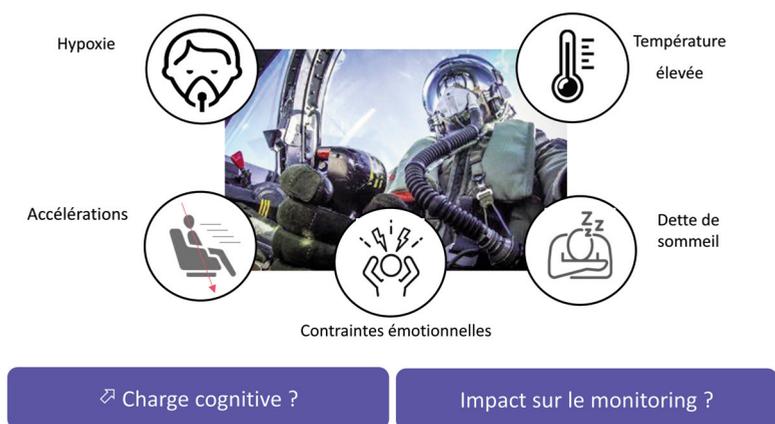


FIGURE 1 : Représentation des contraintes physiologiques auxquelles sont exposés les pilotes.

est potentiellement délétère pour la cognition [5, 13, 14]. Dans le milieu aéronautique, au-delà de 14 000 pieds (4 260 m), l'administration d'oxygène est une mesure protectrice obligatoire. En effet, l'exposition brutale, sans acclimatation ou apport d'oxygène à des altitudes supérieures, expose à des altérations majeures des fonctions cognitives et à la perte de conscience.

Les avions de transport civils et militaires sont pressurisés afin que soient conservés en cabine des conditions d'altitude en deçà de 2 500 m. Cependant, pour les avions de chasse, lors de vols en très haute altitude, l'altitude cabine peut dépasser 10 000 pieds (3 048 m). D'autres aéronefs militaires, tels que les hélicoptères ou certains avions légers, ne sont pas pressurisés. Ainsi, dans des conditions d'hypoxie modérée (entre 10 000 pieds = 3 048 m et 13 000 pieds = 3 962 m), une diminution des performances et une augmentation de la charge de travail mental sont observées lors de la réalisation de tâches cognitives multiples [15-17]. De plus, la dette de sommeil majore la dégradation des performances cognitives et l'augmentation de la charge de travail mental induites par l'hypoxie [16,18]. Ces travaux récents ont mis en évidence un effet additif des contraintes combinées (hypoxie et privation de sommeil), fréquemment rencontrées par les pilotes, sur la charge de travail mental.

Les accélérations

Les opérateurs d'avion de chasse sont amenés à exercer leurs missions de façon isolée et pendant des temps à poste très longs, dans des situations complexes et contraignantes pour l'organisme, comme la répétition de périodes d'accéléérations intenses et de courte durée ($> 4 +Gz$ ⁽¹⁾), ou prolongées mais d'intensité modérée ($+2$ à $3 +Gz$), par exemple lors de longs dégagements après des passes d'observation ou de tir... Lorsque ces accélérations sont réalisées dans l'axe du corps ($+Gz$), elles induisent une

⁽¹⁾ Les accélérations $+Gz$ sont appliquées selon le grand axe du corps.

redistribution du débit sanguin dans les membres inférieurs associée à une diminution du débit sanguin cérébral. Cette diminution est partiellement compensée par l'activation du système nerveux sympathique (baroréflexe) entraînant une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle.

Des études ont montré un impact des accélérations sur les performances cognitives dès +3 Gz^[19]. Les performances cognitives les plus affectées étaient liées à la perception (visuelle et auditive) et la réalisation de tâches cognitives complexes qui requièrent un haut niveau d'activité cérébrale^[19-21]. Ces tâches sont particulièrement fréquentes dans les avions de nouvelle génération^[22]. La diminution des performances mentales des pilotes impacte leurs capacités opérationnelles (performance tactique...) et la sécurité des vols (erreurs, tunnelisation, mauvaise détection des alarmes...), favorisant ainsi les accidents aériens.

Dans des travaux récents réalisés à l'IRBA, nous avons mis en évidence une majoration de la charge de travail physique et mental, associée à une diminution de la performance, lors de la réalisation de tâches cognitives complexes pendant des accélérations modérées et de longues durées (+2 à 3 Gz, pendant 10 min)^[23]. Comme pour l'hypoxie, nous observons des effets combinés des contraintes physiologiques avec une diminution plus importante des performances mentales lors de tâches cognitives multiples réalisées pendant des accélérations modérées après une courte nuit, de trois heures de sommeil^[23].

La dette de sommeil

La dette de sommeil est également une condition souvent rencontrée par les pilotes dans des situations réelles. Il est largement reconnu qu'elle entraîne une détérioration des performances mentales et une augmentation du risque d'accident^[24]. L'une des fonctions les plus couramment affectées par la privation de sommeil est l'attention soutenue, avec la dégradation du temps de réaction lors de tâches d'évaluation de la vigilance^[25]. L'impact de la dette de sommeil sera d'autant plus important que la tâche est monotone. Après 25 heures d'éveil prolongé, une dégradation des performances lors de la réalisation de tâches simultanées est également observée, notamment lorsque la fréquence des stimuli est faible^[26].

Cependant, la dette de sommeil peut également avoir un impact sur les réponses physiologiques et cognitives à l'hypoxie^[14]. Lors de la réalisation de tâches simples^[18, 27] ou multiples^[16] dans un environnement hypoxique (équivalent à 3 500 m), la dette de sommeil (au maximum 3 heures passées au lit) altère les performances et majore la charge de travail mental. Des effets additifs similaires ont été observés lors de la réalisation d'une tâche complexe sous accélération^[23]. La dette de sommeil semble donc majorer les effets cognitifs des contraintes physiologiques. Autrement dit, le niveau de charge cognitive est d'autant plus élevé que les contraintes physiologiques s'accumulent. Il ne faut pas sous-estimer l'impact d'une contrainte physiologique qui peut devenir importante dans une situation de fatigue, en particulier liée à la dette de sommeil.

Autres contraintes

D'autres environnements sont associés à une majoration de la charge de travail mental. Citons par exemple l'exposition à la chaleur (température ambiante à $\sim 28^{\circ}\text{C}$), associée à une réduction des performances lors de la réalisation de tâches cognitives multiples dans un simulateur simplifié ^[15].

Dans le domaine de la plongée, les effets potentiels sur la charge mentale et la cognition doivent également être pris en compte ^[28]. Il est évident que les fonctions cognitives telles que la vigilance, la perception, le temps de réaction, la mémoire, l'apprentissage, la réflexion et la prise de décision sont cruciales pour la sécurité de la plongée. En outre, l'effet aigu de la plongée le plus fréquemment observé est la narcose gazeuse, qui résulte de l'interaction complexe des gaz, des activités et des conditions environnementales. Des travaux réalisés en immersion par l'*US Navy* ^[29] dans 20 conditions différentes de pressions partielles en CO_2 , N_2 , et O_2 ont mis en évidence une altération des capacités de mémoire, d'attention soutenue et de planification lorsque les pressions partielles en azote (N_2) étaient élevées (supérieures à 442 kilo-Pascal), avec des effets persistants malgré l'apport secondaire d'oxygène (O_2). Ces travaux sont nécessaires pour comprendre la contribution relative des facteurs associés à la narcose et à la toxicité des gaz respirés lors des plongées et prédire les effets des mélanges gazeux et de l'exercice physique sur les performances cognitives des plongeurs ^[29].

D'une façon plus générale, les effets combinés des contraintes physiologiques et psychologiques sur la charge cognitive des militaires et le fonctionnement des systèmes d'arme sont à évaluer. De nombreux travaux restent à mener dans le domaine de l'activité physique ou du stress.

Impact sur le *monitoring*

L'efficacité des interfaces homme-machine devra être optimisée pour prendre en compte et s'adapter à l'état cognitif du pilote afin d'améliorer la sécurité et la performance opérationnelle. D'importants efforts de recherche et de développement se concentrent sur la surveillance et le maintien de la charge optimale de travail mental des opérateurs humains lors des tâches complexes et critiques, par la mesure en temps réel de variables neuro-physiologiques.

En effet, de nombreux paramètres physiologiques sont modifiés avec l'augmentation de la charge de travail mental. Citons par exemple la fréquence cardiaque, l'étude de sa variabilité ^[30] ou les modifications de la fréquence respiratoire ^[11]. Les épisodes mentalement exigeants sont également associés à une respiration plus rapide, tandis que l'amplitude respiratoire semble rester plutôt stable ^[11]. D'autres paramètres issus de l'enregistrement du diamètre pupillaire et de l'ampleur de la réponse de la pupille à un stimulus auditif (un son) sont des marqueurs d'une charge cognitive intense ^[31]. Enfin, l'analyse de l'activité électrique cérébrale, permet d'identifier des indicateurs très spécifiques de l'augmentation de la charge cognitive ou de la dégradation de performances ^[32, 33]. Cependant, un seul paramètre ne semble pas être suffisant pour les analyses et une évaluation multidimensionnelle de la charge de travail en utilisant

la combinaison de plusieurs paramètres physiologiques offre de meilleurs scores de prédiction ^[33, 34].

Très peu d'études ont évalué le niveau de charge de travail mental du pilote ou de militaires en prenant en considération les contraintes physiologiques auxquelles ils sont soumis au cours de leurs missions. La plupart des travaux de modélisation de la charge de travail mental se sont appuyés sur des données neurologiques ou physiologiques recueillies lorsque les participants sont au calme et qu'ils ne sont pas exposés à des contraintes physiologiques. Si ces modèles peuvent être utiles pour des scénarios impliquant des opérateurs statiques, ils peuvent ne pas s'appliquer, ni être extrapolés, aux situations réelles où les opérateurs effectuent des tâches sous contraintes physiologiques.

Dans les études sur la charge cognitive réalisées dans les contextes d'exercice physique, les niveaux de performance des algorithmes de détection des niveaux de charge de travail mental à l'aide de signaux électriques cérébraux (EEG) sont inférieurs à ceux rapportés pour les utilisateurs stationnaires, au repos. Des améliorations ont été développées pour supprimer les artefacts musculaires ou induits par les clignements des yeux, afin d'améliorer la prédiction ^[35]. De même l'ajout de modalités physiologiques telles que la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la température de la peau ou la conductance électrodermale ont considérablement amélioré la performance des algorithmes ^[36].

Ces travaux démontrent l'importance de l'évaluation de la performance des algorithmes de détection des périodes de charge de travail mental intense, et leur nécessaire adaptation, pour qu'ils deviennent robustes et performants, dans des conditions variées d'environnements et de contraintes physiologiques. Par exemple, pour obtenir des systèmes fiables de mesure de la charge de travail mental en vol, il est donc indispensable de prendre en compte l'ensemble des facteurs influençant les capacités cognitives et les réponses physiologiques des pilotes. Dans une étude récente réalisée avec un air appauvri en oxygène (équivalent à une altitude de 3 700 m), les performances lors de la réalisation de tâches cognitives complexes étaient stables, alors qu'une augmentation importante de la fréquence cardiaque et de l'activité du système nerveux autonome a été observée ^[10]. En effet, l'exposition à cette hypoxie dite modérée, induit une réponse physiologique qui permet de compenser partiellement le manque d'oxygène, au prix d'une augmentation de la fréquence ventilatoire et sa variabilité. De même, les effets vasculaires (la diminution de la pression artérielle) observés lors de l'exposition à des accélérations seront partiellement compensés par l'activation du système nerveux sympathique (baroréflexe) entraînant une augmentation de la fréquence cardiaque. Les variations de la fréquence cardiaque induites par l'exposition à ces contraintes seront beaucoup plus importantes que celles induites par l'augmentation de la charge de travail mental et cognitif. Nous avons par exemple observé dans notre laboratoire que la fréquence cardiaque augmente lorsque les tâches cognitives devenaient plus complexes dans des conditions standards de laboratoire. Cette augmentation n'est plus observée lorsque les tâches sont réalisées dans une situation d'hypoxie modérée ou de dette de sommeil ^[16].

Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

Cependant, les niveaux de charge de travail mental pourraient être prédits par l'association de plusieurs paramètres physiologiques identifiés lors de l'étude des effets d'une charge cognitive importante dans des contraintes physiologiques. Des signaux électriques particuliers, tels l'augmentation de la part relative des ondes delta, seraient des marqueurs prédictifs de l'altération de la conscience induite par les accélérations ou un bas débit cérébral [37]. Des algorithmes basés sur des paramètres physiologiques multiples (EEG, ECG [Électrocardiogramme], EOG) permettraient d'augmenter la fiabilité de la prédiction lors de contraintes combinées [16]. Ces analyses, qui soulignent l'intérêt des approches multiparamétriques, n'ont pu être réalisées qu'après des recueils de données dans des conditions contraignantes, recréant des contraintes physiologiques plausibles pour les militaires (Figure 2), et avec l'aide d'outils mathématiques et de logiciels permettant la synchronisation et la gestion de flux de données importants. Ces résultats sont essentiels pour la conception de modèles prédictifs robustes de la charge de travail mental adaptés aux conditions opérationnelles.

Conclusion

L'exposition à des contraintes physiologiques modérées mais combinées majore la charge cognitive, expose au risque de surcharge cognitive et diminue l'efficacité des

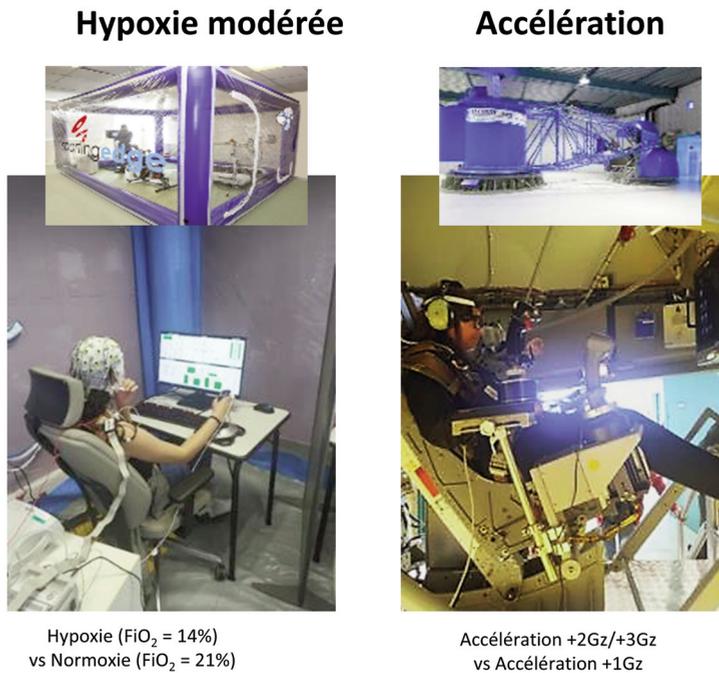


FIGURE 2 : Exemple de réalisation de tâches cognitives complexes dans des conditions de contraintes physiologiques (hypoxie et accélération) à l'IRBA.

Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

algorithmes de détection mis au point dans des conditions « standard ». L'estimation précise de la charge cognitive des opérateurs nécessite donc une approche globale prenant en compte les facteurs environnementaux, dans des situations de contraintes combinées, en laboratoire ou en situations réelles, proches des conditions opérationnelles [32, 38]. L'évaluation des effets des contraintes physiologiques et cognitives combinées est nécessaire pour la détermination de la charge cognitive maximale acceptable par un opérateur et pour développer des algorithmes robustes, conservant une performance élevée dans des situations opérationnelles variées.

Pour relever les défis de l'estimation de la charge cognitive et de la prédiction des périodes de surcharges, les seules études sur des tâches cognitives de laboratoires « standards » ne suffiront pas. Il faudra des équipes de recherche interdisciplinaires capables de travailler au-delà des frontières physiques, numériques et biologiques, tout en collaborant de manière transparente avec les utilisateurs finaux, les combattants humains [1]. De nouvelles méthodologies de recherche tirant pleinement parti des technologies de détection et de l'utilisation de moyens d'essais du ministère des Armées (caissons d'altitude, centrifugeuses, simulateurs...) seront nécessaires pour fournir des données rigoureuses, fondées sur des preuves, dans des environnements réels et quasi-réels. Le développement des outils connectés nous permet aujourd'hui de recueillir des données physiologiques de qualité dans des environnements contraignants ou opérationnels (Figure 3).

Ces travaux devront également servir à la mise au point de stratégies protectrices, pouvant inclure l'entraînement régulier et sous contraintes dans des environnements réalistes et sûrs, l'optimisation des contre-mesures physiologiques (oxygène, contrôle de la température, optimisation du sommeil, etc.), l'augmentation des performances des équipes, l'amélioration des interfaces homme-machine, la réalisation automatisée de certaines tâches par le système d'arme et l'amélioration de la résilience cognitive et physiologique basée sur les découvertes de la neurobiologie de l'exercice [1].



FIGURE 3 : Exemple de recueil de données électrophysiologiques dans la centrifugeuse de l'IRBA et en vol réel. À gauche, sujet portant un dispositif de *monitoring* EEG avec des électrodes sèches (Conscious Lab), et des lunettes d'*eye tracking* (Tobii Eye Tracker Glasses) et à droite un pilote portant un gilet connecté Astroskin (Projet SPEEN, AID, Marine nationale).

Éléments de bibliographie

- [1] BILLING Daniel C., FORDY Graham R., FRIEDL Karl E. et HASSELSTRØM Henriette, « The Implications of Emerging Technology on Military Human Performance Research Priorities », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), octobre 2021, p. 947-953. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.10.007>.
- [2] HANCOCK P., WILLIAMS G. et MANNING C., « Influence of Task Demand Characteristics on Workload and Performance », *The International Journal of Aviation Psychology*, 5(1), 1995, p. 63-86. <https://doi.org/>.
- [3] EGGEMEIER F. Thomas, WILSON Glenn F., KRAMER Arthur F. et DAMOS Diane L., « Workload Assessment in Multi-Task Environments », in DAMOS D.L. (dir.), *Multiple Task Performance*, CRC Press, 2020, p. 207-216.
- [4] CHARLES Rebecca L. et NIXON Jim, « Measuring Mental Workload Using Physiological Measures: A Systematic Review », *Applied Ergonomics*, 74, janvier 2019, p. 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028>.
- [5] SHAW David M., CABRE Gus et GANT Nicholas, « Hypoxic Hypoxia and Brain Function in Military Aviation: Basic Physiology and Applied Perspectives », *Frontiers in Physiology*, 12, 2021, 665821. <https://doi.org/>.
- [6] BUSTAMANTE-SÁNCHEZ A., GIL-CABRERA J., TORNERO-AGUILERA J.F., FERNANDEZ-LUCAS J., RAMOS-CAMPO D.J. et CLEMENTE-SUÁREZ V.J., « others Effects of Hypoxia on Selected Psychophysiological Stress Responses of Military Aircrew », *BioMed Research International* 2021, 2021(6633851). <https://doi.org/10.1155/2021/6633851>.
- [7] GRIFFITH Candice D. et MAHADEVAN Sankaran, « Human Reliability under Sleep Deprivation: Derivation of Performance Shaping Factor Multipliers from Empirical Data », *Reliability Engineering & System Safety*, 144, décembre 2015, p. 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.05.004>.
- [8] HARTZLER Beth M., « Fatigue on the Flight Deck: The Consequences of Sleep Loss and the Benefits of Napping », *Accident Analysis & Prevention*, 62, janvier 2014, p. 309-318. <https://doi.org/>.
- [9] JUNG Christopher M., RONDA Joseph M., CZEISLER Charles A., WRIGHT JR Kenneth P., « Comparison of Sustained Attention Assessed by Auditory and Visual Psychomotor Vigilance Tasks Prior to and during Sleep Deprivation », *Journal of Sleep Research*, 20(2), 2011, p. 348-355. <https://doi.org/>.
- [10] TEMME Leonard A., WITTELS Harrison L., WISHON Michael J., ST. ONGE Paul, McDONALD Samantha M., HECOCKS Dustin, WITTELS S. Howard, « Continuous Physiological Monitoring of the Combined Exposure to Hypoxia and High Cognitive Load in Military Personnel », *Biology*, 12(11), novembre 2023, 1398. <https://doi.org/>.
- [11] GRASSMANN Mariel, VLEMINCX Elke, LEUPOLDT (VON) Andreas, MITTELSTÄDT Justin M. et VAN DEN BERGH Omer, « Respiratory Changes in Response to Cognitive Load: A Systematic Review », *Neural Plasticity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8146809>.
- [12] WATTS Michelle E., POCOCK Roger et CLAUDIANOS Charles, « Brain Energy and Oxygen Metabolism: Emerging Role in Normal Function and Disease », *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 11, 2018, 216. <https://doi.org/>.
- [13] MCMORRIS Terry, HALE Beverly J., BARWOOD Martin, COSTELLO Joseph et CORBETT Jo, « Effect of Acute Hypoxia on Cognition: A Systematic Review and Meta-Regression Analysis », *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 74(Part A), mars 2017, p. 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.019>.
- [14] FABRIES Pierre, GOMEZ-MERINO Danielle, SAUVET Fabien, MALGOYRE Alexandra, KOULMANN Nathalie et CHENNAOUI Mounir, « Sleep Loss Effects on Physiological and Cognitive Responses to Systemic Environmental Hypoxia », *Frontiers in Physiology*, 13, 2022, 1046166. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1046166>.
- [15] BOTTENHEFT Charelle, GROEN Eric L., MOL Douwe, VALK Pierre J.L., HOUBEN Mark M., et al., « Effects of Heat Load and Hypobaric Hypoxia on Cognitive Performance: A Combined Stressor Approach », *Ergonomics*, 66(12), décembre 2023, p. 2148-2164. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2190062>.
- [16] PONTIGGIA Anaïs, FABRIES Pierre, BEAUCHAMPS Vincent, QUIQUEMPOIX Michael, NESPOULOUS Olivier, JACQUES Clémentine, GUILLARD Mathias, VAN BEERS Pascal, AYOUNTS Haïk, KOULMANN Nathalie, et al., « Combined Effects of Moderate Hypoxia and Sleep Restriction on Mental Workload », *Clocks & Sleep*, 6(3), 2024, p. 338-358. <https://doi.org/10.3390/clocksleep6030024>.
- [17] VAN DORP Eveline, LOS Michel, DIRVEN Perjan, SARTON Elise, VALK Pierre, TEPPEMA Luc, STIENSTRA Rudolf et DAHAN Albert, « Inspired Carbon Dioxide during Hypoxia: Effects on Task Performance and Cerebral Oxygen Saturation », *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(7), juillet 2007, p. 666-672.
- [18] FABRIES Pierre, PONTIGGIA Anaïs, COMTE Ulysse, BEAUCHAMPS Vincent, QUIQUEMPOIX Michael, et al., « Cognitive Performance during Exposure to Moderate Normobaric Hypoxia after Sleep Restriction: Relationship to Physiological and Stress Biomarkers », *Physiology & Behavior*, 287, décembre 2024, 114666. <https://doi.org/>.
- [19] O'DONNELL Robert D., MOISE Samuel, SCHMIDT Regina et SMITH Richard, *Measurement and Modeling of Human Performance Under Differing G Conditions*, Wright-Patterson AFB OH, Air Force Research Laboratory, 2003.

Impact des contraintes physiologiques sur la charge de travail mental

- [20] COCHRAN Leroy B., GARD Perry W. et NORSWORTHY Marry E., *Variations in Human G Tolerance to Positive Acceleration. G-level Tolerances of 1000 Relaxes Subjects not wearing Anti-G Suits at 1 G/s Onset Rate*, Pensacola, 1954. <https://doi.org/10.1037/e439862004-001>
- [21] MAROTTE Henri, *Physiologie aéronautique*, Éditions SEES, 2004, 230 pages.
- [22] MARCHAND Charlotte, DE GRAAF Jozina B. et JARRASSÉ Nathanaël, « Measuring Mental Workload in Assistive Wearable Devices: A Review », *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18, 2021, 160.
- [23] PONTIGGIA A., BEAUCHAMPS V., NESPOULOUS O., GUILLARD M., VACHER Anthony, CHENNAOUI Mounir, SAUVET F., « Sleep Loss Decreases Tolerance to Prolonged Moderate Acceleration », Presented at the International Conference on Cognitive Aircraft System (ICCAS), Toulouse, 2024.
- [24] ALHOLA Paula et POLO-KANTOLA Pälvi, « Sleep Deprivation: Impact on Cognitive Performance », *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(5), 2007, p. 553-567.
- [25] BASNER Mathias et DINGES David F., « Maximizing Sensitivity of the Psychomotor Vigilance Test (PVT) to Sleep Loss », *Sleep*, 34(5), 2011, p. 581-591. <https://doi.org/10.1093/sleep/34.5.581>.
- [26] KONG Youngsun, POSADA-QUINTERO Hugo F., GEVER David, BONACCI Lia, CHON Ki H. et BOLKHOVSKY Jeffrey, « Multi-Attribute Task Battery Configuration to Effectively Assess Pilot Performance Deterioration during Prolonged Wakefulness », *Informatics in Medicine Unlocked*, 28, 2022, 100822. <https://doi.org/>
- [27] MERTENS Henry W. et COLLINS William E., « The Effects of Age, Sleep Deprivation, and Altitude on Complex Performance », *Human Factors*, 28(5), octobre 1986, p. 541-551. <https://doi.org/10.1177/001872088602800504>.
- [28] SHARMA Rita I., MARCINKOWSKA Anna B., MANKOWSKA Natalia D., WAŚKOW Monika, KOT Jacet et WINKLEWSKI Pawel J., « Cognitive Functions in Scuba, Technical and Saturation Diving », *Biology*, 12(2), 2023, 229. <https://doi.org/10.3390/biology12020229>.
- [29] FREIBERGER John J., DERRICK B., NATOLI M.J., AKUSHEVICH I., SCHINAZI E.A., PARKER C., STOLP B.W., BENNETT P.B., VANN R.D., DUNWORTH S.A. et MOON R.E., « Assessment of the Interaction of Hyperbaric N₂, CO₂, and O₂ on Psychomotor Performance in Divers », *Journal of Applied Physiology*, 121(4), octobre 2016, p. 953-964. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00534.2016>.
- [30] QU Hongquan, GAO Xueying et PANG Liping, « Classification of Mental Workload Based on Multiple Features of ECG Signals », *Informatics in Medicine Unlocked*, 24, 2021, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100575>.
- [31] KLINGNER Jeff, TVERSKY Barbara et HANRAHAN Pat, « Effects of Visual and Verbal Presentation on Cognitive Load in Vigilance, Memory, and Arithmetic Tasks », *Psychophysiology*, 48(3), mars 2011, p. 323-332. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01069.x>.
- [32] PONTIGGIA Anaïs, GOMEZ-MERINO Danielle, QUIQUEMPOIX Michael, BEAUCHAMPS Vincent, BOFFET Alexis, FABRIES Pierre, CHENNAOUI Mounir et SAUVET Fabien, « MATB for Assessing Different Mental Workload Levels: A Systematic Review », *Frontiers in Physiology*, 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1408242>.
- [33] WILSON Glenn F., « An Analysis of Mental Workload in Pilots during Flight Using Multiple Psychophysiological Measures », *The International Journal of Aviation Psychology*, 12(1), 2002, p. 3-18. https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP1201_2.
- [34] MIYAKE Shinji, YAMADA Shimpei, SHOJI Takuro, TAKAE Yasuhiko, KUGE Nobuyuki et YAMAMURA Tomohiro, « Physiological Responses to Workload Change. A Test/Retest Examination », *Applied Ergonomics*, 40(6), novembre 2009, p. 987-996. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.02.005>.
- [35] ROSANNE Olivier, ALBUQUERQUE Isabela, CASSANI Raymundo, GAGNON Jean-François, TREMBLAY Sébastien et FALK Tiago H., « Adaptive Filtering for Improved Eeg-Based Mental Workload Assessment of Ambulant Users », *Frontiers in Neuroscience*, 15, 2021, 611962. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.611962>.
- [36] ALBUQUERQUE Isabela, TIWARI Abhishek, PARENT Mark, CASSANI Raymundo, GAGNON Jean-François, LAFOND Daniel, TREMBLAY Sébastien et FALK Tiago H., « WAUC: A Multi-Modal Database for Mental Workload Assessment under Physical Activity », *Frontiers in Neuroscience*, 14, 2020, 549524. <https://doi.org/>
- [37] VAN DIJK J. Gert et WIELING Wouter, « Pathophysiological Basis of Syncope and Neurological Conditions That Mimic Syncope », *Progress in Cardiovascular Diseases*, 55(4), Janvier-février 2013, p. 345-356. <https://doi.org/>
- [38] DEHAIS Frédéric, SOMON Bertille, MULLEN Tim et CALLAN Daniel E., « A Neuroergonomics Approach to Measure Pilot's Cognitive Incapacitation in the Real World with EEG », *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conferences on Neuroergonomics and Cognitive Engineering, and Industrial Cognitive Ergonomics and Engineering Psychology (16-20 juillet 2020)*, Printemps 2021, p. 111-117.

La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

Frédéric CANINI et Damien CLAVERIE

Chercheur associé LIP/PC2S, Laboratoire LIP/PC2S,
Université de Savoie Mont-Blanc & Université de
Grenoble-Alpes.

Médecin en chef, unité de Neurophysiologie du stress,
Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

Introduction

« La surcharge mentale en dehors de l'action » apparaît comme un paradoxe. Sans doute vaudrait-il mieux parler de surcharge mentale survenant pour des niveaux d'activité requis qui ne la justifient pas. La discordance entre les niveaux d'activité ressentis et objectifs est au cœur de cette réflexion.

Que recouvre la notion de surcharge mentale ? Celle-ci peut se définir comme le déséquilibre entre une demande (la charge) et la capacité de l'organisme à y répondre. Ce déséquilibre provient d'un excès de demandes, d'une diminution de la capacité de réponse de l'organisme ou toute combinaison de ces sources. Usuellement, la surcharge mentale est la conséquence d'une sollicitation exagérée, c'est-à-dire d'une tâche que tout le monde s'accorde à trouver excessive au regard de ce qu'il est humainement possible de faire. Ce point de vue relatif ne représente cependant qu'une fraction de la réalité. Des modulations individuelles, fonctionnelles (fatigue, degré d'entraînement et de compétence) et structurelles (personnalité, maladies sous-jacentes), ainsi que des contraintes contextuelles (technologiques, ergonomiques, sociales) se greffent au travail assigné et font diverger la tâche objective de la tâche perçue par le sujet. D'une manière générale, le travail assigné induit une charge ressentie qui dépend des compétences du sujet et de son histoire immédiate.

Un déséquilibre entre l'intensité des tâches exécutées et la qualité de la récupération effectuée se traduit par une fatigue résiduelle contingente qui impacte le travail à venir, mais reste accessible à une récupération adéquate. Nous restons dans le cadre physiologique habituel dans lequel la fatigue induite par la surcharge, effacée par le sommeil, reste transitoire. Cependant, le fonctionnement psychique de l'individu, voire de sa psychopathologie, ajoute à sa charge mentale. L'existence de pensées imposées, qu'elles soient reliées à l'anxiété anticipatrice, à la rumination dépressive ou à l'intrusion de psychotraumatismes anciens, représente une source de charge mentale. De même, l'existence de conflits éthiques entre ce qui doit être fait et ce qui peut être

fait empêcher de solder une réponse, faute de décision par l'individu ou autrui, et peut aboutir à une forme d'impuissance qui représente une autre source de charge mentale. La fatigue qui en résulte est plus difficile à éliminer en raison de la pérennité de ces charges mentales connexes et de leur impact délétère sur le sommeil. Enfin, lorsque ces activités psychiques involontaires sont portées à leur paroxysme, le cadre devient celui de la pathologie qu'elle relève d'un Trouble de stress *post*-traumatique (TSPT), d'une anxiété pathologique ou d'une dépression.

En dehors de ces cadres particuliers qui tiennent à l'individu et son histoire, le cas le plus habituel est celui d'interactions difficiles entre l'individu, son travail et l'environnement dans lequel il agit. À la charge ressentie du travail assigné vient alors s'ajouter une charge émotionnelle fonction de la manière dont l'individu perçoit sa tâche et son environnement, ainsi que du nombre de stressors auquel il est exposé. Cette charge émotionnelle connexe est le prix que l'individu paie pour effectuer sa tâche dans son environnement. Elle peut être consciente ou non, alléguée ou tue, identifiée par le sujet ou simplement suspectée sur la base d'une émotion ou d'un malaise. Elle est au cœur de « la surcharge mentale en dehors de l'action ». Lorsque l'individu souffre du contexte, que ce soit en raison de sa sensibilité, de son sentiment de maîtrise de la mission assignée ou de la violence de l'environnement, la charge émotionnelle qu'il ressent excède largement celle liée au travail effectué. La fatigue qui découle de cette double charge ne sera pas nécessairement éliminée par une nuit de sommeil. L'individu s'inscrit alors dans une dynamique qui peut se transformer au fil du temps en cercle vicieux.

Cet entre-deux, ni normal ni clairement pathologique, est celui d'une maladaptation de l'individu à son travail et/ou son environnement. L'organisme s'y use sous la pression conjointe du travail assigné et de la charge émotionnelle. « La surcharge mentale en dehors de l'action » devient le marqueur de l'entrée de l'individu dans les phases initiales du *burnout*, phases qui restent cependant compatibles avec une vie sociale et professionnelle, même difficile. La surcharge mentale non expliquée par le travail objectif devient alors le signe alertant le commandement et le médecin du travail de l'existence d'une maladaptation au travail et/ou à l'environnement. L'enjeu de cet article est de décrire ces phases de maladaptation compensée.

Le *burnout*

Définition

Le concept d'épuisement professionnel, abordé par Claude Veil, psychiatre et médecin du travail français, a reçu son nom de baptême « *burnout* » en 1971 de Herbert J. Freudenberger, psychiatre new-yorkais avant que la psychologue américaine Christina Maslach n'en structure le concept. L'épuisement au-delà d'un seuil laissant l'individu vide est la clé de voûte du concept (Olié & Légeron, 2016).

Le syndrome de *burnout* survient dans un contexte professionnel stressant et s'articule autour de 3 axes cliniques : (i) l'épuisement émotionnel (difficulté à ressentir des émotions), physique (fatigue) et psychique (perte d'énergie, irritabilité) ; (ii) la

distanciation vis-à-vis d'autrui ou dépersonnalisation qui se traduit par une relation détachée, voire déshumanisée avec autrui, des affects négatifs et la perte du sens professionnel, voire l'apparition du cynisme ; et (iii) l'altération de l'efficacité professionnelle (dégradation des relations à autrui, transformation d'une activité créatrice en une activité bureaucratique désincarnée, désengagement du travail, séparation des vies professionnelle et personnelle, moindre investissement physique et psychique dans l'exercice professionnel) (Maslach, 1976). Si toutes les approches du *burnout* convergent sur l'épuisement, des différences d'appréciation concernent l'importance du désengagement ou de la perte de sens du travail, et les dimensions de l'épuisement – *i.e.*, fatigue, usure cognitive, émoussement émotionnel (Maslach, *et al.*, 2001).

Le cadre conceptuel

La première difficulté conceptuelle vient du polymorphisme symptomatologique du *burnout* qui peut être considéré comme l'expression d'un spectre fondé sur la priorisation des symptômes, le degré de désadaptation de l'environnement ou la gravité clinique. Comme les signes cliniques résultent de la charge de travail (mobilisation de ressources, fatigue), du stress secondaire à la maladaptation (anxiété, irritabilité), des conséquences physiologiques (réduction de performances) ou des conduites d'adaptations (gestion de l'environnement par distanciation conduisant à la dépersonnalisation), ils structurent autant d'approches différentes du *burnout*.

La deuxième difficulté concerne les degrés de désadaptation qui peuvent être considérés comme autant d'entités. Considérons cette échelle de sévérité : (i) un comportement ajusté sur l'objectif et sans *burnout* ; (ii) un comportement de lutte induisant un coût adaptatif et une expression clinique du *burnout* plus ou moins intense, et enfin ; (iii) un comportement d'abandon et d'apathie, rupture témoignant de l'usure profonde (Lindsäter, *et al.*, 2022). Une moindre réponse cérébrale à la douleur d'autrui peut exister dès le premier stade. Elle est interprétée comme une optimisation, une manière de protéger la régulation émotionnelle dans un contexte de soins psychiquement lourd (Decety, *et al.*, 2010). Le second stade peut être plus finement analysé par l'insertion de deux degrés supplémentaires : (ii') la pression du travail sollicite à l'excès les ressources de l'individu et (ii'') il se rajoute la pression émotionnelle anxieuse consécutive au déséquilibre entre sollicitation et ressources (Maslach & Leiter, 2016). Par ailleurs, la gravité clinique peut aussi s'apprécier par le score à l'échelle de Maslach avec 5 stades allant de la normalité (hyper-engagement professionnel avec score bas) au *burnout* intense (un score élevé dans les 3 axes) en passant par des « *burnouts* partiels » (un score élevé à l'un ou l'autre des 3 axes). Les différences entre les axes pourraient alors se rapporter au mode d'interaction avec l'environnement : un excès de charge de travail induit plutôt un épuisement alors qu'un excès de variété dans l'environnement entraîne plutôt un désengagement selon la théorie « *Job Demands–Resources* » (Bakker & Demerouti, 2017).

La troisième difficulté conceptuelle provient de la confusion entre les dimensions psychosociales et médicales du *burnout*. Si la difficulté des interactions contextuelles est à la source du *burnout*, lui conférant *de facto* un aspect psychosocial, l'atteinte des

La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

individus en fait un problème médical. Les solutions sont donc à la fois psychosociales et médicales avec une graduation inverse selon le stade de sévérité (*i.e.*, interventions psychosociales dans les phases initiales et prise en charge médicale dans les phases avancées). Le *burnout* se place *de facto* dans un *continuum* entre normalité et pathologie psychiatrique. Il devient l'expression d'un syndrome global d'usure émergeant d'une maladaptation chronique à l'environnement. Usuellement, le *burnout* est donc exclu de la pathologie psychiatrique (Olié & Légeron, 2016), même si sa forme pathologique ultime (*i.e.*, l'épuisement) relève d'une prise en charge médicale au titre de ses répercussions sur l'organisme (dépression, anxiété) (Lindsäter, *et al.*, 2022).

La relation au stress

Dès la première description de C. Maslach, le contexte est décrit comme éminemment stressant (Maslach, 1976). Au quotidien, l'interaction rugueuse entre le sujet et son environnement entraîne un certain niveau de stress se traduisant par l'activation de l'axe corticotrope libérant le cortisol, et de l'axe nerveux sympathique produisant de l'adrénaline. L'activation de stress est sous le contrôle du cerveau, et particulièrement du réseau d'alarme dont la fonction est de signaler le risque vital par le truchement de l'activation de l'amygdale, véritable chef d'orchestre de la réponse de stress. Cumulés dans la durée, ces stress modérés du quotidien finissent par générer un état de stress chronique avec l'usure physiologique que cela suppose. Cet état, conceptualisé par le médecin montréalais d'origine hongroise Hans Selye et le neuroendocrinologue américain Bruce McEwen sous les noms respectifs d'hétérostasie et d'allostasie, se traduit par une imprégnation chronique de l'organisme par l'adrénaline et le cortisol qui finissent par dégrader les tissus et générer des pathologies dites de stress (McEwen, 2008). Cet état allostatique a été observé dans le *burnout* (Juster, *et al.*, 2011), expliquant pourquoi certains concepts architecturés autour de la notion d'épuisement sont proches du *burnout* et renvoient directement à la notion de stress chronique. L'épuisement vital (*vital exhaustion*) qui associe fatigue inaccoutumée, tension intérieure intense, irritabilité, démoralisation et activation de l'axe corticotrope, est considéré à la fois comme la forme ultime d'un *burnout* chronique et, par exemple, un facteur de risque d'infarctus myocardique (Kudielka, *et al.*, 2006). Parallèlement, le concept de trouble de l'épuisement (*exhaustion disorder*) a été développé en Suède sur des bases proches de celles du *burnout* dont il figure le cadre extrême (Lindsäter, *et al.*, 2022).

Le *burnout* comme facteur de surcharge mentale

Introduction

Conjointement aux durées ou intensités excessives de travail, le travail posté et l'exposition au stress dans l'environnement professionnel sont réputés altérer la cognition. Le *burnout*, conséquence psychophysiologique de la maladaptation chronique d'un individu à son environnement vécu comme stressant, devrait donc être associé à une cognition dégradée dont la traduction est *ipso facto* « une surcharge mentale en dehors de l'action » ?

La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

Lorsque les sujets en *burnout* répondent à des tests cognitifs dans leur environnement personnel, les altérations relevées sont modestes à modérées (Föyén, *et al.*, 2023). Cependant, l'altération de la cognition lors d'un *burnout* est difficile à mettre en exergue pour de nombreuses raisons méthodologiques. L'évaluation cognitive n'est pas intra-individuelle, car le sujet ne peut pas être étudié avant et après son *burnout* afin qu'il soit son propre contrôle. Compte tenu de la prévalence du *burnout*, une telle stratégie scientifique supposerait des études prospectives trop lourdes à mettre en œuvre. Le *burnout* cache une pléthore de niveaux de gravité et de formes cliniques. Les sujets peu atteints compensent leurs possibles altérations cognitives par un recrutement cérébral, c'est-à-dire l'activation de neurones jusque-là quiescents pour effectuer l'action. Inversement, les sujets très atteints présentent un déficit de motivation, éventuellement associé à une dépression et/ou une anxiété comorbide(s), qui impacte(nt) les réponses aux tests cognitifs. De plus, les altérations cognitives varient selon les fonctions cognitives évaluées (temps de réaction, mémoire, fonctions exécutives, problèmes abstraits) et les critères choisis (temps de réaction, nombre d'erreurs, performance globale, maintien dans le temps de la performance), obligeant à une véritable dissection fonctionnelle de la cognition (Grossi, *et al.*, 2015). Enfin, les plaintes subjectives, particulièrement présentes dans le *burnout*, ne cadrent pas toujours avec des performances souvent conservées (Grossi et coll., 2015).

Impact du burnout sur la cognition

Évaluer l'impact du *burnout* sur la cognition suppose de comprendre la façon dont le cerveau répond aux sollicitations. La manière dont la performance est altérée peut être appréhendée par la qualité de l'attention, la vitesse et le contrôle de la réponse et la soutenabilité de la performance dans le temps. Ces dimensions sont souvent dégradées dans le *burnout* (Gavelin, *et al.*, 2022 ; Grossi, *et al.*, 2015). Le cerveau est donc globalement plus fatigable même si la performance maximale est souvent respectée.

Par ailleurs, toutes les fonctions cognitives ne sont pas atteintes de la même manière. Les fonctions *a priori* les plus vulnérables sont celles de haut niveau comme les fonctions exécutives – mémoire de travail, inhibition comportementale, attention et flexibilité cognitive – ou de très haut niveau – raisonnement, résolution de problèmes et planification (Diamond, 2013). Ces fonctions partagent le privilège d'être portées par le cortex préfrontal, structure vulnérable aux agressions, au stress et à la fatigue, et qui est altérée dans le *burnout* (Savic, 2015).

La mémoire de travail ainsi que la mémoire épisodique sont aussi altérées dans le *burnout* (Gavelin, *et al.*, 2022). La mémoire de travail dont le contenu est à la fois non-sémantique (calepin visuo-spatial) et sémantique (boucle phonologique) permet la conservation des informations à l'esprit durant les diverses tâches (mémoire tampon épisodique), incluant le langage (Diamond, 2013). Elle est particulièrement affectée dans le *burnout*, y compris dans des formes légères, quoique de manière variable selon les tâches concernées. Ainsi, les mises à jour mnésiques des activités sont moins atteintes que les tâches alternées. Même si les erreurs sont mieux détectées, l'inhibition comportementale est dégradée, conduisant à davantage d'erreurs. Ces altérations

La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

fonctionnelles concernent à la fois les mécanismes conscients et inconscients de la gestion de l'erreur. Enfin, la flexibilité cognitive permettant d'aller d'une stratégie à l'autre est réduite. Ainsi les sujets en *burnout* font davantage d'erreurs que les témoins lors d'une activité de tâches alternées avec une moindre réaction cérébrale lors de l'épreuve. Au total, ce sont donc toutes les dimensions des fonctions exécutives qui sont atteintes. Certaines altérations comme celles portant sur la détection de signaux non cohérents ont été identifiées dans le cadre militaire (Wu, *et al.*, 2022).

Les causes de l'altération cognitive

Les causes de ces altérations cognitives restent très discutées et probablement multivariées. Si l'on ne peut exclure les effets du stress sur la dysfonction cognitive, on ne peut davantage éliminer l'effet propre de la dynamique conduisant au *burnout*. Ainsi, l'intensité de la dépersonnalisation apparaît corrélée au niveau de déficit visuo-spatial ou à l'altération des processus automatiques de haut niveau (gestion d'informations congruentes) alors que le score de dégradation d'efficacité personnelle est corrélé aux capacités de gestion de conflits informationnels (Koutsimani & Montgomery, 2022). Ces résultats qui restent à confirmer laissent à penser qu'au moins trois dynamiques sont à l'œuvre, qu'elles soient liées au *burnout per se*, au stress chronique ou à la dépression. Ces dynamiques s'enchevêtrent dans le contexte professionnel, l'altération de la cognition étant un véritable pivot. Le déficit cognitif augmente la charge mentale, et donc la gravité du *burnout*, ainsi que le stress relié à l'impossibilité d'exécuter le travail, les deux accroissant le risque dépressif et les altérations cognitives. Ainsi, le déficit mnésique visuo-spatial quoique prédit par le score de *burnout* avant l'exposition à un stage militaire de survie (Morgan III, *et al.*, 2011) est aussi altéré par l'exposition au stress (Morgan III, *et al.*, 2006).

La détection précoce du *burnout*

Introduction

Le constat d'une baisse de performance ou la prise en compte de plaintes subjectives ne sont qu'une manière tardive de mettre en évidence un *burnout* qui a tarabulé longtemps sa victime, générant une souffrance psychique inutile et une altération de la performance opérationnelle. De ce fait, il est important de pouvoir détecter le *burnout* alors que les manifestations sont encore ténues. Ceci conduit naturellement à une politique de détection systématique dans les contextes professionnels à risque. Restent quelques questions à résoudre : quels sont les contextes à risque ? Existe-t-il des biomarqueurs du *burnout* ?

Les contextes à risque

Dès l'origine du concept, la description du *burnout* s'est faite dans le cadre professionnel des soignants et a eu tendance à s'y restreindre. L'extension s'est faite ultérieurement à tous les métiers et tous les champs d'application. Le *burnout* s'est invité aux cadres sportif – surentraînement (Gustafsson, *et al.*, 2016) –, familial

(Blanchard, *et al.*, 2023), militaire (Adler, *et al.*, 2017 ; Hosseini, *et al.*, 2023), etc. La notion d'environnement à risque ne se limite donc pas au strict milieu professionnel immédiat. Elle inclut la famille, le contexte social général et, dans le cadre professionnel, l'environnement organisationnel.

Le contexte n'est cependant pas suffisant à considérer. Il faut rechercher les inducteurs de *burnout* en son sein. Ces sources de *burnout* sont classées en 6 domaines : la charge de travail, le degré de contrôle, le niveau de reconnaissance, le respect des valeurs, l'environnement social immédiat du sujet et le degré d'équité (Maslach & Leiter, 2016). Si l'importance de la charge de travail est une source classique de *burnout*, c'est le degré de contrôle exercé sur son exécution qui est crucial. Ce sentiment de contrôle est mis à mal par l'excès de travail, le sentiment d'incompétence et d'absence de maîtrise. Tout défaut de contrôle conduit à un sentiment d'impuissance apprise, facteur majeur de stress. La reconnaissance de l'individu et de son travail, que ce soit d'un point de vue social, financier ou organisationnel, renvoie à la confrontation entre la motivation du sujet, son retour social attendu et le retour social réel. Toute discordance entre l'attendu et le perçu est également un facteur de stress. Le respect et le partage des valeurs sont également essentiels, car il sous-tend la motivation à l'action et le sens de la mission. Il porte également en filigrane les conflits éthiques si les valeurs communes à l'individu et l'institution ne sont pas respectées. Enfin, l'environnement social immédiat du sujet, professionnel comme non-professionnel, contient à la fois les dimensions de protection, liée au soutien social, et d'agressions, y compris micro-agressions, liées aux compétitions et discriminations. Le sentiment d'injustice, inducteur de *burnout* via le stress qu'il engendre, est également un facteur important à prendre en compte (Taris, *et al.*, 2001). C'est un puissant levier de démotivation et d'apparition du cynisme. Ces sources de *burnout* pointent le rôle central des interactions sociales dans la genèse du *burnout* au côté de la charge de travail. Nous retrouvons ici le concept de double charge, de travail et émotionnelle.

Les dynamiques à risque

Le *burnout* ne peut être réduit à l'exposition à un environnement agressif. C'est aussi la conséquence de la dynamique de son installation dans la chronicité. Cette dynamique repose sur le déséquilibre entre la demande émanant de l'environnement et la nécessaire récupération psychophysiologique. L'insuffisance de récupération après l'exposition aux agressions via le manque de sommeil est un facteur de risque du *burnout* (Membrive-Jiménez, *et al.*, 2022) par le truchement du développement d'un syndrome de stress chronique (Metlaine, *et al.*, 2018). Le déficit de sommeil peut être d'origine structurelle (travail posté, réduction de temps alloué au sommeil), contingente (excès d'éveil retardant l'endormissement) ou intrinsèque à la maladie (insomnie de stress lié à l'installation du *burnout*). Les mécanismes par lesquels la dette de sommeil favorise l'émergence du *burnout* en situation de contrainte concernent la récupération énergétique et la restructuration du cerveau à l'œuvre durant le sommeil lent de la première partie de nuit et la correction des conditionnements délétères acquis durant la journée, plutôt actifs durant le sommeil paradoxal de la seconde partie de nuit.

Les individus à risque

Même en prenant en compte toutes les dimensions du contexte, certaines personnes seront victimes de *burnout* alors que d'autres en échapperont. Ces facteurs individuels concernent la personnalité ou une plus grande vulnérabilité de l'individu causée par une réactivité excessive au stress ou une plus grande sensibilité à l'environnement (empathie ou perception excessive de la détresse d'autrui). Ils sont à prendre en compte même si la cible prioritaire des actions de prévention reste l'environnement. La personnalité à risque renvoie à des sujets cotant fortement pour le neuroticisme, mais faiblement pour l'agréabilité, la conscientisation, l'extraversion et l'ouverture selon la classification du « *big five* » (Angelini, 2023).

D'autres dimensions sont apparues comme le perfectionnisme (Gustafsson, *et al.*, 2016), la faible estime de soi (Rosse, *et al.*, 1991) ou l'irritabilité (Marmuse, *et al.*, 2024). Même s'il est difficile de savoir si ces dimensions sont cause(s) ou conséquence(s) du *burnout*, leur apparition est un signal d'alerte d'un cercle vicieux en place. La notion d'irritabilité est particulièrement porteuse car, reliée au risque de psychopathologies de stress, elle renvoie directement à la notion de stress chronique et à celle de réactivité au stress. Cette dernière, facteur de risque pour le *burnout*, est un élément de maladaptation à l'environnement si elle est excessive – hypertonie sympathique – ou insuffisante – hypertonie vagale (Wekenborg, *et al.*, 2019). Enfin, l'empathie, marque d'une plus grande sensibilité aux émotions d'autrui, contribue au risque d'émergence de *burnout* lorsque l'activité professionnelle implique l'exposition aux émotions et aux souffrances (Maslach, *et al.*, 2001).

Les biomarqueurs biologiques du burnout

À côté des indices de *burnout* précédemment décrits, aucun biomarqueur spécifique du *burnout* n'existait jusqu'à une date récente (Danhof-Pont, van Veen, *et al.* 2011). Il faut donc remonter à la mesure électrophysiologique de différences de qualité de détection cérébrales des informations émotionnelles (Decety, *et al.*, 2010) ou visuelles (Wu, *et al.*, 2022). Certains biomarqueurs (sécrétion de glucocorticoïdes) relèvent du stress chronique et non du *burnout*. Alternativement, il est possible de mesurer les conséquences cérébrales de l'interaction du sujet avec son environnement en analysant le mode d'activation de l'amygdale. Cette dernière approche pourrait différencier le tonus sympathique de fond des activations brutales liées à l'interaction avec l'environnement (Trousselard & Claverie, 2024). La détection de ces biomarqueurs se heurte à l'absence actuelle de compréhension des mécanismes qui expliquent comment un individu qui interagit de manière fluide avec son environnement, se met à le faire avec de plus en plus de difficultés et finalement à être désadapté au point de vivre un état de stress chronique qui altère *in fine* sa santé.

Le burnout dans l'environnement militaire

Cette réflexion autour du *burnout* dévoilé par une chute de performance mentale est particulièrement importante dans le milieu militaire. La plus emblématique

La surcharge mentale hors de l'action : un indice de *burnout* ?

description de *burnout* est celle du « vieux sergent » dans laquelle figure la dénomination de « *burnt out* » ! (Sobel, 1947). Dans cet environnement, les prévalences médianes du *burnout* oscillent selon les axes de 6,4 % – accomplissement personnel – à 14 % – dépersonnalisation – et 19 % – épuisement émotionnel (Hosseini, *et al.*, 2023). En d'autres termes, le *burnout* est tout sauf rare ! Si cette méta-analyse retrouve majorité des facteurs de risque observés dans la population générale (cf. ci-après), elle insiste sur certains facteurs de risque spécifiquement militaire : les antécédents de Trouble de stress *post*-traumatique (TSPT), les conflits entre nécessités familiales et professionnelles, ou la qualité du *leadership* (Adler, *et al.*, 2017 ; Hosseini, *et al.*, 2023). Placer le *burnout* dans une dynamique de stress revient à considérer que tout facteur induisant une vulnérabilité à la dépression ou au TSPT est aussi un facteur de risque de *burnout*. Placer le *burnout* dans un environnement social revient aussi à considérer que ce contexte recèle, outre des éléments agressifs, des éléments protecteurs (Bakker & Demerouti, 2017). Dans le cadre militaire, les dynamiques d'attention à soi et à autrui, que ce soit au niveau de l'individu – le binôme (McCool, *et al.*, 2022) – ou du commandement – *leadership* (Kelly & Hearld, 2020) –, sont autant de facteurs de protection (Adler, *et al.*, 2017). Ce constat ouvre la voie à une coordination entre prises en charge individuelle médicale et collective institutionnelle. Elle représente une voie de renforcement des résiliences individuelles et collectives dès lors que le groupe est mis sous tension et en pâtit dans sa santé et sa performance opérationnelle.

Conclusion

Le *burnout* est certes la conséquence individuelle d'une maladaptation à l'environnement qu'elle soit causée par l'agressivité de l'environnement, la vulnérabilité du sujet ou surtout l'interaction des deux. Prendre en compte le *burnout* c'est aussi développer la résilience de l'individu et du groupe. La perte de performance mentale, qu'elle soit rapportée par l'agent ou qu'elle soit constatée par l'organisation, est un moyen simple de détecter un *burnout* et d'enchaîner les prises en charge individuelle et collective en mobilisant toutes les ressources de l'environnement institutionnel, dont la médecine, au profit des individus et de leur collectif indissociablement liés.

La surcharge mentale hors de l'action :
un indice de *burnout* ?

Éléments de bibliographie

- ADLER Amy B., ADRIAN Amanda L., HEMPHILL Marla, SCARO Nicole H., SIPOS Maurice L. & THOMAS Jeffrey L., « Professional Stress and Burnout in U.S. Military Medical Personnel Deployed to Afghanistan », *Military Medicine*, 182(3/4), 2017, e1669-e1676. <http://dx.doi.org/10.7205/MILMED-D-16-00154>.
- ANGELINI Giacomo, « Big Five Model Personality Traits and Job Burnout: A Systematic Literature Review », *BMC Psychology*, 11, 2023, 49. <http://dx.doi.org/10.1186/s40359-023-01056-y>.
- BAKKER A.B. & DEMEROUTI E., « Job Demands–Resources Theory: Taking Stock and Looking Forward », *Journal of Occupational Health Psychology*, 22(3), 2017, p. 273-285. <http://dx.doi.org/10.1037/ocp0000056>.
- BLANCHARD M.A., HOEBEKE Y. & HEEREN A., « Parental Burnout Features and the Family Context: A Temporal Network Approach in Mothers », *Journal of Family Psychology*, 37(3), 2023, p. 398-407. <http://dx.doi.org/>.
- DECETY Jean, YANG Chia-Yan & CHENG Yawei, « Physicians Down-Regulate their Pain Empathy Response: An Event-Related Brain Potential Study », *NeuroImage*, 50(4), mai 2010, p. 1676-1682. <http://dx.doi.org/>.
- DIAMOND Adele, « Executive Functions », *Annual Review of Psychology*, 64, 2013, p. 135-168. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>.
- FÖYEN Ludwig Franke, SENNERSTAM Victoria, KONTIO Evelina, LEKANDER Mats, HEDMAN-LAGERLÖF Erik & LINDSÄTER Elin, « Objective Cognitive Functioning in Patients with Stress-Related Disorders: A Cross-Sectional Study Using Remote Digital Cognitive Testing », *BMC Psychiatry*, 23, 2023, 565. <http://dx.doi.org/>.
- GAVELIN Hanna M., DOMELLÖF Magdalena E., ÅSTRÖM Elisabeth, NELSON Andreas, LAUNDER Nathalie H., NEELY Anna Stigsdotter & LAMPIT Amit, « Cognitive Function in Clinical Burnout: A Systematic Review and Meta-Analysis », *Work & Stress*, 36(1), 2022, p. 86-104. <http://dx.doi.org/10.1080/02678373.2021.2002972>.
- GROSSI Giorgio, PERSKI Aleksander, OSIKA Walter & SAVIC Ivanka, « Stress-related exhaustion disorder—Clinical Manifestation of Burnout? A Review of Assessment Methods, Sleep Impairments, Cognitive Disturbances, and Neuro-Biological and Physiological Changes in Clinical Burnout », *Scandinavian Journal of Psychology*, 56(6), décembre 2015, p. 626-636. <http://dx.doi.org/10.1111/sjop.12251>.
- GUSTAFSSON Henrik, MADIGAN Daniel J. & Lundkvist Erik, « Burnout in athletes », in FUCHS Reinhard & GERBER Markus (dir.), *Handbuch Stressregulation und Sport*, Deutschland Springer-Verlag GmbH, 2016, p. 1-21.
- HOSSEINI Seyed Morteza, HESAM Saeed & HOSSEINI Seyed Amirhossein, « Burnout Among Military Personnel: A Systematic Review », *Iranian Journal of Psychiatry*, 2023, 18(2), p. 213-236. <http://dx.doi.org/>.
- JUSTER Robert-Paul, SINDI Shireen, MARIN Marie-France, PERNA Andrea, HASHEMI Alireza, PRUESSNER Jens C. & LUPIEN Sonia J., « A Clinical Allostatic Load Index is Associated with Burnout Symptoms and Hypocortisolemic Profiles in Healthy Workers », *Psychoneuroendocrinology*, 36(6), juillet 2011, p. 797-805. <http://dx.doi.org/>.
- KELLY Reena Joseph & HEARLD Larry R., « Burnout and Leadership Style in Behavioral Health Care: A Literature Review », *Journal of Behavioral Health Services & Research*, 2020, p. 581-600. <http://dx.doi.org/>.
- KOUTSIMANI Panagiota & MONTGOMERY Anthony, « Cognitive Functioning in Non-Clinical Burnout: Using Cognitive Tasks to Disentangle the Relationship in a Three-Wave Longitudinal Study », *Frontiers in Psychiatry*, 13, 2022, 978566. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsy.2022.978566>.
- KUDIŁKA Brigitte M., BELLINGRATH Silja & HELLHAMMER Dirk H., « Cortisol in Burnout and Vital Exhaustion: An Overview », *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 28(1), 2006, p. 34-42.
- LINDSÄTER Elin, SVÄRDMAN Frank, WALLERT John, IVANOVA Ekaterina, SÖDERHOLM Anna, FONDBERG Robin, NILSSONNE Gustav, ČERVENKA Simon, LEKANDER Mats & RÜCK Christian, « Exhaustion Disorder: Scoping Review of Research on a Recently Introduced Stress-Related Diagnosis », *BJPsych Open*, 8(5), 2022, e159, p. 1-12. <http://dx.doi.org/10.1192/bjo.2022.559>.
- MARMUSE Anaïs, BILLAUD Jean-Baptiste, JACOB Sandrine, VIGIER Cécile, RAMDANI Céline & TROUSSELARD Marion, « 'Hidden' Anger as a Risk Factor for Operational Health: An Exploratory Approach Among French Military Personnel », *Military Psychology*, 2024, p. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/08995605.2024.2324645>.
- MASLACH Christina, « Burned-out », *Human Behavior*, 1976, p. , 17-21.
- MASLACH Christina & LEITER Michael P., « Understanding the Burnout Experience: Recent Research and its Implications for Psychiatry », *World Psychiatry*, 15(2), juin 2016, p. 103-111. <http://dx.doi.org/>.
- MASLACH Christina, SCHAUFELI Wilmar B. & LEITER Michael P., « Job Burnout », *Annual Review of Psychology*, 52, 2001, p. 397-422. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.397>.
- MCCOOL Nancy, REIDY Jennifer, STEADMAN Shawna & NAGPAL Vandana, « The Buddy System: An Intervention to Reduce Distress and Compassion Fatigue and Promote Resilience on a Palliative Care Team During the COVID-19 Pandemic », *Journal of Social Work in End-of-Life & Palliative Care*, 18(4), 2022, p. 302-324. <http://dx.doi.org/>.

La surcharge mentale hors de l'action :
un indice de *burnout* ?

MC EWEN Bruce S., « Central effects of stress hormones in health and disease: Understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators ». *European Journal of Pharmacology*, 583(2-3), 2008, p. 174-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2007.11.071>.

MEMBRIVE-JIMÉNEZ María José, GÓMEZ-URQUIZA José Luis, SULEIMAN-MARTOS Nora, VELANDO-SORIANO Almudena, ARIZA Tania, DE LA FUENTE-SOLANA Emilia Inmaculada & CAÑADAS-DE LA FUENTE Guillermo A., « Relation between Burnout and Sleep Problems in Nurses: A Systematic Review with Meta-Analysis », *Healthcare*, 10(5), 2022, 954. <http://dx.doi.org/10.3390/healthcare10050954>.

METLAINE Arnaud, SAUVET Fabien, GOMEZ-MERINO Danielle, BOUCHER Thierry, ELBAZ Maxime, DELAFOSSE Jean-Yves, LEGER Damien & CHENNAOUI Mounir, « Sleep and Biological Parameters in Professional Burnout: A Psychophysiological Characterization », *PLoS ONE*, 13(1), 2018, e0190607. <https://doi.org/>.

MORGAN III Charles A., DORAN Anthony, STEFFIAN George, HAZLETT Gary & SOUTHWICK Steven M., « Stress-Induced Deficits in Working Memory and Visuo-Constructive Abilities in Special Operations Soldiers », *Biological Psychiatry*, 60(7), 2006, p. 722-729. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.04.021>.

MORGAN III Charles A., RUSSELL Bartlett, MCNEIL Jeff, MAXWELL Jeff, SNYDER Peter J., SOUTHWICK Steven M. & PIETRZAK Robert H., « Baseline Burnout Symptoms Predict Visuospatial Executive Function During Survival School Training in Special Operations Military Personnel », *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(3), 2011, p. 1-8. <http://dx.doi.org/10.1017/S1355617711000221>.

OLIÉ Jean-Pierre & LÉGERON Patrick, « Le burn-out », *Bulletin de l'Académie nationale de Médecine*, 200(2), 2016, p. 349-365. <https://www.academie-medicine.fr/wp-content/uploads/2017/03/P.349-366.pdf>.

ROSSE Joseph, BOSS R. Wayne, JOHNSON Alan E. & CROWN Deborah F., « Conceptualizing the Role of Self-Esteem in the Burnout Process », *Group & Organization Studies*, 16(4), 1991, p. 428-451. <https://doi.org/>.

SAVIC Ivanka, « Structural Changes of the Brain in Relation to Occupational Stress », *Cerebral Cortex*, 25(6), 2015, 1554-1564. <http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bht348>.

SOBEL Raymond, « Anxiety-Depressive Reactions after Prolonged Combat Experience—the “Old Sergeant Syndrome” », *Psychiatry*, 10(3), 1947, p. 315-321. <http://dx.doi.org/10.1080/00332747.1947.11022649>.

TARIS Toon W., SEMEURS Paul J.G., PEETERS Maria C.W., LE BLANC Pascale M. & SCHAUFELI Wilmar B., « From Inequity to Burnout: The Role of Job Stress », *Journal of Occupational Health Psychology*, 6(4), 2001, p. 303-323. <http://dx.doi.org/10.1037/1076-8998.6.4.303>.

TROUSSELARD Marion & CLAVERIE Damien, « Se connaître et se dépasser », in *Les forces morales dans les sociétés civile et militaire : construction, transmission, mobilisation* (colloque), École militaire, 15 janvier 2024.

WEKENBORG Magdalena K., DAWANS (VON) Bernadette, HILL LaBarron K., THAYER Julian F., PENZ Marlene & KIRSCHBAUM Clemens, « Examining Reactivity Patterns in Burnout and Other Indicators of Chronic Stress », *Psychoneuroendocrinology*, 106, 2019, p. 195-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.04.002>.

WU Lin, CHEN Yanfeng, LIU Xufeng, FANG Peng, FENG Tingwei, SUN Kewei, REN Lei, LIANG Wei, LU Huijie, LIN Xinxin, Li Yijun, Wang Lingling, Li Chenxi, ZHANG Tian, Ni Chunping & WU Shengjun, « The Influence of Job Burnout on the Attention Ability of Army Soldiers and Officers: Evidence from ERP », *Frontiers in Neuroscience*, 16, 2022, 992537. <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2022.992537>.



■ **Des solutions appliquées**

RDN

Les Cahiers de la RDN

Réduire la charge mentale ?

Emmanuel GARDINETTI

Ingénieur en chef de 1^{re} classe des études et techniques de l'armement (ICETA1), Chef du département « expertise et technologies de défense » et responsable du domaine scientifique « Homme & Système », Agence de l'Innovation de Défense (AID).

« On ne pourra bien dessiner le simple qu'après une étude approfondie du complexe »
Gaston BACHELARD

Comment faciliter la réduction de la charge mentale ? À cette question, la réponse est souvent empreinte d'affectif. En effet, même si nos agendas débordent, même si nous savons qu'il est déraisonnable de répondre positivement à certaines sollicitations, nous acceptons pour satisfaire une personne que l'on apprécie, pour conserver un lien d'amitié, pour satisfaire son égo, etc. L'humain est ainsi fait qu'il ne cherche pas toujours à faire des choix rationnels. Or, trop souvent nous concevons des systèmes, au pire en négligeant l'importance du facteur humain, au mieux en essayant de le résumer à une unité de traitement rationnel de l'information. Certes, c'est mieux que rien mais on est loin d'aborder la richesse et la complexité du « FH ». Car s'il est une chose difficile à comprendre, modéliser ou prévoir, c'est bien l'humain. Les variabilités inter- et intra-individuelles nous perdent. La variété des stratégies, la créativité, les réactions impulsives, etc., sont autant de facteurs déroutants.

Pourtant, comme le souligne mes confrères ergonomes, l'écosystème de défense (Forces-Direction générale de l'armement [DGA]-Industrie) a progressé. Il s'appuie de plus en plus sur l'analyse de l'activité opérationnelle pour mieux percevoir les facteurs clés de l'appropriation et de l'exploitabilité des systèmes. Le travail de longue haleine des ergonomes semble avoir porté ses fruits et ceux-ci sont aujourd'hui récompensés et victimes de leur succès. Nous pourrions nous en féliciter, nous dire que l'essentiel est fait et qu'il suffit à présent de trouver un rythme de croisière. Or, il n'en est rien. On ne peut se satisfaire de contribuer à l'utilité et l'utilisabilité des systèmes unitairement pour répondre aux enjeux de demain.

Quid des conflits d'aujourd'hui et que parier sur ceux de demain ?

Les systèmes sont et seront de plus en plus interconnectés mais également interdépendants. Aussi, intégrer le facteur humain et enfin considérer la dimension socio-systémique ne suffira plus. Il faut aller plus loin en réfléchissant à la conception globale du système de systèmes. En effet, si le combat a toujours été collaboratif, si les flux

informationnels ont toujours été source de charge et/ou de stress, demain tout ceci sera démultiplié. Les systèmes seront nativement en interrelations. Les actions collaboratives nécessiteront des actions combinées et coordonnées en temps utile. Celles-ci seront réalisées par des agents humains et technologiques à autonomie plus ou moins avancée.

Avec l'arrivée massive des drones, les appuis électroniques, l'augmentation des constellations de satellites, l'espace de bataille sera probablement de plus en plus transparent, imposant un tempo encore plus rapide et précis. Les systèmes d'armes étant bardés de capteurs, il sera de plus en plus complexe d'être discret et de surprendre l'adversaire. L'analyse de l'environnement et le recours à l'Intelligence artificielle (IA) imposeront au commandement de savoir rester agile et créatif. Les unités tactiques devront encore plus qu'aujourd'hui être souples, félines, manœuvrières et intelligentes pour avoir l'ascendant. Il faudra avoir bien compris l'intention de son chef et savoir agir de manière opportune et autonome, sans oublier d'être économe pour pouvoir durer.

Enfin, l'environnement opérationnel se réinvente avec la révolution numérique. Les conflits récents mettent en évidence le caractère hybride des guerres, combinant actions cyber, lutte informationnelle et actions tactiques plus traditionnelles.

Quels impacts pour les systèmes sociotechniques ?

On ne peut pas opposer économie de guerre (*low tech*, rusticité, réduction des coûts, production de masse, cadence élevée), d'une part et innovation, voire rupture technologique, d'autre part. Il nous faut relever les deux défis simultanément.

Dans un pays qui sait ne pouvoir être qu'une force d'équilibre sur la scène internationale, il est clair que la conciliation entre masse et technologie sera une pré-occupation de tous les instants afin de faire face à ces conflits multi-milieux et multi-champs à géométrie variable. Comme le souligne le colonel (air) Toutain⁽¹⁾, lorsqu'en économie de guerre on évoque la notion de masse, il faut distinguer la « masse brute », forcément limitée pour un pays qui peine à investir 2 % de son PIB dans son outil de défense, et la « masse opérationnelle », potentiellement mobilisable dans un espace-temps donné pour avoir une supériorité opérationnelle. Cette obligation de définir de subtils et savants équilibres, nous impose donc de faire des choix maîtrisés en termes d'innovation pour ne pas avoir une guerre de retard, mais aussi en termes de nombre pour ne pas avoir un modèle d'armée échantillonnaire (cf. la loi d'Augustine) ne pouvant résister aux immanquables attritions des conflits de haute intensité.

En parallèle de ces priorisations, de nos choix et de nos renoncements, de l'optimisation de l'exploitation de nos ressources grâce à des *C2 (Command and Control)* performants, à des meutes et essais suffisants en nombre et en autonomie pour donner l'ascendant à nos forces, il nous faudra continuer à miser sur le facteur humain. Or, on ne pourra pas le faire en continuant comme aujourd'hui. On ne

⁽¹⁾ TOUTAIN Xavier, « Retour de la haute intensité : comment résoudre le dilemme entre masse et technologie ? », *Cahier de la RDN* « Faire face à la recomposition du monde - Regards du CHEM - 70^e session », 2021, p. 15 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?article=370&cidcahier=1264>).

pourra pas se satisfaire de concevoir unitairement des systèmes, en se félicitant que l'ergonomie n'a pas été oubliée. Il va falloir « changer de braquet » pour appréhender les interactions entre toutes les composantes des systèmes sociotechniques, décloisonner leurs cycles de conception, réduire le coût cognitif des interactions pour permettre aux humains d'exploiter favorablement leurs atouts tout en étant assistés au mieux, là où les agents technologiques sont plus performants.

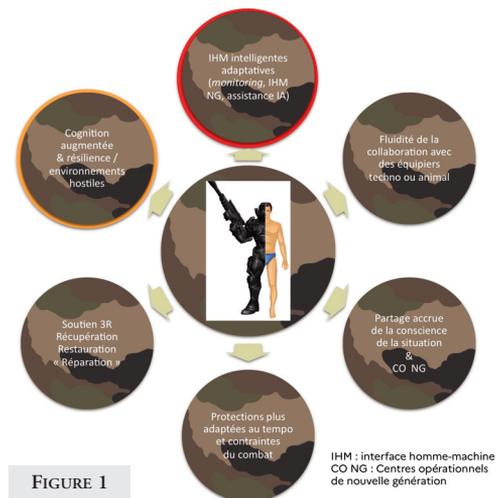
Cependant, il ne faut pas perdre de vue que certains sous-systèmes technologiques ne seront pas toujours au rendez-vous. Si la technologie est un facteur de puissance, de rapidité, elle est aussi souvent source de surprises et parfois de déconvenues. Pour être résilient, il va falloir davantage travailler tous ensemble (Forces, DGA, industries, écosystème de l'innovation, etc.) pour non seulement optimiser l'usage de la technologie, mais aussi pour continuer à savoir faire face à ses défaillances (pannes, *hacking*, manque d'énergie, etc.), voire son absence (neutralisation massive). Ceci impose donc de préserver des compétences humaines acquises au cours des décennies et qui pourraient se perdre vite en misant trop sur les assistances technologiques aux performances séduisantes mais potentiellement fragiles. Or, pour réduire la fragilité, souvent de nombreuses et longues études s'imposent et le recours à la redondance permet de sécuriser les systèmes. Cependant, lorsque des choix et des renoncements s'imposent, ces sécurités risquent fortement d'être amputées, voire sacrifiées.

Comment se préparer à ces défis ?

Partant du principe que la complexité des systèmes de systèmes ne fera que croître, soit du fait de la richesse informationnelle et fonctionnelle des systèmes en interrelations, soit du fait du nombre de « pions » à mobiliser sur un espace-temps contraint pour mener à bien des actions de masse, il va falloir chercher à rendre les interactions les plus naturelles possibles et à masquer cette complexité (d'où des travaux sur le *monitoring* neurophysiologique, sur les interfaces multimodales, sur le langage naturel, sur des C2 de nouvelle génération, etc.). En sus, il faudra entretenir le socle de connaissances et les savoir-faire pour garder un esprit critique sur les assistances.

Il faudra également savoir entretenir la confiance en soi, la confiance dans le collectif humain pour récupérer les situations critiques lorsque les composantes technologiques seront défaillantes, absentes, voire trompeuses (dysfonctionnement, *hacking*, etc.).

Pour ce faire, des choix s'imposent. L'Agence de l'innovation de défense (AID) en matière de S&T



Réduire la charge mentale ?

(science, recherche, technologie et innovation de défense) dans le domaine Hommes & Systèmes a pris le parti de consacrer prioritairement ses efforts sur les six axes de recherche indiqués dans la figure 1 et d'accélération de l'innovation pour contribuer à relever les défis balayés dans cet exposé.

Par ailleurs après cinq ans d'existence, elle a déjà orienté, sélectionné, suivi, commencé à exploiter, valorisé de nombreux projets de recherche et d'accélération de l'innovation. Pour ces travaux, très majoritairement soutenus par des subventions, la propriété intellectuelle n'a pas été achetée par le ministère des Armées. Cependant, ces travaux constituent un socle très intéressant sur lequel il est possible de construire.

Pour conclure, je vous propose un bouquet final avec une sélection de 16 projets soutenus par l'AID et présenté par leur type, leur titre, leur porteur et leurs objectifs. L'AID, par mon intermédiaire ou celle de notre pôle valorisation, pourra vous aider à vous mettre en relation avec les porteurs afin de construire de nouvelles collaborations et ainsi préparer l'avenir pour répondre aux défis qui sont devant nous.

<p>RAPID COGNISIM (Société Physip & Partn.)</p> <p>Objectif : Cognisim a démontré la possibilité d'évaluer la charge de travail et le stress de façon automatique et objective l'état d'un militaire au cours de son entraînement par simulation. Le projet a également permis de breveter une façon de rendre EEG (électro-encéphalographie)-compatible un équipement de tête.</p>	<p>Astrid ELOCANS (ISAE & Partn.)</p> <p>Objectif : électro-oculométrie pour l'Interaction homme-système (IHS) et le suivi physi dans les environnements réels et virtuels. L' électro-oculographie (EOG) permet de mesurer le signal électrique généré par les mouvements des yeux sans nécessité de caméra ou d'eye tracking mais par des capteurs de peau sur le visage ou dans les équipements.</p>	<p>PhD Baptiste Prébot, <i>Représentation partagée et travail collaboratif en contexte C2 : monitoring d'opérateurs en situation simulée de Command & Control</i></p> <p>Objectif : Déterminer pourquoi et comment le <i>monitoring</i> peut être utilisé en tant que moyen d'évaluation du partage de cognition d'opérateurs de C2, dans une perspective d'utilisation des données en temps réel.</p>
<p>RAPID ORCHESTRAA (Reviattech & Partn.)</p> <p>Objectif : Comment combiner les apports de l'intelligence artificielle (IA) et de la Réalité virtuelle (RV) pour immerger en condition quasi-réelle et mieux former par l'entraînement les personnels aux diverses situations de commandement et de gestion de crises ?</p>		<p>RAPID MATEP (Société Caylar & Partn.)</p> <p>Objectif : Démontrer l'usage du dispositif tactile et la pertinence du concept de sémantique tactile.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fantassin : transmission d'ordres, d'alertes et guidage tactile en situation de cheminement. • Hélicoptère : <i>feedback</i> tactile pour le pilote. • Cyno : transmission d'ordre tactile du maître-chien vers le chien.
<p>RAPID VR-DECISION (Manzalab & Partn.)</p> <p>Objectif : VR-D visait à étudier l'impact des technologies immersives sur le processus collaboratif sous-tendant le cycle décisionnel et la planification opérationnelle. Le consortium a conçu un dispositif qui permet à des experts distants de se réunir virtuellement pour planifier une opération à l'aide d'outils collaboratifs. Ce projet est aujourd'hui terminé.</p>	<p>PRE COMAIA (EN/Irenav) ⇔ COllaboration Multi-Agents en environnement naval basée sur l'IA</p> <p>Objectif : Étudier les conditions de collaboration humains-IA au sein d'un système sociotechnique complexe et ultra-connecté, notamment la « confiance » réciproque entre opérateurs humains et agents autonomes.</p>	<p>PRE MNEMOSYNE (EAE/CRéA)</p> <p>3 objectifs structurent ce projet / prépa Scaf,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) identifier les tâches opérationnelles dont les coûts cognitifs sont critiques et qui ne peuvent pas être pris en charge par des systèmes basés sur l'IA, 2) évaluer précisément ces coûts cognitifs, 3) développer les outils d'entraînement pour remédier aux problèmes de division de l'attention.

Réduire la charge mentale ?

<p>PhD M. PAGLIARI <i>IA et transparence : prédictibilité, sentiment de contrôle et confiance</i></p> <p>Objectif : Étudier la lisibilité des agents artificiels dit intelligents. Comment les informations communiquées par le système améliorent l'agentivité de l'humain (sentiment de contrôle), et comment l'agentivité peut en retour améliorer la performance des opérateurs ainsi que l'acceptabilité du système ?</p>	<p>PhD A. METGE <i>Opérateurs et systèmes intelligents : se comprendre pour décider, la supervision de drones.</i></p> <p>Objectif : À l'intersection de l'IA et du FH, analyse des principes d'interaction qui permettent la mise en place d'une collaboration performante entre un utilisateur et un système de recommandation intelligent dans un contexte de prise de décision (nouveau plan de vol avec ou sans assistance IA).</p>	<p>PTD HYPERION (TNS MARS & Partn.) <i>Analyse, sélection et développement d'innovations au profit du combat collaboratif terrestre connecté Scorpion</i></p> <p>Objectif : projet permettant de recevoir des propositions d'intégration de briques d'IA et développement de l'automatisation au profit du combat. Ex. : tenue de situation tactique ; protection, observation, agression et connaissance collaborative du terrain ; aide au commandement + capacités transverses du combat collaboratif : supervision, assistants virtuels...</p>
<p>ASTRID EMOCOG (EAE/CR6A & AMU)</p> <p>Objectif : Étude de l'influence des émotions sur les stratégies de résolution de problèmes : études fondamentales et validations écologiques en milieu militaire.</p>		<p>Challenge MOBILEX (7 consortia)</p> <p>Objectif : Challenge mettant 7 équipes en compétition pendant 3 ans (3 défis à complexité croissante) afin d'améliorer les capacités d'autonomie des plateformes terrestres. D'où recherche de diminution de la charge cognitive par l'autonomie du robot en tout terrain.</p>
<p>Chaire Archi des Systèmes Complexes (CIEDS, AID, Dassault Aviation & Syst, Naval Group, KNDS)</p> <p>Objectif : Avec l'arrivée de l'IA et le contexte collaboratif, il faut mieux accompagner l'évolution des formations en architecture de systèmes complexes et mieux anticiper l diversité des ruptures technologiques susceptibles d'impacter ces architectures.</p>	<p>PRE MPH (ISAE) ⇔ Modélisation de la Performance Humaine : applications aux tâches complexes et opérationnelle</p> <p>Objectif : MPH vise à développer et valider en situation opérationnelle un modèle psychophysiologique complet de la performance humaine lors de tâches complexes, applicable aux personnes en situation d'apprentissage.</p>	<p>PRE MAIA (ISAE) <i>Modèle attention/IHM adaptative</i></p> <p>Objectif : développement de technologies neuro-adaptatives avec adaptation des électrodes pour une utilisation prolongée en condition opérationnelle. Mise en œuvre des interfaces cerveau-machine pour détecter des états dégradés en condition réelle de vol. Évaluation de <i>neurofeedback</i> et mise en place d'un cockpit neuro-adaptatif.</p>

MindPulse : un nouvel outil pour mesurer capacités décisionnelles et degré de vigilance

Sandra SUAREZ et Bertrand EYNARD

Docteure en Neurosciences et NeuroPsychologue, directrice de recherches à Ir's Brain.

Docteur en Physique-Mathématiques, directeur de recherches, CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).

Les capacités décisionnelles : un élément clé des fonctions exécutives et un enjeu opérationnel majeur

La cognition ⁽¹⁾ englobe un large éventail de fonctions, jouant un rôle fondamental dans le comportement humain, les interactions sociales et la manière dont les individus appréhendent et interagissent avec leur environnement. Dans la cognition, les capacités à prendre des décisions éclairées sont au cœur de l'efficacité des forces armées modernes. Face à des environnements de plus en plus complexes et à des menaces en constante évolution, la prise de décision rapide et appropriée est une compétence cruciale pour les soldats. Cette aptitude, issue des **fonctions exécutives**, constitue une composante essentielle de la performance opérationnelle.

« Pour les forces militaires, les capacités cognitives de prise de décision sont un enjeu opérationnel majeur pour sélectionner, pour évaluer la préparation et la capacité à partir en mission, pour la gestion opérationnelle et pour le suivi. » (Médecin chef Marion Trousselard).

Cependant, les capacités décisionnelles sont sensibles et peuvent être altérées par des émotions comme le stress, par le manque de sommeil ainsi que par des substances ou environnements neurotoxiques (alcool, drogues, etc.), mais aussi par les situations de surcharge cognitive liées notamment à l'utilisation d'équipements de plus en plus nombreux et complexes. Pour anticiper et gérer ces situations de **surcharge cognitive**, il est indispensable de pouvoir mesurer les capacités décisionnelles de base des soldats. Cela permet d'identifier les faiblesses cognitives potentielles, d'aider ceux qui sont les plus à risque et d'adapter les entraînements afin de renforcer la résilience cognitive en situation de stress.

⁽¹⁾ C'est-à-dire l'ensemble des processus mentaux qui se rapportent à la fonction de connaissance et qui mettent en jeu des éléments essentiels tels que la mémoire, le langage, le raisonnement, l'apprentissage, l'intelligence, la résolution de problèmes, la prise de décision, la perception et l'attention. Sa définition a évolué pour intégrer les fonctions émotionnelles, qui font partie intégrante du raisonnement et de la prise de décision.

MindPulse : un nouvel outil
pour mesurer capacités décisionnelles et degré de vigilance

Le défi est de pouvoir « mesurer de façon objective » si la capacité décisionnelle est affectée ou pas, et ainsi avoir un indicateur permettant de développer des méthodes pour améliorer la prise de décision. Le *MindPulse* est un test innovant conçu à partir des modèles récents de neurosciences et de mathématiques de haut niveau, qui permet justement de mesurer ces données cognitives (Suarez, *et al.*, 2021 ; Ansado, *et al.*, 2024). C'est une technologie déjà utilisée dans des études concernant la Marine, l'aérospatial, les pompiers, l'armée de Terre ou la Gendarmerie.

Prendre la bonne décision : un enjeu critique

Les fonctions exécutives sont un ensemble de compétences cognitives essentielles qui jouent un rôle central dans notre capacité à rester adaptés à un environnement changeant, à résoudre des problèmes et à réussir nos interactions sociales et professionnelles. Ces fonctions nous permettent de planifier, d'organiser, de gérer notre temps et nos émotions et de prendre des décisions. Ces capacités sont cruciales pour la réussite dans de nombreux aspects de nos vies. Parmi ces compétences, la prise de décision occupe une place centrale et constitue une fenêtre sur la manière dont nous utilisons nos fonctions exécutives pour faire des choix éclairés et adaptés à notre environnement.

Prendre des décisions sous pression

Dans un contexte militaire, on observe une introduction de plus en plus importante de technologies et de nouveaux équipements. Ces outils permettent de traiter de grandes quantités de données, mais augmentent également la charge cognitive sur les soldats.

Selon Daniel Billing et ses collègues (2021) de Defence Science and Technology Group, Australia, d'ici 2040 « la demande cognitive dominera entièrement les niveaux stratégiques et opérationnels, et représentera les trois quarts des exigences

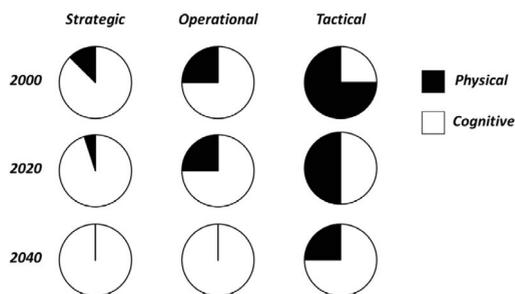


SCHÉMA 1 : Évolution de l'équilibre entre les exigences cognitives et physiques pour le combattant humain aux niveaux stratégique, opérationnel et tactique en 2000 et 2020, avec projections jusqu'en 2040 (BILLING, *et al.*, 2021).

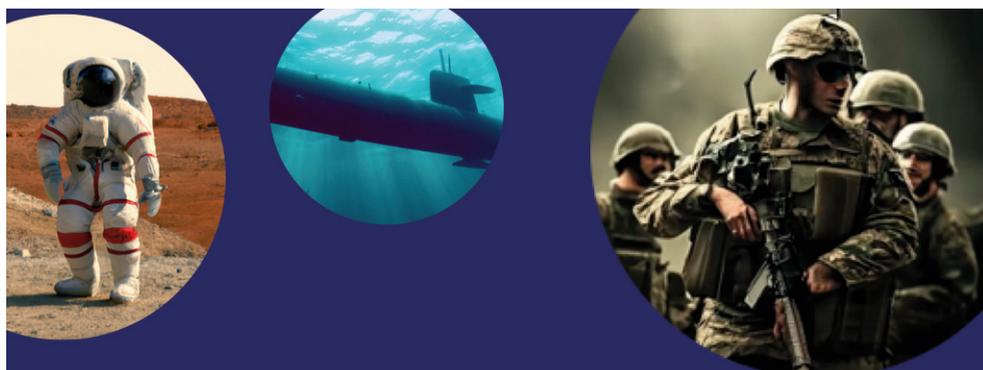
MindPulse : un nouvel outil
pour mesurer capacités décisionnelles et degré de vigilance

tactiques, transformant profondément le rôle autrefois physique, du combattant en un rôle centré sur les compétences cognitives avancées » (voir schéma 1).

Ces innovations peuvent donc accentuer les risques de surcharge cognitive, notamment lorsque les soldats doivent simultanément interpréter des recommandations issues de ces technologies et prendre des décisions éclairées dans un temps contraint. Une gestion inadéquate de cette surcharge peut entraîner des erreurs critiques dans des situations tactiques à haut risque.

Mesurer et prévenir la surcharge cognitive grâce à l'outil innovant *MindPulse*

Pour prévenir les effets de la surcharge cognitive ⁽²⁾, il est crucial de mesurer et d'évaluer régulièrement les capacités décisionnelles des soldats afin d'identifier les



- > **Évaluation / Sélection / Affectation** (enrôlement / missions / risques).
- > **Repérage des comportements à risque** (Difficultés exécutives issues de dépression / addiction / traumatismes, etc.)
- > **Évaluation de l'impact des environnements** isolés, confinés, extrêmes et inhabituels sur les réponses psycho-physio-cognitives des militaires.

Repérer et prévenir les risques de surcharge cognitive dans les conflits de haute intensité demandant une gestion accrue d'outils technologiques

⁽²⁾ La **surcharge cognitive** se réfère à un état dans lequel un individu est confronté à un excès d'informations ou à des exigences mentales qui dépassent sa capacité de traitement cognitif. Dans le contexte militaire, la surcharge cognitive peut survenir lorsque les soldats doivent gérer simultanément de nombreuses tâches complexes, telles que l'analyse d'informations en temps réel, la prise de décision stratégique, la communication avec d'autres membres de l'équipe et l'évaluation des menaces. Cette surcharge peut avoir des conséquences graves, notamment des erreurs de jugement, une diminution de la performance, une augmentation du stress et une incapacité à réagir rapidement et efficacement aux situations critiques. Les environnements opérationnels modernes, avec leurs technologies avancées et leurs flux d'informations en constante augmentation, exacerbent ce phénomène.

individus les plus susceptibles de subir des effets délétères d'un effet de surcharge cognitive. Cette évaluation permettrait de détecter les vulnérabilités potentielles et éventuellement d'offrir une réponse personnalisée soit en diminuant la charge cognitive, soit en renforçant les compétences spécifiques, et/ou la régulation émotionnelle.

MindPulse est un test neurocognitif numérique qui permet d'évaluer et de quantifier les fonctions attentionnelles et exécutives, y compris la capacité décisionnelle. C'est une innovation française, brevetée et lauréate du concours à l'innovation scientifique iLab 2021 organisée par la Banque pour l'innovation (BPI). Le test mesure les temps de réaction et la précision des réponses pour caractériser l'état cognitif du sujet.

Un temps de réaction ⁽³⁾ simple, qui comprend le temps de perception et d'analyse visuelle, une décision d'action simple et l'action des muscles, varie entre 200-300 ms. Si l'on demande au sujet une tâche de catégorisation des images, même simple, le temps moyen est autour de 500 ms, et pour une tâche demandant une double catégorisation et de l'inhibition, notre temps d'action passe autour de 800 ms !

Le dispositif mesure au centième de seconde la réaction d'un sujet à des images dans des conditions de catégorisation de plus en plus complexes. Un algorithme permet ensuite d'analyser la performance du sujet pour en dégager une mesure des capacités décisionnelles, englobant sa vitesse psychomotrice liée à son état d'alerte, ses fonctions exécutives (dans un équilibre vitesse-précision), son attention partagée et un nouvel indicateur appelé « Réaction à la difficulté », qui offre un aperçu de la manière dont le sujet s'adapte à la difficulté perçue (en lien avec son état émotionnel face à la situation) avec une mesure chiffrée de l'impact de cette adaptation/mal-adaptation sur sa vitesse cognitive exécutive.

En seulement 15 minutes, cet outil fournit un rapport détaillé avec 16 indicateurs, qui aide à identifier les forces et faiblesses cognitives d'un individu. Ce test est particulièrement pertinent pour les forces armées, car il permet de suivre l'évolution des compétences cognitives des soldats dans le temps, à la fois en présentiel et en distanciel, et de distinguer l'effet d'une fatigue physique d'une atteinte exécutive plus profonde sur les capacités décisionnelles.

Le rôle clé de la vigilance

La vigilance (ou état d'alerte) constitue le premier niveau de l'attention. Il s'agit de notre capacité à augmenter brusquement notre état d'éveil en réaction à un événement dans notre environnement, ce qui va nous permettre de réagir rapidement et de manière adéquate aux stimuli environnementaux. Elle est influencée par l'interaction entre l'individu et son environnement, compliquant ainsi sa reproduction en laboratoire. Bien que de nombreuses méthodes d'évaluation existent, comme des tests psychométriques et des mesures physiologiques, il est souvent difficile de concilier les résultats objectifs avec les ressentis subjectifs de fatigue, ce qui fait naître des modèles récents

⁽³⁾ Les échelles de temps montrent que notre cerveau prend plus de temps à réfléchir qu'à percevoir et répondre musculairement.

qui considèrent la vigilance comme un processus dynamique affectant les interactions entre le cerveau, le comportement et l'environnement (Klösch, *et al.*, 2022).



Cette problématique est si importante qu'elle a fait l'objet de la création d'une unité de recherche au sein de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), l'unité « Fatigue et Vigilance » dont la thématique d'intérêt est : « la fatigue et la dégradation de la vigilance induite par les situations opérationnelles militaires et à la gestion de la récupération ». Ses travaux ont pour objectifs de « comprendre les conséquences physiologiques des altérations du cycle veille/sommeil et du temps passé à la tâche ». Le développement d'outils comme *MindPulse* ouvre des perspectives pour évaluer cette vigilance dans des contextes contrôlés où les distractions sont éliminées, fournissant ainsi une mesure étalon précise des capacités cognitives maximales d'un soldat en interaction avec son fonctionnement exécutif.

La notion de complexité de la tâche et de surcharge cognitive

Repérer et prévenir les éléments de surcharge cognitive dans les conflits de haute intensité demandant une gestion accrue d'outils technologiques devient un enjeu opérationnel majeur. La complexité de la tâche est un facteur déterminant qui influence directement la performance cognitive des soldats dans des situations opérationnelles. À mesure que la complexité de la tâche augmente, les exigences cognitives sur les soldats s'intensifient, ce qui peut mener à une surcharge cognitive et notamment une difficulté exécutive ce qui va entraîner des prises de décision problématiques.

La difficulté pour pouvoir comprendre l'impact de la surcharge cognitive est de pouvoir mesurer le degré de difficulté d'une tâche. Une des prouesses techniques du test *MindPulse* est justement d'avoir réussi à déduire une échelle du traitement cérébral de cette difficulté. C'est-à-dire de pouvoir mesurer de « combien » une tâche est plus « difficile » qu'une autre ! C'est ce qui va permettre de comparer les réponses et surtout la vitesse et la précision de celles-ci lors de tâches de difficultés différentes. Ce point d'objectivation très important est celui qui permet ensuite d'envisager l'élargissement des mesures à des mesures en temps et en environnement réel avec de l'Intelligence artificielle (IA, voir *infra*).

Le développement de nouveaux outils basés sur les dernières avancées en neurosciences, capables de détecter finement le fonctionnement cognitif et d'anticiper les risques de surcharge cognitive est fondamental pour disposer d'outils scientifiques. *MindPulse* est ainsi utilisé aujourd'hui dans une dizaine de recherches militaires, pour évaluer l'impact des environnements stressants ou extrêmes – isolement, manque de sommeil, effets de la gravité, conditions de survie – sur la réponse psycho-cognitive des militaires (ex. Le Roy, *et al.*, 2023 ; 2024).

« La cognition humaine en situation à risque est un enjeu majeur de la sécurité dans un environnement technologique et opérationnel extrêmement dynamique. La complexité des systèmes d'armes impose de les asservir aux capacités de l'opérateur pour des raisons de performance et de sécurité. Il est nécessaire de disposer de biomarqueurs et de profils associés permettant l'identification et la prévention des dysfonctions cognitives et émotionnelles. » (Médecin chef Marion Trousselard)

Le rôle des émotions dans la décision

Pendant longtemps, on a cru que émotions et décisions rationnelles était indépendantes, voire opposées, mais ce dogme a explosé notamment grâce aux recherches du Professeur A. Damasio qui publie en 1995 un essai fracassant *L'erreur de Descartes*. Il y démontre que émotions et sentiments jouent un rôle fondamental dans la rationalité, l'élaboration de la pensée logique et la prise de décision humaine. Il présente la théorie des « marqueurs somatiques », qui montre le mécanisme par lequel les émotions sont indispensables à un comportement et une prise de décision ajustés.



« Pour le bon et le moins bon », les émotions font partie intégrante de la raison et de la prise de décision. Sans émotion nos raisonnements sont faussés. *MindPulse* permet d'avoir un aperçu de cette interaction des émotions sur les capacités décisionnelles. Le nouvel indice de « Réaction à la difficulté » qui fait l'objet d'un brevet conjoint avec le CNRS et l'Université Paris Saclay est une mesure corrélée à la situation émotionnelle du sujet (Suarez, *et al.*, 2021).

Un nouveau modèle pour comprendre le fonctionnement cérébral : le DDM

Grâce à la collaboration avec des mathématiciens et physiciens de haut niveau, le test *MindPulse* utilise le Modèle de diffusion de la décision (*DDM*) dans une version expérimentale afin d'analyser la manière dont un individu prend des décisions. Le *DDM* constitue un paradigme au plus proche du fonctionnement neurobiologique, permettant de modéliser et d'analyser la prise de décision à partir d'une tâche de Go-NoGo ⁽⁴⁾.

La diffusion est un principe physique, décrivant par exemple la façon dont les électrons diffusent en interagissant de proche en proche, rebondissant de façon quasi-aléatoire dans un matériau pour finalement produire un courant électrique. C'est le physicien et neuroscientifique Roger Ratcliff (1978) qui proposa en premier d'utiliser le modèle de diffusion stochastique pour comprendre le fonctionnement des neurones

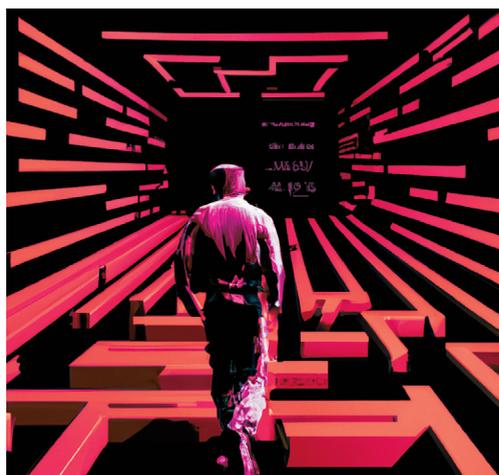
⁽⁴⁾ Les sujets doivent répondre le plus rapidement possible (Go) à une certaine classe de stimuli, par exemple, en pressant une touche de clavier, et ne pas répondre à d'autres classes de *stimuli* (No Go).

dans les capacités décisionnelles. Ce modèle a été validé dans de nombreuses études expérimentales, chez l'homme et chez l'animal : il est considéré comme le plus fiable de la prise de décision, permettant notamment de dégager des indices reflétant d'une part, le niveau attentionnel et d'autre part, une composante de nature plus « émotionnelle ». Cependant, son haut niveau technique du point de vue mathématique, constitue une barrière qui a freiné son utilisation, et le *MindPulse* est l'un des tout premiers à l'implémenter – en phase de développement aujourd'hui – dans un test court et utilisable. Il est actuellement testé dans certaines études chez des commandos.

Utilisation de l'IA pour comprendre le style d'adaptation à la décision de chacun

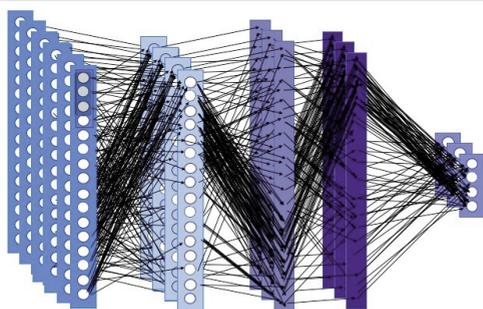
La technologie de *MindPulse* évolue avec l'apport d'une IA classificatrice permettant d'évaluer, pour chaque sujet, des Profils d'adaptation dynamique à la prise de décision (PAD). Ces profils permettent de regarder comment chaque sujet s'adapte et fait évoluer sa décision au cours du test. Ainsi, ce qui est regardé par l'IA, ce n'est pas simplement la moyenne des performances, mais la dynamique avec laquelle chaque sujet s'adapte au fur et à mesure de la tâche, ce qui permettra de repérer des difficultés liées au style d'adaptation de la personne (IA classificatrice non supervisée).

Les profils obtenus par l'IA prennent en considération la vitesse des sujets, leur précision, leur variabilité et leurs évolutions au cours du test, y compris les modifications du comportement après une erreur. Les mesures cognitives deviennent « dynamiques » et non plus un cliché statique, ce qui les rend beaucoup plus proches du fonctionnement réel. Ces innovations permettent de dégager des arguments cliniques inédits, ils sont actuellement utilisés pour l'étude des difficultés d'adaptation chez les patients avec dépression unipolaire majeure. Avec ces nouveaux développements, *MindPulse* évolue vers des modèles dynamiques et ambitionne de dégager des biomarqueurs cognitifs et pathologiques fiables pour mieux cibler les traitements.



Intelligence artificielle
et classification des profils d'adaptation
dans les processus de prise de décision :

- Réseau de neurones : IA classificatrice non supervisée.
- Identifier les difficultés cognitives mêmes subtiles.



Surveiller les capacités décisionnelles malgré la surcharge cognitive, en temps et en environnement réels ?

Pourrions-nous parvenir à une surveillance en temps et en environnement réels des capacités décisionnelles ? Nous pouvons imaginer que de tels dispositifs vont se développer. L'IA pourrait être utilisée pour calibrer un test cognitif, d'abord dans un environnement contrôlé, exempt de distractions et d'interférences, puis en simulateur avec des distractions calibrées, et enfin dans des environnements réels. Enfin, l'IA pourrait reconnaître les états cognitifs optimaux en simulateur et suivre la performance des soldats sur le terrain, en surveillant les dérives attentionnelles et exécutives. Le défi technique serait alors de comparer des tâches de niveaux de difficulté différents, un objectif que le *MindPulse* a déjà commencé à accomplir. L'objectif à terme est d'avoir des indicateurs dynamiques personnalisés de la cognition du sujet en situation pour proposer des actions de régulation dynamique de la cognition.

* Toutes les images ont été créées par Intelligence artificielle – Craiyon ou DALL.E – et remaniées (GIMP).

Monitorer l'adaptation décisionnelle

Le plus grand défi à venir est l'intégration d'un suivi des capacités cognitives en temps réel et en environnement réel !

Monitorer
Stimuler
Protéger



MindPulse : un nouvel outil
pour mesurer capacités décisionnelles et degré de vigilance

Éléments de bibliographie

ANSADO Jennyfer, EYNARD Bertrand, MIROFLE Nastasia, *et al.*, « Adult Norms for the Decision-Making MindPulse Digital Test », *Applied Neuropsychology: Adult*, 14 février 2024, p. 1-19. <https://doi.org/>.

BILLING Daniel C., FORDY Graham R., Friedl Karl E., et HASSELSTRØM Henriette, « The Implications of Emerging Technology on Military Human Performance Research Priorities », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), octobre 2021, p. 947-953. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.10.007>.

DAMASIO Antonio R., *L'Erreur de Descartes : la raison des émotions*, Odile Jacob, 1995, 368 pages.

KLÖSCH Gerhard, ZEITLHOFER Josef, et IPSIROGLU Osman, « Revisiting the Concept of Vigilance », *Frontiers in Psychiatry*, 14 juin 2022, 13, 874757. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.874757>.

RATCLIFF Roger, « A Theory of Memory Retrieval », *Psychological Review*, 85(2), 1978, p. 59-108. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.85.2.59>.

LE ROY Barbara, MARTIN-KRUMM Charles, GILLE Adèle, *et al.*, « Evaluation of taVNS for Extreme Environments: An Exploration Study of Health Benefits and Stress operationality », *Frontiers in Neurology*, 14, 22 novembre 2023, 1286919. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1286919>.

LE ROY B., MARTIN-KRUMM C., POUPON Charlotte, *et al.*, « Lost at Sea: Impact of an Ocean Survival Experience on Psychological, Physiological and Cognitive Abilities (RAD'LÔ) », *European Journal of Trauma & Dissociation*, 8(4), décembre 2024, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.ejtd.2024.100452>.

SUAREZ S., EYNARD B., et GRANON Sylvie, « A Dissociation of Attention, Executive Function and Reaction to Difficulty: Development of the MindPulse Test, a Novel Digital Neuropsychological Test for Precise Quantification of Perceptual-Motor Decision-Making Processes », *Frontiers in Neuroscience*, 15, 19 juillet 2021, 650219. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.650219>.

La neuromodulation pour prévenir les situations de surcharges cognitives : application aux pilotes d'avions

Sébastien SCANNELLA et Quentin CHENOT

Fédération ENAC ISAE-SupAéro Onéra ⁽¹⁾, Université de
Toulouse, France.

L'une des questions qui revient le plus fréquemment lorsqu'il s'agit de notre cerveau est de savoir comment améliorer son efficacité. Cela est vrai pour rivaliser avec les autres, pour récupérer à la suite d'une blessure ou pour gérer les tâches de plus en plus complexes que le développement technologique nous impose. Dans ces domaines, l'entraînement cognitif – entre autres – s'est imposé comme un moyen efficace de développer les aptitudes de notre cerveau à la réalisation de tâches complexes.

Parallèlement, des méthodes et des outils ont été développés afin d'essayer d'accroître les effets de ces entraînements cognitifs. Parmi eux, on trouve le vaste domaine de la neuromodulation qui a fourni des résultats encourageants en termes de récupération des troubles cognitifs (Krasny-Pacini et Evans, 2018), d'amélioration du fonctionnement cognitif (Anguera, *et al.*, 2013 ; Bless, *et al.*, 2014) ou de la gestion de tâches complexes (Chenot, *et al.*, 2022 ; Snowball, *et al.*, 2013), pour n'en citer que quelques-uns.

Dans le travail présenté ici, nous nous sommes intéressés aux bénéfices comportementaux possibles de la combinaison d'un entraînement cognitif à des tâches complexes avec une stimulation électrique transcrânienne non invasive spécifique, à savoir la stimulation à bruit aléatoire (Moreno-Duarte, *et al.*, 2014). Plus précisément, nous avons souhaité évaluer un gain possible de cette stimulation en termes de transfert d'apprentissage depuis un entraînement à des tâches complexes sur ordinateur vers la gestion d'un simulateur de vol chez de jeunes pilotes d'avion.

⁽¹⁾ Cette fédération de recherche regroupe l'École nationale d'aviation civile, l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'Espace ainsi que l'Office national d'études et de recherches aérospatiales.

Le pilote d'avion en situation critique

Bien qu'aujourd'hui le transport aérien soit le moyen de déplacement le plus sûr ⁽²⁾ ⁽³⁾, il existe malheureusement encore des accidents qui peuvent mettre en péril la vie des passagers. Ainsi, de nombreux morts ont été comptés au cours des dix dernières années pour le transport civil ⁽⁴⁾. Au-delà des pertes humaines, les pertes matérielles et financières peuvent être énormes.

De même, l'issue d'un conflit armé peut dépendre de la bonne gestion d'une unité aérienne. Les situations pouvant conduire à des accidents ou des incidents aériens correspondent à des situations complexes mettant en jeu plusieurs facteurs. Parmi eux, on retrouve souvent la fatigue en lien avec un vol ou une mission longue, la pression temporelle, la complexité des informations à traiter ou encore une perte de la conscience de la situation (Endsley, 1995).

Ces situations critiques sont aussi présentes dans de nombreux systèmes complexes tels que le bloc opératoire, la salle de contrôle d'une centrale nucléaire et, peu à peu, la conduite (supervision) de véhicules autonomes. De fait, comprendre ces phénomènes et trouver des solutions pour mitiger les risques ne s'applique pas seulement au domaine aéronautique mais à de nombreux environnements complexes dans lesquels des vies sont en jeu.

La gymnastique du cerveau ou l'entraînement cognitif

Il existe aujourd'hui de nombreuses pistes de recherche pour essayer d'éviter à des opérateurs de systèmes complexes de se retrouver dans des situations de perte de contrôle. On peut simplifier ici leur description en les regroupant dans deux catégories : améliorer les interfaces ou les entraînements (*e.g.* capacités mentales) de l'opérateur.

La première branche de recherche et de développement s'intéresse à analyser les activités des opérateurs en ligne pour trouver des solutions d'aide, de répartition de l'information ou de contre-mesures pour remettre l'opérateur dans la boucle. Ainsi, on peut inférer l'état de la situation en comparant son état comportemental et physiologique (activité oculaire, cérébrale, cardiaque, etc.) aux paramètres du système complexe – ceux de l'aéronef en ce qui concerne le pilote d'avion. Cette approche regroupe les études de *monitoring* et d'interface cerveau-machine (Kawala-Sterniuk, *et al.*, 2021). En complément de celle-ci, il est possible de travailler en amont pour améliorer la résistance du cerveau face aux facteurs affectant l'efficacité cognitive mentionnée plus haut. Dans ce but, la formation des pilotes est développée à un niveau avancé. Ces derniers sont régulièrement confrontés à des situations complexes leur permettant de mettre à l'épreuve leur formation et leur capacité à maintenir l'intégrité de leur vol. Ces formations présentent tout de même certaines limites comme le fait que les scénarios entraînés ne peuvent, à eux seuls, représenter l'ensemble des conditions et combinaisons

⁽²⁾ « Pourquoi l'avion est le moyen de transport le plus sûr ? », *Delayed*, 22 mai 2023 (<https://delayed.co/>).

⁽³⁾ NATIONAL SAFETY COUNCIL, « Deaths by Transportation Mode », *Injury Facts* (<https://injuryfacts.nsc.org/>).

⁽⁴⁾ « Aviation and Plane Crash Statistics | Up to Date List », *Panish | Shea | Ravipudi LLP* (<https://www.panish.law/>).

de facteurs possibles que les pilotes pourront rencontrer au cours de leur carrière. En effet, comme souvent mentionné dans les rapports du BEA (Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile) et BEA-É (Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aéronautique d'État), les conditions de survenues d'un accident ou d'un incident sont souvent le fruit d'une conjoncture unique d'événements (dé)favorables (Reason, 1990).

Une approche complémentaire, toujours dans le domaine de la formation, consiste à entraîner le cerveau, de manière plus générique, à pouvoir mettre en jeu les fonctions cognitives adaptées à davantage de situations complexes. Dans ce cas, il ne s'agit plus d'entraîner le cerveau à la gestion d'un ou plusieurs cas critiques particuliers, mais de solliciter régulièrement les fonctions cognitives de haut niveau ; fonctions clés indispensables pour gérer la complexité de ces situations. Ainsi, « ces fonctions exécutives clés sont l'inhibition [inhibition de la réponse (maîtrise de soi – résister aux tentations et ne pas agir de manière impulsive) et contrôle de l'interférence [...], la mémoire de travail et la flexibilité cognitive (y compris la pensée créative “*Outside the box*”, [...], et l'adaptation rapide et souple à des circonstances changeantes)] » (Diamond, 2013). C'est ce qui a notamment été retrouvé dans de nombreux travaux fondamentaux (Friedman et Miyake, 2017 ; Miyake, *et al.*, 2000) et en clinique (Godefroy, *et al.*, 2010). C'est dans cette optique que des chercheurs ont souhaité développer des tâches permettant d'entraîner le cerveau – de manière plus générique – à s'améliorer dans ces fonctions. La *Multi-Attribute Task Battery (MATB-II)* développée par la NASA par exemple (Comstock Jr et Arnegard, 1992 ; Santiago-Espada, *et al.*, 2011) a pour ambition de créer des programmes de « gymnastique cérébrale » pour améliorer la gestion de tâches multiples. Avec les mêmes intentions, le jeu vidéo *Space Fortress* (Mané et Donchin, 1989 ; Shebilske, *et al.*, 1999) a été développé pour entraîner ces fonctions de manière dynamique et ludique. Il a par exemple été montré que des pilotes militaires ayant suivi un entraînement à ce jeu avaient une meilleure gestion des événements complexes en vol réel et une meilleure gestion des tâches multiples que les autres pilotes (Gopher, Well et Bareket, 1994).

Stimuler les réseaux cérébraux sollicités par une tâche pour accroître la plasticité cérébrale

Pour aller plus loin, un champ d'action complémentaire à l'entraînement comportemental s'est développé vers le milieu des années 2000 ⁽⁵⁾ dans le but de *booster* les mécanismes d'apprentissage. Il s'agit des techniques de stimulations cérébrales transcrâniennes non invasives, soit par champ magnétique ponctuel (*TMS* pour *Transcranial Magnetic Stimulation*) ou par champ électrique (*TCS* pour *Transcranial Current Stimulation*). Dans le cas des stimulations électriques, une distinction peut être faite selon que le courant appliqué est continu (*tDCS* pour *transcranial Direct Current Stimulation*) ou alternatif (*tACS* pour *transcranial Alternative Current Stimulation*). Dans le premier cas, l'application du courant continu à la surface du scalp va induire

⁽⁵⁾ Source *PubMed* 2024 (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>).

une modification du potentiel membranaire des neurones sous-jacents et, en principe, faciliter la transmission nerveuse. On comprend ici que cette stimulation appliquée pendant la réalisation d'une tâche entraînée a pour but de faciliter les mécanismes cérébraux (plasticité cérébrale) en lien avec cette tâche (Lu, *et al.*, 2021). Dans le cas d'une stimulation à courant alternatif, les mécanismes sont différents dans le sens où l'effet principal recherché est de trouver une fréquence de stimulation proche de celle de la population neuronale ciblée pour faciliter la décharge (Moreno-Duarte, *et al.*, 2014). Enfin, dans une technique appartenant à une sous-famille de la *tACS*, un courant alternatif dont la fréquence d'oscillation est aléatoire (par exemple, comprise entre 100 et 500 Hz) est utilisé. Il s'agit alors de la *tRNS* (*transcranial Random Noise Stimulation*). Dans ce cas, il n'existe pas de consensus sur les mécanismes permettant d'expliquer une amélioration de l'efficacité neuronale. Toutefois, l'explication la plus souvent mise en avant stipule que le balayement de cette gamme de fréquence permettrait la mise en place de mécanismes de résonance stochastique (Pavan *et al.*, 2019 ; van der Groen, *et al.*, 2018) – mécanismes par lesquels le « bruit électrique » induit dans le système neuronal pourrait potentialiser certaines fréquences de la communication neuronale. De nombreuses études ont ainsi montré qu'il était possible d'améliorer les performances comportementales en lien avec les fonctions cognitives de haut niveau grâce à une stimulation *tRNS* concomitante à la tâche. Il s'agit d'un large éventail de fonctions cognitives de haut niveau, allant de l'attention (Lema, *et al.*, 2021) à la mémoire de travail (Murphy, *et al.*, 2020), en passant par l'inhibition (Brevet-Aeby, *et al.*, 2019) ou la gestion multitâche (Snowball, *et al.*, 2013). Dans la plupart de ces études, le cortex préfrontal dorsolatéral (*DLPFC*) a été choisi comme cible de la stimulation pour son rôle majeur dans la mise en jeu du contrôle exécutif au sein du réseau fronto-pariétal (Friedman et Robbins, 2022).

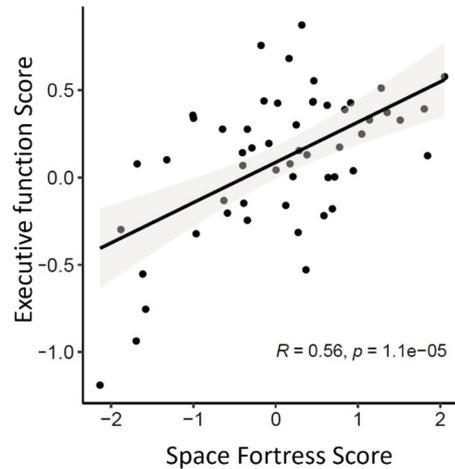
À travers deux études, c'est ce dernier type de stimulation, en lien avec la pratique d'une tâche complexe, que nous avons souhaité évaluer. Plus précisément, nous avons souhaité tester l'efficacité de la *tRNS* à améliorer les performances comportementales au jeu *Space Fortress* par un entraînement de quelques jours (étude 1) et tester la possibilité d'un transfert d'apprentissage – d'un entraînement plus long à *Space Fortress* et à la *MATB-II* couplée à la *tRNS* – vers la gestion de situations complexes en simulateur de vol (étude 2).

Le jeu *Space Fortress* comme outil écologique de mise en jeu des fonctions exécutives

Bien que ce jeu ait été développé avec l'intention de solliciter les fonctions exécutives nécessaires à la gestion de tâches complexes (voir description détaillée des règles dans l'article de Donchin, 1995), il n'existe pas d'étude, à notre connaissance, ayant établi un lien comportemental quantitatif entre ces deux dimensions. Un travail parallèle nous a conduits à évaluer celui-ci en procédant à des analyses corrélationnelles entre la performance obtenue à *Space Fortress* et celle obtenue en fonctionnement exécutif. Pour ce dernier, nous avons choisi d'utiliser une batterie de neuf tâches évaluant la mémoire de travail (mise à jour), l'inhibition et l'alternance de tâche (*switching*)

selon les travaux de Friedman et Miyake (voir Friedman et Miyake, 2017 ; Miyake, *et al.*, 2000). Sur une population de 66 personnes, nos résultats montrent un lien positif très fort (31 % de variance expliquée ; voir Figure 1) entre ces deux performances comportementales. Autrement dit, plus une personne avait un score élevé en fonctionnement exécutif, plus elle était performante à *Space Fortress*.

FIGURE 1. Résultat de l'analyse de corrélation entre les performances à la batterie de tests exécutifs et le jeu *Space Fortress*. Valeurs en z-scores. La ligne en gras correspond à l'ajustement linéaire et la zone grisée à l'intervalle de confiance à 95 %.



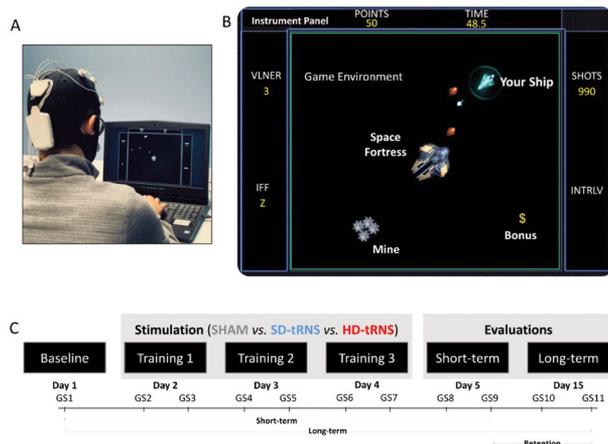
Étude 1 : entraînement et stimulation cérébrale lors d'une tâche complexe

Protocole expérimental étude 1

Dans cette première étude, trois groupes de participants ont été inclus dans un protocole d'entraînement au jeu *Space Fortress* durant une semaine, à raison de deux sessions de 10 minutes par jour, puis une session d'évaluation à moyen terme, 10 jours plus tard. Le premier jour (sans entraînement) correspondait à l'évaluation de la performance initiale au jeu, qui servira de référence pour évaluer les effets de l'entraînement. Les jours 2 à 4 correspondaient aux sessions d'entraînement au jeu avec stimulation *tRNS* appliquée sur le *DLPFC* droit. Les 5^e et 15^e jours (sans stimulation) permettaient respectivement la mesure de la performance au jeu à court et moyen termes (voir Figure 2).

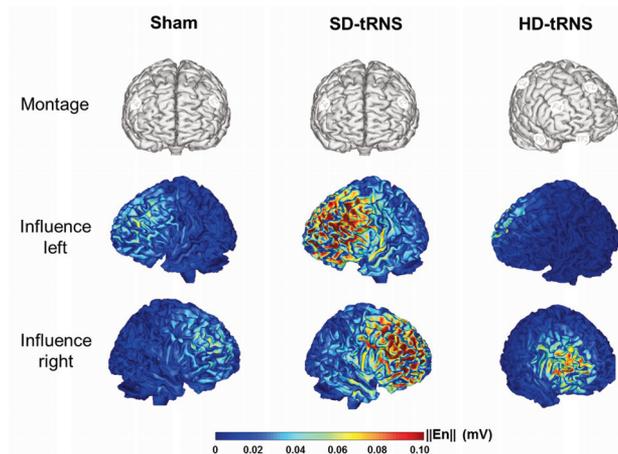
FIGURE 2. Plan expérimental de l'étude 1.

- A. Participant face au jeu, équipé d'un système de stimulation *tRNS* (Strastim®, Neuroelectrics).
 - B. Capture d'écran du jeu *Space Fortress*.
 - C. Décours temporel de l'expérience.
- GSn* : Game session *n*.



Les trois groupes de participants ont été construits de manière à évaluer trois types de montages d'électrodes de stimulation (Figure 3). Le groupe 1 (n=22) a reçu une stimulation placebo au cours des trois journées d'entraînement. Le groupe 2, *SD-tRNS* (montage Simple densité ; n=22) a été stimulé avec un montage conventionnel comportant 2 éponges circulaires de 25 cm² dont l'anode (stimulatrice) était placée sur le *DLPFC* droit (position F4 du système international 10-20) et la cathode (retour) sur le *DLPFC* gauche, en position F5. Enfin, le groupe 3, *HD-tRNS* (montage Haute densité ; n=22) a été stimulé avec un montage comprenant 5 électrodes (pistim[®], 1 cm²) dont une électrode de stimulation placée en F4 et 4 électrodes de retour du courant placées sur le cortex préfrontal droit respectivement en C4, Fz, F8 et FP2 (voir Figure 3). Ce dernier montage, permettait une stimulation plus focale du *DLPFC* que le montage conventionnel. L'administration de la stimulation s'est faite en double aveugle. Enfin, pour tenir compte d'un biais possible en lien avec l'expertise initiale des participants aux jeux vidéo, un questionnaire sur leurs habitudes de jeu leur a été soumis.

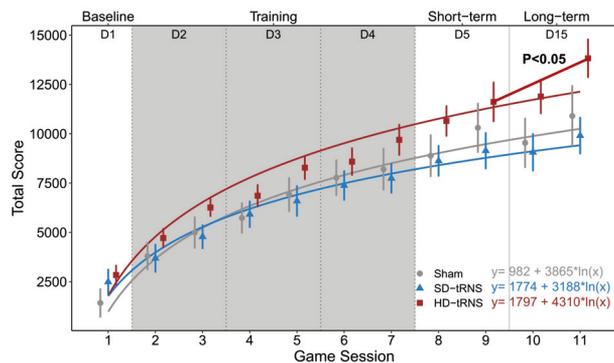
FIGURE 3. Représentation des montages d'électrodes pour les trois groupes et leurs cartes d'influence (champs électriques sur la matière blanche) correspondant. *Sham* = placebo.



Résultats étude 1

Les analyses statistiques (analyse de la covariance [ANCOVA] : effet du groupe + expérience aux jeux vidéo) ont montré que la vitesse d'apprentissage entre les trois groupes (*learning rate*) n'était pas significativement différente. Lorsque les participants revenaient 10 jours après la dernière séance de stimulation, le groupe 3, stimulé avec le montage *HD* sur le *DLPFC* droit (*HD-tRNS*) a toutefois montré un

FIGURE 4. Performance au jeu *Space Fortress* au cours du temps selon le groupe de stimulation transcrânienne.



effet de rétention de la performance plus important que les deux autres (Figure 4). Autrement dit, ce qui a été appris au cours de l'entraînement de trois jours semble avoir été mieux consolidé chez ce groupe. Aucune différence entre le groupe placebo (*sham*) et le groupe *SD* n'a été observée.

Étude 2 : transfert d'apprentissage d'une tâche complexe vers l'activité de pilotage en simulateur de vol

Protocole expérimental étude 2

À partir des résultats obtenus dans l'étude 1, nous avons sélectionné le montage *HD* comme étant le plus prometteur. De plus, nous avons souhaité augmenter le nombre de sessions d'entraînement dans le but de mieux échantillonner les courbes d'apprentissages et de favoriser un apprentissage distribué pour maximiser les chances d'un transfert vers l'activité de pilotage. Ainsi, deux groupes de jeunes pilotes de l'aviation légère civile (*PPL* : Licence de pilote privé) ont été créés. Le premier groupe ($n=15$) a reçu une stimulation *tRNS HD* sur le *DLPFC* droit pendant un entraînement à *Space Fortress* et à la tâche *MATB-II*. Le second groupe ($n=15$) a suivi le même entraînement mais avec une stimulation placebo. Les paramètres de stimulation étaient strictement identiques à ceux de l'étude 1.

Pour les deux groupes, le protocole expérimental, sur onze semaines, était strictement le même (Figure 5). La première semaine, une session d'évaluation de la performance de pilotage dans des scénarios de vols complexes (balise *VOR* [système de positionnement radioélectrique], pannes, visibilité réduite, etc.) était réalisée. Au cours des semaines 2 à 6, les pilotes ont effectué dix sessions d'une heure d'entraînement avec ou sans stimulation (la stimulation était appliquée pendant les 20 premières minutes) en alternant la pratique de la *MATB-II* et de *Space Fortress* toutes les 3 minutes. Enfin, deux sessions d'évaluation de la performance en simulateur de vol ont été réalisées la semaine 7 (court terme) et la semaine 11 (long terme) avec à nouveau, des scénarios de vols en situation complexe.

La performance de vol a été calculée sur la base d'un score composite réaliste, intégrant le maintien de la bonne altitude, de la vitesse, du temps de vol, ainsi que de la qualité de l'approche et de l'atterrissage dans le simulateur *3-axe Pégase* de l'ISAE-SupAéro. Pour chaque session d'évaluation, les pilotes ont répondu à un questionnaire d'évaluation subjective de la charge de travail (*NASA-TLX*; Hart, 2006). De plus, une mesure objective de la charge mentale a été réalisée en leur demandant de presser un bouton sur le manche de pilotage à chaque fois qu'un son particulier (bip de 200 ms à

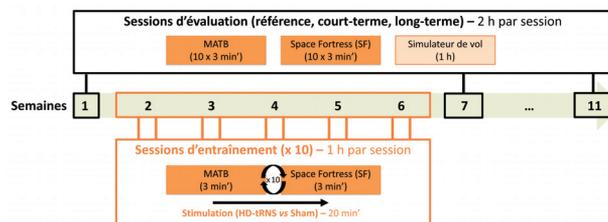


FIGURE 5. Plan expérimental de l'étude 2.

2000 Hz) était présenté (Oddball auditif ; Dehais, Roy et Scannella, 2019 ; Scannella, *et al.*, 2018).

Résultats étude 2

Le premier résultat intéressant concerne l'absence de différence significative entre les deux groupes en ce qui concerne les performances aux tâches entraînées. Autrement dit, quel que soit le type de stimulation (vraie *vs* Placebo) les pilotes des deux groupes ont progressé de manière équivalente et les performances finales à la *MATB-II* et à *Space Fortress* n'étaient pas différentes (Figure 6). De la même manière, que ce soit pour la session d'évaluation à court terme ou celle un mois plus tard, les deux groupes ne se sont pas différenciés dans la gestion des scénarios de vol (Figure 7). Enfin, la même absence d'effet du groupe a été observée sur le ressenti subjectif et la mesure des ressources attentionnelles auditives.

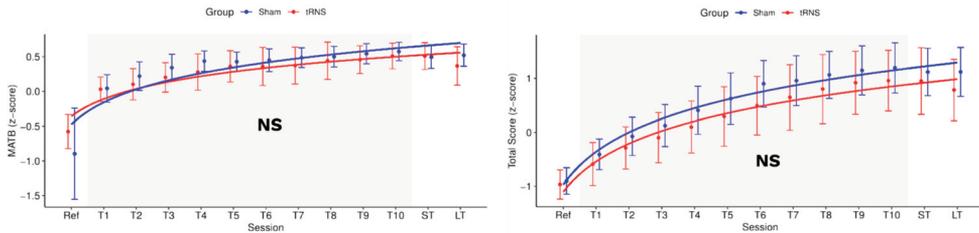


FIGURE 6. Performance aux tâches entraînées pour la *MATB* (à gauche) et *Space Fortress* (à droite). Les scores sont représentés en Z-scores, les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95 %.

Simu Perf

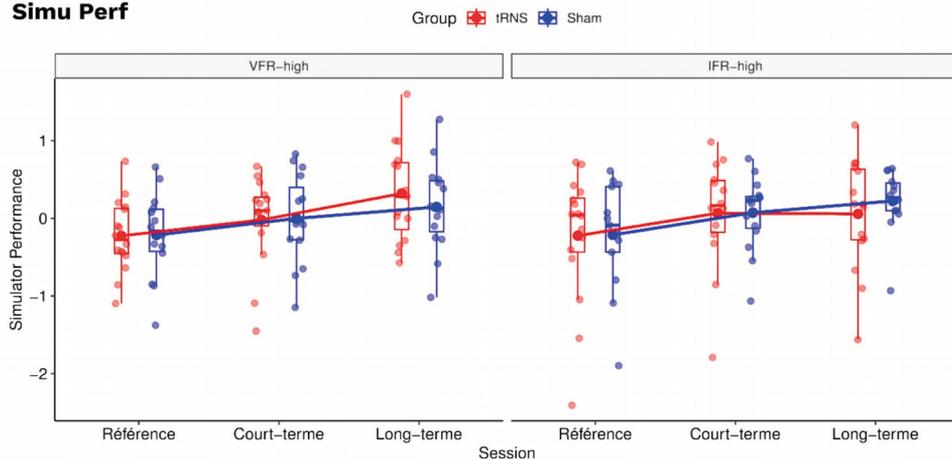


FIGURE 7. Performance (score composite) aux scénarios de vol en simulateur. Les scores sont représentés en Z-scores, les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95 %.
VFR : Visual Flight Rules ; *IFR* : Instrument Flight Rules.

Discussion

Ce travail réalisé à travers deux études distinctes avait pour objectif d'évaluer le bénéfice possible d'une stimulation cérébrale non invasive sur l'apprentissage de tâches complexes. La première étude a consisté en un entraînement au jeu *Space Fortress*, qui sollicite les fonctions clés du contrôle cognitif. Cet entraînement a été associé à une stimulation vraie en montage classique (*tRNS-SD*), vraie en montage haute définition (*tRNS-HD*) ou placebo du *DLPFC* droit. Les résultats montrent qu'il existerait un gain supérieur de la qualité de rétention des processus comportementaux acquis lors de l'entraînement associé à une stimulation focale du *DLPFC* droit (*tRNS-HD*) par rapport au montage conventionnel ou une stimulation placebo. Cet effet pourrait s'expliquer par une meilleure consolidation des processus cérébraux impliqués dans la tâche et donc un meilleur accès lorsque ces derniers sont à nouveau sollicités, 10 jours plus tard. En effet, un des mécanismes d'action supposé de la *tRNS* reposerait sur la mise en jeux de processus de Potentialisation à long terme (PLT) ; (Bliss et Collingridge, 1993 ; Stuchlik, 2014).

Sur la base de ces résultats, nous avons retenu le montage *tRNS-HD* pour une seconde étude visant à évaluer les effets de transfert de ce type d'entraînement sur l'activité de pilotage en situations complexes. Toutefois, les résultats ont montré une absence d'effet de ce type de stimulation non seulement sur la performance de pilotage mais aussi sur les tâches directement entraînées. Ainsi, bien que nous ayons augmenté le nombre de sessions d'entraînement par rapport à l'étude 1, nous n'avons pas reproduit les résultats précédemment observés. Plusieurs explications peuvent être apportées. Premièrement il se pourrait que l'effet observé dans l'étude 1 soit un faux positif. En effet, seule une vingtaine de participants étaient présents dans chacun des trois groupes conduisant à une puissance statistique relativement faible. De la même façon, si ce résultat de l'étude 1 n'est pas un faux positif, le manque de puissance a pu aussi cacher un effet significatif dans l'étude 2 où seulement 15 pilotes par groupe ont pu être inclus. Enfin, en vertu du principe de précaution, les paramètres de stimulation cérébrale non invasive en Europe (intensité du courant, durée de la stimulation, etc.) peuvent conduire à une influence faible sur l'activité cérébrale. Quelle que soit la ou les explications, il demeure que la question de l'utilité d'un système sans danger pour l'utilisateur qui permettrait un gain même faible pour un investissement en temps et en argent considérable se pose. Enfin, les implications éthiques de la stimulation cérébrale doivent également être soulignées. Si certains participants ont perçu des bénéfices potentiels, tels que l'amélioration cognitive et un intérêt pour la technologie, d'autres ont soulevé des préoccupations concernant son coût, l'équité sociale et les possibles impacts à long terme sur la santé.

Perspectives

De ces travaux, nous pouvons tirer plusieurs enseignements et pistes de développement. Pour pallier les limites présentées, une étude avec des paramètres de stimulation plus audacieux pourrait être menée. Toutefois, la littérature sur le sujet ne semble pas confirmer que cela se joue en matière d'intensité du courant, avec des

résultats très proches entre des sessions à 1 mA comparées à 2 mA (Ehrhardt, *et al.*, 2021 ; Esmaeilpour, *et al.*, 2018 ; Ho, *et al.*, 2016). Il se pourrait donc que les paramètres affectant la forme du courant lui-même soient une meilleure piste. Par exemple, l'ajout d'un *DC-offset* (*Direct Current offset* ou valeur fixe de courant direct) à un courant alternatif, c'est-à-dire d'une valeur constante continue, permettrait de faire circuler le courant dans un seul sens, contrairement à une oscillation autour de 0 mV, avec potentiellement de plus grands effets sur la plasticité cérébrale (Murphy, *et al.*, 2020). Enfin, un champ nouveau de la stimulation cérébrale est actuellement en train de voir le jour et semble prometteur, tout du moins sur la faible invasivité de la méthode. Il s'agit du domaine de la stimulation visuelle (Michael, *et al.*, 2023). Cette étude en particulier, a montré que des stimulations lumineuses oscillant à la fréquence propre d'un individu (*e.g.* à la même fréquence que le rythme alpha de l'activité cérébrale propre à une personne) permettaient d'améliorer de manière significative l'apprentissage dans des tâches de prise de décision perceptuelle. Bien que cette voie soit prometteuse, il est nécessaire aujourd'hui de travailler sur l'ergonomie de tels dispositifs et notamment sur le confort d'utilisation. Ce dernier point fait actuellement l'objet d'une recherche au sein de l'équipe de neuroergonomie de l'ISAE-SupAéro.

La neuromodulation pour prévenir les situations
de surcharges cognitives : application aux pilotes d'avions

Éléments de bibliographie

ANGUERA Joaquin A., BOCCANFUSO Jacqueline, RINTOUL James L., AL-HASHIMI Omar, FARAJI Farhoud, JANOWICH Jacqueline, KONG Eric, LARRABURO Yudy, ROLLE Christine, JOHNSTON Eric, *et al.*, « Video Game Training Enhances Cognitive Control in Older Adults », *Nature*, 501(7465), 2013, p. 97-101.

« Aviation and Plane Crash Statistics | Up to Date List », *Panish | Shea | Ravipudi LLP* (<https://www.panish.law/>).

BLESS Josef J., WESTERHAUSEN René, KOMPUS Kristiina, GUDMUNDSEN Magne et HUGDAHL Kenneth, « Self-Supervised, Mobile-Application based Cognitive Training of Auditory Attention: A Behavioral and fMRI Evaluation », *Internet Interventions*, 1(3), juillet 2014, p. 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2014.06.001>.

BLISS Tim V.P. et COLLINGRIDGE Graham L., « A Synaptic Model of Memory: Long-Term Potentiation in the Hippocampus », *Nature*, 361(6407), 1993, p. 31-39. <https://doi.org/10.1038/361031a0>.

BREVET-AEBY Charlotte, MONDINO Marine, POULET Emmanuel et BRUNELIN Jérôme, « Three Repeated Sessions of Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS) Leads to Long-Term Effects on Reaction Time in the Go/No Go Task », *Neurophysiologie Clinique*, 49(1), février 2019, p. 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.10.066>.

CHENOT Q., HAMERY Caroline, LEPRON Evelyne, BESSON Pierre, DE BOISSEZON Xavier, PERREY Stéphane et SCANNELLA S., « Performance After Training in a Complex Cognitive Task is Enhanced by High-Definition Transcranial Random Noise Stimulation », *Scientific Reports*, 12(1), 2022, p. 1-12. <https://doi.org/>.

COMSTOCK J^R, RAYMOND J. et ARNEGARD Ruth J., *The Multi-Attribute Task Battery for Human Operator Workload and Strategic Behavior Research*, NASA, 1992.

DEHAIS Frédéric, ROY Raphaëlle N. et SCANNELLA S., « Inattentive Deafness to Auditory Alarms: Inter-Individual Differences, Electrophysiological Signature and Single Trial Classification », *Behavioural Brain Research*, 360, 15 mars 2019, p. 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.11.045>.

DIAMOND Adele, « Executive Functions », *Annual Review of Psychology*, 64, 2013, p. 135-168. <https://doi.org/>.

DONCHIN Emanuel, « Video Games as Research Tools: The Space Fortress Game », *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 27(2), juin 1995, p. 217-223. <https://doi.org/10.3758/BF03204735>.

EHRHARDT Shane E., FILMER Hannah L., WARDS Yohan, MATTINGLEY Jason B. et DUX Paul E., « The Influence of tDCS Intensity on Decision-Making Training and Transfer Outcomes », *Journal of Neurophysiology*, 125(2), février 2021, p. 385-397. <https://doi.org/10.1152/jn.00423.2020>.

ENDSLEY Mica R., « Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems », *Human Factors*, 37(1), mars 1995, p. 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>.

ESMAELPOUR Zeinab, MARANGOLO Paola, HAMPSTEAD Benjamin M., BESTMANN Sven, GALLETTA Elisabeth, KNOTKOVA Helena et BIKSON Marom, « Incomplete Evidence that Increasing Current Intensity of tDCS Boosts Outcomes », *Brain Stimulation*, 11(2), mars-avril 2018, p. 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.12.002>.

FRIEDMAN Naomi P. et MIYAKE Akira, « Unity and Diversity of Executive Functions: Individual Differences as a Window on Cognitive Structure », *Cortex*, 86, janvier 2017, p. 186-204. <https://doi.org/>.

FRIEDMAN Naomi P. et ROBBINS Trevor W., « The Role of Prefrontal Cortex in Cognitive Control and Executive Function », *Neuropsychopharmacology*, 47(1), janvier 2022, p. 72-89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>.

GODEFROY Olivier, AZOUVI Philippe, ROBERT Philippe, ROUSSEL Martine, LEGALL Didier, MEULEMANS Thierry et Groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives, « Dysexecutive Syndrome: Diagnostic Criteria and Validation Study », *Annals of Neurology*, 68(6), décembre 2010, p. 855-864. <https://doi.org/10.1002/ana.22117>.

GOPHER Daniel, WELL Maya et BAREKET Tal, « Transfer of Skill from a Computer Game Trainer to Flight », *Human factors*, 36(3), septembre 1994, p. 387-405. <https://doi.org/10.1177/001872089403600301>.

HART Sandra G., « Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later », *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), octobre 2006, p. 904-908. <https://doi.org/>.

HO Kerrie-Anne, TAYLOR Janet L., CHEW Taariq, GÁLVEZ Verònica, ALONZO Angelo, BAI Siwei, DOKOS Socrates et LOO Colleen K., « The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Electrode Size and Current Intensity on Motor Cortical Excitability: Evidence from Single and Repeated Sessions », *Brain Stimulation*, 9(1), janvier-février 2016, p. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.08.003>.

KAWALA-STERNIUK Aleksandra, BROWARSKA Natalia, AL-BAKRI Amir, PELC Mariusz, ZYGARLICKI Jaroslaw, SIDIKOVA Michaela, MARTINEK Radek et JACEK GORZELANCZYK Edward, « Summary of Over Fifty Years with Brain-Computer Interfaces—A Review », *Brain Sciences*, 11(1), 2021, 43. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010043>.

La neuromodulation pour prévenir les situations de surcharges cognitives : application aux pilotes d'avions

- KRASNY-PACINI Agata et EVANS Jonathan, « Single-Case Experimental Designs to Assess Intervention Effectiveness in Rehabilitation: A Practical Guide », *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61(3), mai 2018, p. 164-179. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.12.002>.
- LEMA Alberto, CARVALHO Sandra, FREGNI Felipe, GONÇALVES Óscar F. et LEITE Jorge, « The Effects of Direct Current Stimulation and Random Noise Stimulation on Attention Networks », *Scientific Reports*, 11(1), 2021, p. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85749-7>.
- LU Hongliang, GONG Yue, HUANG Peng, ZHANG Yajuan, GUO Zhihua, ZHU Xia et YOU Xuqun, « Effect of Repeated Anodal HD-tDCS on Executive Functions: Evidence From a Pilot and Single-Blinded fNIRS Study », *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 2021. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.583730>.
- MANÉ Amir et DONCHIN Emanuel, « The Space Fortress Game », *Acta Psychologica*, 71(1-3), août 1989, p. 17-22. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(89\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0001-6918(89)90003-6).
- MICHAEL Elizabeth, SANTAMARIA COVARRUBIAS Lorena, LEONG Victoria et KOURTZI Zoe, « Learning at Your Brain's Rhythm: Individualized Entrainment Boosts Learning for Perceptual Decisions », *Cerebral Cortex*, 33(9), 2023, p. 5382-5394. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac426>.
- MIYAKE Akira, FRIEDMAN Naomi P., EMERSON Michael J., WITZKI Alexander H., HOWERTER Amy et WAGER Tor D., « The Unity and Diversity of Executive Functions and their Contributions to Complex Frontal Lobe Tasks: A Latent Variable Analysis », *Cognitive Psychology*, 41(1), 2000, p. 49-100. <https://doi.org/>
- MORENO-DUARTE Ingrid, GEBODH Nigel, SCHESTATSKY Pedro, GULEYUPOGLU Berkan, REATO Davide, BIKSON Marom et FREGNI Felipe, « Chapter 2 – Transcranial Electrical Stimulation: Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS), Transcranial Pulsed Current Stimulation (tPCS), and Transcranial Random Noise Stimulation (tRNS) », in KADOSH Roi Cohen (dir.), *The Stimulated Brain*, Elsevier, 2014, p. 35-59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404704-4.00002-8>.
- MURPHY O.W., HOY K.E., WONG D., BAILEY N.W., FITZGERALD P.B., et SEGRAVE R.A., « Transcranial Random Noise Stimulation is More Effective than Transcranial Direct Current Stimulation for Enhancing Working Memory in Healthy Individuals: Behavioural and Electrophysiological Evidence », *Brain Stimulation*, 13(5), septembre-octobre 2020, p. 1370-1380. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.07.001>.
- PAVAN Andrea, GHIN Filippo, CONTILLO Adriano, MILESI Chiara, CAMPANA Gianluca et MATHER George, « Modulatory Mechanisms Underlying High-Frequency Transcranial Random Noise Stimulation (hf-tRNS): A Combined Stochastic Resonance and Equivalent Noise Approach », *Brain Stimulation*, 12(4), juillet-août 2019, p. 967-977. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.02.018>.
- REASON James, *Human Error*, Cambridge University Press, 1990.
- SANTIAGO-ESPADA Yamira, MYER Robert R., LATORELLA Kara A. et COMSTOCK J^e James R., *The Multi-Attribute Task Battery II (MATB-II) Software for Human Performance and Workload Research: A User's Guide*, NASA, 2011. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110014456/downloads/20110014456.pdf>.
- SCANNELLA Sébastien, ROY Raphaëlle N., LAOUAR Amine et DEHAIS Frédéric, « Chapter 38 - Auditory Neglect in the Cockpit: Using ERPS to Disentangle Early from Late Processes in the Inattentive Deafness Phenomenon », in AYAZ Hasan et DEHAIS Frédéric (dir.), *Neuroergonomics*, Elsevier, 2018, p. 207-208. <https://doi.org/>
- SHEBILSKÉ Wayne L., GOETTL Barry P., CORRINGTON Kip et ANTHONY DAY Eric, « Interlesion Spacing and Task-Related Processing During Complex Skill Acquisition », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5(4), 1999, p. 413-437. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/1076-898X.5.4.413>.
- SNOWBALL Albert, TACHTSIDIS Ilias, POPESCU Tudor, THOMPSON Jacqueline, DELAZER Margarete, ZAMARIAN Laura, ZHU Tingting et COHEN KADOSH Roi, « Long-Term Enhancement of Brain Function and Cognition Using Cognitive Training and Brain Stimulation », *Current Biology*, 23(11), juin 2013, p. 987-892. <https://doi.org/>
- STUHLIK Ales, « Dynamic Learning and Memory, Synaptic Plasticity and Neurogenesis: An Update », *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, avril 2014, article n° 106. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00106>.
- VAN DER GROEN Onno, TANG Matthew F., WENDEROTH Nicole et MATTINGLEY Jason B., « Stochastic Resonance Enhances the Rate of Evidence Accumulation during Combined Brain Stimulation and Perceptual Decision-Making », *PLOS Computational Biology*, 14(7), juillet 2018, e1006301. <https://doi.org/>

Charge cognitive et surdité attentionnelle : des pistes opérationnelles

Clara SUIED

Unité Perception, département Neurosciences et sciences cognitives. Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

L'audition joue un rôle crucial dans le monde militaire : pour communiquer, le plus souvent par l'intermédiaire des radios ; pour avertir ou être averti de menaces, ou autre information critique, *via* des alarmes sonores ; pour mieux comprendre son environnement, en analysant les sources sonores autour de nous (type de bruits, armes, etc.). Cependant, les opérateurs se retrouvent parfois dans des conditions extrêmes, du point de vue perceptif, cognitif ou émotionnel, et des *stimuli* auditifs qui seraient facilement perceptibles dans d'autres conditions ne le sont plus. On appelle ces situations les « échecs de la conscience » pour traduire l'expression anglaise *failure of awareness* (voir Cohen, *et al.*, 2012). La plus connue est celle de la surdité attentionnelle, régulièrement décrite par le BEA-É (Bureau enquête accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État), pour laquelle un opérateur ne perçoit pas un son, pourtant largement audible, du fait de sa focalisation attentionnelle importante sur d'autres tâches et stimuli (Dehais, *et al.*, 2014 ; Macdonald et Lavie, 2011). Cette focalisation attentionnelle et la surdité attentionnelle qui en découle sont souvent la conséquence d'une surcharge cognitive. *In fine*, proposer des contre-mesures à ces situations d'échec de la conscience, et notamment la surdité attentionnelle, est un enjeu crucial, afin de préserver la santé et la sécurité du militaire. Pour cela, il faut tout d'abord mieux comprendre ces phénomènes perceptifs, ainsi que leurs mécanismes sous-jacents.

L'analyse des rapports d'incidents et accidents aériens révèle qu'un certain nombre d'entre eux trouvent leurs sources dans le manque de réaction à une ou plusieurs alarmes auditives (Bliss, 2003). Les systèmes d'alarmes actuels souffrent en effet de problèmes de conception majeurs qui en diminuent leur efficacité, et les rendent insuffisants voire contreproductifs. Initialement l'apanage des cockpits d'avions, les alarmes ont récemment gagné le poste de commandement des matériels de l'Armée de Terre, particulièrement les blindés. Elles sont également emblématiques des blocs opératoires des hôpitaux, où chaque alarme informe le personnel médical du suivi de certaines constantes, afin de connaître l'état du patient. Les problèmes de gestion des alarmes touchent ainsi un nombre croissant d'opérateurs, dans toutes les Armées.

Le fait que ces alarmes soient régulièrement non perçues par les pilotes (Bliss, 2003) ou par le personnel médical (Brunker, *et al.*, 2024), aboutissant parfois à des accidents, interpelle. Plusieurs explications ont été avancées dans la littérature. Tout d'abord, si les systèmes d'alerte sont perçus comme peu fiables, ils provoquent un « *cry-wolf effect* », et sont ignorés (Breznitz, 1984 ; Wickens, *et al.*, 2009). Ensuite, la nature parfois agressive de l'alarme (Edworthy, *et al.*, 1991) peut conduire le pilote à chercher dans un premier temps à couper l'alarme plutôt que d'en comprendre la cause. Cependant, ces explications ne sont pas suffisantes ; dans les tentatives d'explications, l'alarme est entendue et le pilote choisi, consciemment, de ne pas y répondre.

Il est apparu judicieux de s'intéresser plus précisément à cette question de la surdité attentionnelle. Nous avons alors étudié ce phénomène en laboratoire, afin de mieux en comprendre les mécanismes.

Le pendant visuel de la surdité attentionnelle, un classique maintenant de la littérature et connu largement en dehors du milieu scientifique, est celui de la cécité attentionnelle, dont une des illustrations les plus marquantes est l'expérience « du gorille » (Simons et Chabris, 1999). Un film de deux équipes de basket qui s'échangent des passes est montré aux participants ; leur tâche est de compter le nombre de passes d'une des deux équipes, identifiée par la couleur de leur t-shirt.   la fin du film, il est demandé aux participants s'ils ont remarqué quelque chose d'inhabituel. Plus de la moitié ne remarque rien, alors qu'au milieu du match de basket, une personne déguisée en gorille traverse la pièce lentement, en faisant de multiples signes. Lorsque le film est montré de nouveau sans tâche particulière, tout le monde remarque le gorille. Ce phénomène et ses implications ont été étudiés de manière intensive en vision, et ont fait l'objet de quelques réplications en audition (Dalton et Fraenkel, 2012, pour une réplication presque exacte avec un « gorille auditif », une voix qui prononce « je suis un gorille »).

Nous présentons ici deux projets de recherche en cours, qui abordent la question de la surdité attentionnelle par des approches différentes mais complémentaires, du point de vue applicatif. Par ailleurs, l'objectif appliqué, *in fine*, est de développer des contre-mesures efficaces à la surdité attentionnelle. Agir directement sur la saillance du *stimulus* critique (ici, l'alarme) semble une piste prometteuse comme première contre-mesure. D'un point de vue théorique, car déjà suggéré dans la littérature (Koreimann, *et al.*, 2014), et d'un point de vue pratique, car facile à implémenter et peu c teux. Ces exemples de contre-mesures auditives, la spatialisation des sources sonores (son 3D) et la rugosité sont présentés dans les deux projets ci-dessous.

Surdité attentionnelle d'un *stimulus* critique non attendu

Plusieurs séries d'études issues du laboratoire de Nilli Lavie (Lavie, 1995, 2010) ont porté sur la capacité de pouvoir focaliser l'attention des sujets dans des tâches à charge perceptive ou cognitive élevée, et sur la manière dont certains distracteurs peuvent être ou non ignorés. En laboratoire, la surdité attentionnelle a été définie comme le fait de ne pas percevoir des distracteurs auditifs dans des conditions de

charge élevée. La surdité attentionnelle peut être considérée comme une manière particulière d'aborder l'attention auditive sélective. L'éditorial de Bendixen et Koch en 2014 dans un numéro spécial de *Psychological Research*, présente clairement les diverses approches de l'étude de l'attention auditive, qui semblent parfois disparates, et met en regard les études sur la surdité attentionnelle avec celles sur la capture attentionnelle (Dalton et Hughes, 2014 dans ce même numéro spécial).

Macdonald et Lavie, 2011 ont démontré que, pour des participants qui devaient répondre à une tâche de discrimination auditive lorsque le niveau de charge perceptive était élevé, les participants ne percevaient pas la présence d'un son distracteur. Molloy, *et al.*, 2015 ont plus récemment repris ce paradigme avec une tâche de recherche visuelle, en mesurant l'activité cérébrale avec de la magnétoencéphalographie. Ils ont ainsi démontré que, au cours d'une tâche visuelle demandant une charge perceptive élevée, le traitement sensoriel des stimuli auditifs était momentanément réduit, résultant de l'observation comportementale appelée surdité attentionnelle. L'explication suggérée repose sur un modèle cognitif de ressources visuelles et auditives communes : les tâches impliquant une charge perceptive élevée utilisant la plupart de notre capacité attentionnelle, peu ou plus de ressources cognitives seraient alors disponibles pour traiter des stimuli non pertinents pour la tâche, comme des stimuli sonores. Des études portant sur la surdité attentionnelle ont également été menées dans des contextes réalistes en simulateur de vol. Ils ont proposé un premier cadre pour l'étude des alarmes non perçues dans des environnements à charge cognitive élevée (Dehais, *et al.*, 2014 et Giraudet, *et al.*, 2015).

Nous avons récemment développé un nouveau paradigme d'étude de la surdité attentionnelle (Elisabeth, 2022). Nous avons choisi de nous placer en situation de double tâche uniquement auditive : par intérêt applicatif (les alarmes sonores retentissent en général dans des situations non optimales, donc impliquant de multiples flux radios), et car la littérature portant sur cette situation précise est assez éparse et aboutit à des conclusions opposées sur la présence de surdité attentionnelle en situation purement auditive. Le contexte sanitaire nous a imposé de revoir, en milieu de projet, le protocole, afin de pouvoir proposer une expérience en ligne, robuste à toute la variabilité introduite par la passation à distance.

Le nouveau paradigme proposé (Elisabeth, *et al.*, 2024) m le mémoire de travail et reconnaissance de parole au sein de stimuli de paroles. La tâche principale est une situation d'écoute multi-locuteurs, basée sur le corpus *CRM (Coordinate Response Measure)*, Bolia, *et al.*, 2000), déjà utilisé dans nos autres travaux. Un essai comprenait trois groupes consécutifs de trois phrases dont, pour chacun, une phrase était  mise dans une oreille définie comme l'oreille cible et les deux autres étaient émises dans l'oreille opposée : celle à ignorer (Figure 1).   chaque essai, le participant devait mémoriser l'indicatif de la phrase ainsi que la couleur pour chacune des trois phrases consécutives émises dans l'oreille cible. La consigne précise ne portait que sur l'une des trois phrases consécutives, mais n'apparaissait qu'à la fin de l'essai (rapporter la couleur associée à un identifiant donné), obligeant ainsi le participant à maintenir un niveau élevé d'attention de manière constante (tâche N-back avec N variable au sein du bloc).

Charge cognitive et surdité attentionnelle : des pistes opérationnelles

Lors du dernier essai de l'expérience, un son d'alarme inattendu était diffusé, au-dessus du seuil auditif des auditeurs (une condition contrôle vérifie ce point). Ce stimulus critique était un son pur de 110 Hz (afin de se comparer à la littérature, par exemple (Macdonald et Lavie, 2011), d'une durée de 500 ms et de même niveau sonore que celui des phrases CRM. Ce son pouvait être émis dans l'oreille cible ou à ignorer. Chacune des conditions était réalisée par un groupe diff rent de participants.

Plus de 200 participants ont pour l'instant passé cette expérience. Le résultat principal, et le plus marquant, est le niveau élevé de surdité attentionnelle observé : 64 % et 94 % de sons critiques non perçus, lorsque diffusés du côté cible ou distracteur, respectivement (Figure 1). Deuxième résultat important, lorsque le stimulus critique est diffusé du côté distracteur, la surdité attentionnelle est beaucoup plus forte.

Plusieurs points importants peuvent d'ores et déjà être soulignés, en comparaison avec Macdonald et Lavie, 2011 et Koreimann, *et al.*, 2014. Les niveaux de surdité attentionnelle observés sont comparables, voire plus larges, que dans ces études, notamment pour les conditions de charge perceptive et cognitive élevée. Ils ne permettent pas nécessairement de tester la théorie de Lavie, puisque nous n'avons pas comparé les

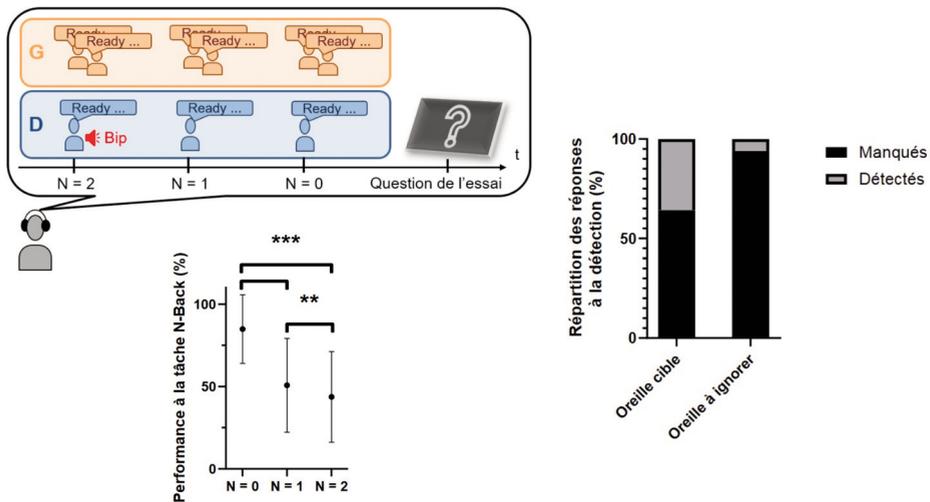


FIGURE 1. (haut) Illustration de la tâche de N-back : 2 flux dichotiques d'une succession de 3 phrases du corpus CRM ; dans cet exemple, le côté cible est le droit, il faut ignorer les 2 voix à gauche. La consigne n'apparaît qu'à la fin (reporter la couleur d'un indicateur donné ; N = 0 s'il faut reporter la couleur de l'indicateur de la dernière phrase, etc. pour N = 1 et N = 2). Lors du dernier essai de l'expérience, un son critique, inattendu (non pertinent pour la tâche) est diffusé, soit du côté cible soit du côté distracteur – côté cible dans cet exemple. Les participants sont interrogés sur la diffusion de ce son en fin d'expérience : la non perception de ce son est interprétée comme de la surdité attentionnelle, car comparé à une condition contrôle dans laquelle ils doivent reporter la présence ou l'absence de ce son en étant cette fois informé de sa présence. (bas) Résultats à la tâche N-back : les résultats élevés et la décroissance avec le N croissant confirment que les participants ont bien effectué la tâche ; point crucial pour une expérience en ligne. (droite) taux de sons critiques détectés ou non : le taux de sons critiques manqués traduit un fort niveau de surdité attentionnelle. Cette surdité est plus importante lorsque le son critique est du côté distracteur. Extrait de Élisabeth (2022).

conditions de charge attentionnelle. En revanche, ils nous permettent d'étendre à l'audition un des résultats classiques de la cécité attentionnelle. En effet, la proximité perceptive entre le stimulus critique et la zone où se porte l'attention du participant influence l'ampleur de la cécité attentionnelle. Dans l'expérience du gorille ⁽¹⁾ (Simons et Chabris, 1999b), ledit gorille est plus souvent remarqué lorsque les joueurs de basket dont on doit compter les passes sont habillés en noir (contrairement au blanc). Ici, dans le cas de la surdité attentionnelle, l'alarme est plus souvent entendue si elle est diffusée dans une zone de l'espace sur laquelle se porte l'attention des auditeurs (différence entre côté cible et côté distracteur).

Une première contre-mesure qui découle de ces résultats est donc l'utilisation du son spatialisé (ou son 3D) afin de réduire le taux de surdité attentionnelle. Le son spatialisé est un sujet d'étude à l'IRBA depuis plusieurs dizaines d'années. Une de nos études récentes (Andéol, *et al.*, 2017) a montré que, outre l'avantage du son 3D pour améliorer la compréhension des messages radio, il permettait également de diminuer la charge cognitive.

Les résultats fiables et robustes obtenus malgré les conditions de passation inhérentes à une expérience en ligne sont un indice encourageant pour la suite. Ce projet est en cours, avec plusieurs pistes plus ou moins directement dans la continuité de cette expérience. Outre divers tests sur le stimulus critique en tant que tel (contenu fréquentiel, durée, rugosité, sons de voix humaine, ...), nous allons également tester différentes conditions pour décrire les indices auditifs sur lesquels l'attention se porte (ici, attention spatiale), avec par exemple des indices fréquentiels (la tâche étant par exemple de suivre la voix de femme et d'ignorer les voix d'hommes). Nous rechercherons enfin des corrélations possibles avec certaines caractéristiques des participants (anxiété, stress perçu...).

Surdité attentionnelle d'un stimulus critique attendu

En collaboration avec l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'Espace (ISAE, voir Riedinger, *et al.*, 2024), nous avons récemment mis au point un protocole expérimental qui offre un bon compromis entre condition écologique et contrôle expérimental pour induire de la surdité attentionnelle de manière répétée (comme cela est le cas en situation réelle, où les alarmes non perçues peuvent avoir été diffusées pendant plusieurs minutes).

Au préalable à la présentation de cette expérience, il est important d'introduire ici la deuxième contre-mesure auditive, la rugosité. Une étude récente de signaux d'alarmes vocaux (comme des cris) a mis en évidence que les vocalisations d'alarme utilisent un régime de modulations temporelles particulier, associé au percept de rugosité. Ces modulations temporelles à l'origine de la rugosité ne sont pas présentes dans les signaux de communication normale, non criée (Arnal, *et al.*, 2015). L' tude

⁽¹⁾ SIMONS Daniel, « But Did You See the Gorilla? The Problem With Inattentional Blindness », *Smithsonian Magazine*, septembre 2012 (<https://www.smithsonianmag.com/>).

de ces signaux par imagerie cérébrale a démontré qu'ils induisent des réponses dans l'amygdale, une région sous-corticale impliquée dans les réactions au danger. Cette étude multidisciplinaire est, à notre connaissance, la première à s'intéresser aux processus de traitement et de réaction à des sons longtemps ignorés (cris) et pourtant cruciaux pour la sécurité et la prise de décision rapide face à un danger. Elle révèle notamment que les vocalisations d'alarme humaines, qui ont co-évolué avec le cerveau humain depuis des millénaires pour garantir notre survie, utilisent une combinaison de caractéristiques acoustiques unique. Ils seraient ainsi capables d'induire des réactions comportementales rapides et efficaces. Arnal, *et al.*, 2019 ont poursuivi cette étude de la rugosité, cette fois en utilisant des stimuli rugueux synthétiques et non porteurs de contenu sémantique (comme l'était un cri) : des trains de clics. Ces nouveaux travaux ont révélé l'existence de réponses non-linéaires dans le domaine de la rugosité sonore à l'échelle cérébrale, émotionnelle et perceptive. Ils ont mis en évidence le recrutement de circuits cérébraux dits de saillance et leur rôle probable dans les réponses aversives provoquées par les sons rugueux. Les sons rugueux sont donc perceptivement saillants et stimulent massivement des réseaux cérébraux impliqués dans le traitement de cette saillance.

Nous avons alors fait l'hypothèse que la rugosité sonore devrait également avoir un impact comportemental et nous nous sommes notamment intéressés aux réactions de défense. Le modèle de « conscience émotionnelle » proposé par LeDoux et Brown, 2017 stipule que nos circuits de défense sont responsables des réponses physiologiques et comportementales en réaction aux menaces, mais ne sont pas directement responsables de l'expérience subjective de la peur. Cela ne veut pas dire que les circuits de défense ne jouent aucun rôle dans la perception consciente de la peur, mais simplement qu'ils modulent cette sensation, sans en être directement responsables. Une manière indirecte et élégante de mesure comportementale de ces réactions de défense a été suggérée par Canzoneri, *et al.* en 2012, *via* la mesure de l'Espace péri-personnel (EPP). Cet EPP est considéré comme un espace de protection, et est défini comme l'espace perceptif situé immédiatement autour du corps. Les informations présentes dans l'EPP sont perçues et traitées comme des événements hautement saillants et pertinents pour l'individu. L'augmentation de la taille de l'EPP est une réponse comportementale de défense typique qui permet la surveillance multisensorielle d'une zone plus large autour du corps (Bufacchi, 2017). Nous avons mesuré, en adaptant le paradigme de Canzoneri, *et al.* (2012), l'effet de la rugosité sonore sur les réactions de défense des participants : des sons perçus comme rugueux élargissaient l'EPP des auditeurs, ce qui est interprété comme une réaction de défense plus grande en réponse à des sons rugueux (Taffou, *et al.*, 2021). Les sons utilisés étaient volontairement très simples : un son harmonique comparé au même son modulé en amplitude à 70 Hz, donc perçu comme rugueux (Fastl et Zwicker, 2007). La rugosité sonore, même appliquée à des sons simples, et non vocaux, est donc un indice sensoriel aversif inné.

Nous avons donc cherché à tester l'hypothèse selon laquelle la rugosité pourrait réduire la surdité attentionnelle (Riedinger, *et al.*, 2024). Pour cela, une version modifiée de la *MATB II* de la *NASA* (*Multi-Attribute Task Batter* ; voir Roy *et al.*, 2020) simulant une tâche de pilotage, combinée à un paradigme *oddball* auditif a été mise en

Charge cognitive et surdité attentionnelle :
des pistes opérationnelles

œuvre. Dans le paradigme *oddball*, nous avons comparé les temps de réaction à deux types de sons rares : un son pur à 1 000 Hz modulé en amplitude à 10 Hz qui est perçu comme un battement, et un autre son pur à 1 000 Hz modulé en amplitude à 70 Hz qui est perçu comme rugueux. Le son fréquent est un autre son pur à 1 000 Hz, non modulé. Cette tâche nous permet ainsi de tester l'effet de la rugosité auditive dans une tâche cognitive complexe (*MATB-II*), susceptible de provoquer des situations de surdité attentionnelle.

Nous avons pu vérifier que la tâche *MATB-II* permettait de maintenir un niveau d'attention élevé et continu, grâce notamment au grand nombre de communications radios (un des paramètres possibles de la tâche *MATB-II*). Nous avons observé un nombre conséquent d'oublis dans la tâche *oddball* : les participants ont oublié de répondre à certains sons rares, ce qui est une signature de la surdité attentionnelle. De plus, dans des conditions de charge élevée, le son rugueux est moins ignoré (provoque moins d'omissions dans la tâche *oddball*). Cela sugg rerait que la rugosité sonore permettrait de limiter le phénomène de surdité attentionnelle, avec ce type de paradigme.

Ce résultat est une piste extrêmement prometteuse dans un cadre applicatif. Ce projet se poursuit, afin de tester, dans des protocoles complexes et réalistes, l'effet de la saillance auditive sur la surdité attentionnelle.

*
**

Nous avons décrit une conséquence de la surcharge cognitive, potentiellement accidentogène, appelée surdité attentionnelle. Nous avons pu la reproduire en laboratoire, en la déclinant sous deux paradigmes différents. Nous avons également proposé deux contre-mesures auditives prometteuses afin de réduire cette surdité attentionnelle : le son spatialisé et la rugosité auditive.

Éléments de bibliographie

- ANDÉOL Guillaume, SUIED C., SCANNELLA Sébastien et DEHAIS Frédéric, « The Spatial Release of Cognitive Load in Cocktail Party is Determined by the Relative Levels of the Talkers », *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 18(3), 2017, p. 457-464. <https://doi.org/10.1007/s10162-016-0611-7>.
- ARNAL Luc H., FLINKER Adeen, KLEINSCHMIDT Andreas, GIRAUD Anne-Lise et POEPEL David, « Human Screams Occupy a Privileged Niche in the Communication Soundscape », *Current Biology*, 25(15), 2015, p. 2051-2056. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.06.043>.
- ARNAL L.H., KLEINSCHMIDT A., SPINELLI Laurent, GIRAUD A.-L. et MÉGEVAND Pierre, « The Rough Sound of Salience Enhances Aversion Through Neural Synchronisation », *Nature Communications*, 10(1), 2019, p. 3671. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11626-7>.
- BENDIXEN Alexandra et KOCH Iring, « Editorial for special issue: "Auditory Attention: Merging Paradigms and Perspectives" », *Psychological Research*, 78(3), 2014, p. 301-303. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0562-8>.
- BLISS James P., « Investigation of Alarm-Related Accidents and Incidents in Aviation », *The International Journal of Aviation Psychology*, 13(3), 2003, p. 249-268. https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP1303_04.
- BOLIA Robert S., NELSON W. Todd, ERICSON Mark A. et SIMPSON Brian D., « A Speech Corpus for Multitalker Communications Research », *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2), 2000, p. 1065-1066. <https://doi.org/10.1121/1.428288>.
- BREZNITZ Shlomo, *Cry Wolf: The Psychology of False Alarms*, Lawrence Erlbaum Associates, 1984.
- BUFACCHI R. J., « Approaching threatening stimuli cause an expansion of defensive peripersonal space », *Journal of Neurophysiology*, 118(4), 2017, p. 1927-1930. <https://doi.org/10.1152/jn.00316.2017>.
- CANZONERI Elisa, MAGOSSO Elisa et SERINO Andrea, « Dynamic Sounds Capture the Boundaries of Peripersonal Space Representation in Humans » *PLoS ONE*, 7(9), 2012, e44306. <https://doi.org/>.
- COHEN Michael A., CAVANAGH Patrick, CHUN Marvin M. et NAKAYAMA Ken, « The Attentional Requirements of Consciousness », *Trends in Cognitive Sciences*, 16(8), 2012, p. 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.06.013>.
- DALTON Polly et FRAENKEL Nick, « Gorillas we Have Missed: Sustained Inattentive Deafness for Dynamic Events », *Cognition*, 124(3), 2012, p. 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.05.012>.
- DALTON P. et HUGHES Robert W., « Auditory Attentional Capture: Implicit and Explicit Approaches », *Psychological Research*, 78(3), 2014, p 313-320. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0557-5>.
- DEHAIS F., CAUSSE Mickaël, VACHON François, RÉGIS Nicolas, MENANT Éric et TREMBLAY Sébastien, « Failure to Detect Critical Auditory Alerts in the Cockpit: Evidence for Inattentive Deafness », *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(4), 2014, p. 631-644. <https://doi.org/>.
- EDWORTHY Judy, LOXLEY Sarah et DENNIS Ian, « Improving Auditory Warning Design: Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency », *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 33(2), 1991, p. 205-231. <https://doi.org/10.1177/001872089103300206>.
- ÉLISABETH Franck, *Mesure et contre-mesure de la surdité attentionnelle* [These de doctorat, Sorbonne Université], 2022. <https://www.theses.fr/2022SORUS135>.
- ÉLISABETH F., ANDÉOL G., CHASTRES Véronique, VIAUD-DELMON Isabelle, SUIED C., « A New Paradigm to Study Inattentive Deafness in Auditory-Only Online Experiments », *5th International NeuroErgonomics Conference*, Bordeaux, juillet 2024. <https://www.frontiersin.org/>.
- FASTL Hugo et ZWICKER Eberhard, « Roughness », in FASTL H. et ZWICKER E., *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, 2007, p. 257-264. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4_11.
- GIRAUDET Louise, ST-LOUIS Marie-Eve, SCANNELLA S. et CAUSSE M., « P300 Event-Related Potential as an Indicator of Inattentive Deafness? » *PLoS ONE*, 10(2), 2015, e0118556. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118556>.
- KOREIMANN Sabrina, GULA Bartosz et VITOUCH Oliver, « Inattentive Deafness in Music », *Psychological Research*, 78(3), 2014, p. 304-312. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0552-x>.
- LAVIE Nilli, « Perceptual Load as a Necessary Condition for Selective Attention », *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 1995, p. 451-468. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.3.451>.
- LAVIE N., « Attention, Distraction, and Cognitive Control Under Load », *Current Directions in Psychological Science*, 19(3), 2010, p. 143-148. <https://doi.org/10.1177/0963721410370295>.
- LEDoux Joseph E. et BROWN Richard, « A Higher-Order Theory of Emotional Consciousness », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(10), 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1619316114>.
- MACDONALD James S.P. et LAVIE N., « Visual perceptual load induces inattentive deafness » *Attention, Perception, et Psychophysics*, 73(6), 2011, p 1780-1789. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0144-4>.

Charge cognitive et surdité attentionnelle : des pistes opérationnelles

MOLLOY Katharine, GRIFFITHS Timothy D., CHAIT Maria et LAVIE N., « Inattentional Deafness: Visual Load Leads to Time-Specific Suppression of Auditory Evoked Responses » *Journal of Neuroscience*, 35(49), 2015, p. 16046-16054. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2931-15.2015>.

RIEDINGER Florine, SUIED C., KEANE Ronan, SCIABICA Jean-François et DEHAIS F., « Rough Alarms Mitigate Inattentional Deafness Phenomenon during Piloting-Like Task: Preliminary Results », *5th International NeuroErgonomics Conference*, Bordeaux, juillet 2024. <https://www.frontiersin.org/>.

ROY Raphaëlle N., DROUGARD Nicolas, GATEAU Thibault, DEHAIS F. et CHANEL Caroline P.C., « How Can Physiological Computing Benefit Human-Robot Interaction? », *Robotics*, 9(4), 2020, Article 4. <https://doi.org/>.

SIMONS Daniel J. et CHABRIS Christopher F., « Gorillas in Our Midst: Sustained Inattentional Blindness for Dynamic Events », *Perception*, 28(9), 1999, p. 1059-1074. <https://doi.org/10.1068/p281059>.

TAFFOU Marine, SUIED C. et VIAUD-DELMON Isabelle, « Auditory Roughness Elicits Defense Reactions », *Scientific Reports*, 11, 2021, p. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79767-0>.

WICKENS Christopher D., RICE Stephen, KELLER David, HUTCHINS Shaun, HUGHES Jamie et CLAYTON Krisstal, « False Alerts in Air Traffic Control Conflict Alerting System: Is There a “Cry Wolf” Effect? » *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51(4), 2009, p 446-462. <https://doi.org/>.

La *mindfulness*, une aide à la gestion de la charge cognitive ?

Marion TROUSSELARD

Médecin cheffe des services de classe normale (MCSCN, ESR), Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) ; Université de Lorraine, Inserm, INSPIRE, F-54000, Nancy, France ; UMR7268, Université d'Aix-Marseille, Marseille, France.

Mindfulness, pleine conscience : de quoi parle-t-on ?

La *mindfulness* ⁽¹⁾, traduite en français par « pleine conscience », a vu sa popularité croître ces trente dernières années dans plusieurs domaines séculiers, comme la médecine, la recherche en neurosciences, le management en entreprise ou encore l'entraînement au profit de professions dites à risques, comme les militaires.

La *mindfulness* est un état de conscience qui résulte du fait de porter son attention, intentionnellement, au moment présent, sans jugement, sur l'expérience qui se déploie moment après moment (Kabat-Zinn, 2003). Dans la littérature, le terme *mindfulness* renvoie à la fois un état psychologique transitoire (état *mindful*), un fonctionnement stable de la personnalité (disposition *mindful* : DM) et la méthode utilisée (e.g. : pratique de méditation, programme clinique, etc.) pour atteindre un état *mindful* ou cultiver la DM (Grossman, 2008). Cette polysémie souligne deux acceptions non exclusives : une « manière de fonctionner », propriété émergente d'un cerveau qui s'est développée avec une certaine façon de percevoir par une attention de chaque instant, et la méditation *mindfulness* (MM) comme moyen d'atteindre cette manière de percevoir, voire encore l'association des deux.

Si le premier programme à proposer la *mindfulness* a été la *Mindfulness-Based Stress Reduction* (MBSR ; Kabat-Zinn, 2003), de nombreux autres programmes ont montré leurs bénéfices dans le champ de la santé, de la cognition ou encore de la performance. Ces programmes partagent plusieurs modalités de pratiques, parmi lesquelles : (i) un entraînement à se concentrer sur ses sensations lors d'exercices respiratoires représentant alors une ligne de base attentionnelle ; cet entraînement permet ainsi de notifier toute autre sensation corporelle par rapport à ce référentiel, et (ii) une analyse corporelle consistant à focaliser son attention de façon séquentielle sur les différentes parties corporelles sans interprétation subjective. Le focus attentionnel sur la

⁽¹⁾ Dans un souci d'exactitude de terme, et devant l'ambiguïté consubstantielle de la traduction, nous utiliserons donc dans ce travail le terme de *Mindfulness* comme un véritable néologisme. Par convention, un sujet « *mindful* » est considéré ayant une forte intensité d'éveil en conscience (meilleure capacité à observer, accepter et suspendre son jugement sur l'expérience en cours) et la propriété d'éveil en pleine conscience est la « *Mindfulness* ».

respiration au cours de la méditation sert d'ancrage au sujet. Ce point focal soutient une acceptation en conscience de l'expérience du moment présent en ce qu'il permet, lorsque le sujet prend conscience des sensations plus ou moins douloureuses, des émotions plus ou moins pénibles et surtout des pensées associées qui provoquent des jugements ou des ruminations, de prendre note, de laisser aller ces informations et de revenir au présent de sa respiration, comme élément de sa réalité, instant après instant. Quelles que soient la modalité de pratique de la MM, la conservation et *a fortiori* l'amélioration du niveau de *mindfulness* passe par une pratique régulière et quotidienne des exercices enseignés pour entraîner le sujet à faire avec les contraintes internes, externes, notamment cognitives.

La *mindfulness*, comment ça marche ?

Si la littérature abonde d'études qui démontrent les bénéfices de la *mindfulness* sur la santé physique et mentale ainsi que sur le fonctionnement cognitif (NIH, 2021). Cette littérature met en évidence un certain nombre de mécanismes qui participent à expliquer ces bénéfices.

D'un point de vue phénoménologique, la *mindfulness* améliorerait la qualité de la relation du sujet à lui-même et au monde grâce à une meilleure qualité de perception de ce qui est vécu, instant après instant. Elle autorise de ce fait un détachement en conscience à ce qui survient, ce qui permet une régulation de l'expérience affective et notamment des réponses affectives automatiques. Elle augmente par ailleurs la flexibilité comportementale favorisant curiosité et créativité. De plus, elle améliore la gestion des situations de conflits qu'ils soient perceptifs, cognitifs ou encore moraux. Ces observations posent la *mindfulness* comme un enjeu des prises de décisions que ce soit à un niveau opérationnel, tactique ou stratégique.

Les sujets considérés comme *mindful* présentent des caractéristiques neuro-physiologiques particulières à de nombreux égards susceptibles de rendre compte de la phénoménologie clinique. Force est de constater qu'indépendamment de la manière dont la *mindfulness* émerge, c'est l'ensemble du fonctionnement neurophysiologique qui doit être considéré. S'appuyant sur une revue des données de neuro-imagerie, comportementales et psychométriques (auto-questionnaires) de la littérature sur la DM et les interventions MM, la docteure en psychologie Britta Hölzel et ses collègues ont proposé en 2011 quatre mécanismes cognitifs pour expliquer les bénéfices de la *mindfulness* :

- (i) la régulation de l'attention ;
- (ii) l'amélioration de la métacognition (qui est la connaissance qu'un individu a sur son propre fonctionnement cognitif) ;
- (iii) l'augmentation du niveau de conscience du corps ;
- (iv) et l'amélioration de la régulation des émotions (Hölzel, *et al.*, 2011).

Ces quatre processus cognitifs sont en interaction. La régulation attentionnelle permet à l'individu *mindful* d'accéder à une expérience sensorielle riche et dénuée de

tout jugement. L'attention portée sur le contenu de la pensée permet d'améliorer la métacognition. L'augmentation de la conscience corporelle résulte de l'attention qui est portée sur le corps, et ce mécanisme est particulièrement travaillé au cours de l'entraînement à la *mindfulness* (la cible de l'attention étant le plus souvent la respiration). Enfin, l'amélioration de la régulation émotionnelle passe par la mise en place de stratégies visant à limiter l'impact des émotions négatives (stratégie d'extinction), et la réévaluation constructive des contextes à forte valence émotionnelle (stratégie de réévaluation cognitive). La validité de ce modèle mécanistique a été récemment étendue aux données électrophysiologiques que sont les potentiels évoqués cérébraux (*ERPs* pour *Event-Related Potentials* ; Verdonk, *et al.*, 2020). Les *ERPs* qui correspondent à l'activité cérébrale particulière qu'on observe en synchronisant le signal EEG sur un événement particulier (ex : la présentation d'un stimulus, la réponse motrice du sujet, etc.) confirment que la *mindfulness* est associée à une optimisation de la régulation de l'attention, à une diminution de la réactivité aux stimuli émotionnels et à un meilleur contrôle cognitif. Ils renforcent les constats phénoménologiques en soutenant que le sujet *mindful* est caractérisé par un traitement conscient de l'information en provenance du corps et de l'environnement, et ce, y compris pour des informations de bas niveau. Intégrée dans le cadre de la théorie de l'espace global de travail, théorie qui modélise le phénomène de conscience (Dehaene, *et al.*, 2011), la *mindfulness* diminuerait le seuil nécessaire pour qu'une information devienne consciente participant ainsi à la qualité de l'attention et de sa régulation. Elle pourrait également rendre compte des bénéfices du fonctionnement *mindful* face au risque de cécité attentionnel (Bailey, *et al.*, 2023).

L'ensemble de ces corrélats posent la *mindfulness* comme un fonctionnement d'intérêt pour la gestion de la charge cognitive.

L'intérêt de la *mindfulness* pour la gestion de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive implique que nos ressources cognitives sont limitées. La charge cognitive se concentre sur l'effort mental requis pour traiter des tâches spécifiques et apprendre. Cet effort mental implique un certain nombre d'étapes successives qui débute par la nécessité de conserver en mémoire de travail l'information utile pour la tâche, et ce, le temps nécessaire pour l'analyser, la transformer, la mettre en relation avec d'autres informations, et éventuellement la mémoriser (*i.e.*, la transférer dans la mémoire à long terme sous forme de souvenir ou d'apprentissage). Ces opérations demandent de l'attention à chaque étape. Le traitement de l'information est donc affecté par les limites de notre mémoire de travail et par celles de l'attention. Plus une tâche demande d'attention, plus elle est exigeante du point de vue de la charge cognitive. Il convient de noter que celle-ci diffère de la charge mentale qui englobe, quant à elle, une vision plus large incluant les aspects émotionnels et psychologiques de la gestion des responsabilités et des préoccupations quotidiennes comme professionnelles.

En premier lieu, les qualités attentionnelles associées à la *mindfulness* (Sumantry & Stewart, 2021 ; Verhaeghen, 2021 ; Yakobi, *et al.*, 2021) posent l'intérêt de ce fonctionnement pour aider à gérer, voire diminuer, la charge cognitive. Une première cible est directement en lien avec les bénéfices cognitifs *per se* du fonctionnement *mindful*.

La *mindfulness*,
une aide à la gestion de la charge cognitive ?

- La qualité attentionnelle permettrait de meilleures compétences de concentration dans la durée de la tâche. De plus, en se focalisant sur une tâche à la fois et en minimisant les distractions, le fonctionnement *mindful* optimiserait l'utilisation des ressources cognitives disponibles. Il participerait ainsi à un travail plus efficace mais également à diminuer la fatigue mentale.

- Bien que les données demandent encore à être confirmées, le fonctionnement *mindful* serait associé à une un meilleur fonctionnement de la mémoire de travail. En augmentant la capacité de la mémoire de travail, on réduit la surcharge cognitive causée par la nécessité de retenir et de manipuler plusieurs informations simultanément.

- Enfin, en encourageant une approche plus monofocale des tâches, le fonctionnement *mindful* participerait à une réduction du multitâche. Le multitâche, bien que souvent perçu comme productif, augmente en réalité la charge cognitive en forçant le cerveau à jongler entre plusieurs tâches. En se concentrant pleinement sur une seule tâche à la fois, la charge cognitive s'en trouve de fait allégée pour permettre une réalisation séquentielle plus sereine de l'ensemble des tâches allouées.

Ensuite, les bénéfices du fonctionnement *mindful* pourraient réduire la charge mentale par une meilleure appréhension de l'impact des responsabilités sur la gestion des défis professionnels, notamment en situation de crise (González-Palau & Medrano, 2022).

- La *mindfulness* aide à réduire le stress et l'anxiété, qui sont souvent des sources importantes de charge cognitive. En apprenant à se concentrer sur le moment présent, les individus peuvent diminuer les pensées ruminatives et les préoccupations excessives qui occupent une grande partie de la capacité cognitive. Cette meilleure gestion du stress et de l'anxiété qui a été associée au fonctionnement *mindful* agirait finalement à la fois sur la charge cognitive et la charge mentale.

- La pratique de la *mindfulness* aide à développer une meilleure résilience face aux défis et aux stress quotidiens. Cela se traduit par une meilleure gestion des émotions et une diminution des pensées automatiques négatives, ce qui libère des ressources cognitives pour d'autres activités. Le renforcement de la résilience mentale apparaît comme un prérequis pour la gestion de la charge cognitive.

- En promouvant des pauses régulières et une prise de conscience des besoins mentaux et physiques, la pleine conscience aide à prévenir l'épuisement mental. Ces pauses permettent de recharger les capacités cognitives et d'améliorer la performance globale. Il convient ainsi de considérer l'impact du stress professionnel dans la durée et l'importance de cibler la diminution de l'épuisement mental pour permettre aux acteurs à responsabilités de mieux gérer leur charge mentale et de libérer le plus de ressources pour sa gestion.

Enfin, des données encore à confirmer soulignent l'intérêt de la *mindfulness* pour la gestion des tâches cognitives en situation opérationnelle, non seulement parce que le fonctionnement *mindful* est associé à davantage de créativité (Henriksen, *et al.*, 2020) mais aussi parce qu'il pourrait limiter les biais cognitifs (Maymin & Langer, 2021)

dans la prise de décision. Cet effet est d'autant plus pertinent que les biais cognitifs sont décrits comme particulièrement présents lorsque la charge cognitive est importante et que le sujet est fatigué et/ou stressé.

Conclusion

La *mindfulness* reflète une capacité d'attention et de conscience qui se réfère à tous les événements et expériences du moment présent, à la fois en lien avec les stimuli internes et externes, et ce, avec acceptation et sans jugement. Elle peut être entraînée par des programmes de formation et/ou d'entraînement utilisant la méditation. Les données disponibles dans la littérature posent ce fonctionnement comme opérant non seulement pour la gestion de la charge cognitive, particulièrement en situation opérationnelle, mais aussi pour la régulation de la charge mentale dans la durée de la mission.

Éléments de bibliographie

BAILEY Neil W., BAEEL Olivier, PAYNE Jake E., HUMBLE Gregory, GEDDES Harry, CAHILL Isabella, HILL Aron T., CHUNG Sung W., EMONSON Melanie, MURPHY Oscar W. & FITZGERALD Paul B., « Experienced Meditators Show Multifaceted Attention-Related Differences in Neural Activity », *Mindfulness*, 14, 2023, p. 2670-2698. <https://doi.org/10.1007/s12671-023-02224-2>.

DEHAENE Stanislas (dir.), *Apprendre à lire : Des sciences cognitives à la salle de classe*, Odile Jacob, 2011, 160 pages.

GONZÁLEZ-PALAU Fátima & MEDRANO Leonardo A., « A Mini-Review of Work Stress and Mindfulness: A Neuropsychological Point of View », *Frontiers in Psychology*, 13, 2022, 854204. <https://doi.org/>

GROSSMAN Paul, « On Measuring Mindfulness in Psychosomatic and Psychological Research », *Journal of Psychosomatic Research*, 64(4), avril 2008, p. 405-408. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2008.02.001>.

HENRIKSEN Danah, RICHARDSON Carmen & SHACK Kyle, « Mindfulness and Creativity: Implications for Thinking and Learning », *Thinking Skills and Creativity*, 37, septembre 2020, 100689. <https://doi.org/>

HÖLZEL Britta K., LAZAR Sara W., GARD Tim, SCHUMAN-OLIVIER Zev, VAGO David R., & OTT Ulrich, « How Does Mindfulness Meditation Work? Proposing Mechanisms of Action from a Conceptual and Neural Perspective », *Perspectives on Psychological Sciences*, 6(6), 2011, p. 537-559. <https://doi.org/>

MAYMIN Philip Z. & LANGER Ellen J., « Cognitive Biases and Mindfulness », *Humanities and Social Sciences Communications*, 8, 2021, 40. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00712-1>.

NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH, « Mindfulness for your Health. The Benefits of Living Moment to Moment », *NIH News in Health Newsletter*, n° 6, Washington DC, US Government Printing Office, juin 2021. <https://newsinhealth.nih.gov/2021/06/mindfulness-your-health>.

KABAT-ZINN Jon, « Mindfulness-Based Interventions in Context: Past, Present, and Future », *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10(2), 2003, p. 144-156. <https://doi.org/10.1093/clipsy/bpg016>.

SUMANTRY David & STEWART Kathleen E., « Meditation, Mindfulness, and Attention: A Meta-Analysis », *Mindfulness*, 12(6), 2021, p. 1332-1349. <https://doi.org/10.1007/s12671-021-01593-w>.

VERDONK Charles, TROUSSELARD Marion, CANINI Frédéric, VIALATTE François & RAMDANI Céline, « Toward a Refined Mindfulness Model Related to Consciousness and Based on Event-Related Potentials », *Perspectives on Psychological Sciences*, 15(4), 2020, p. 1095-1112. <https://doi.org/10.1177/1745691620906444>.

VERHAEGHEN Paul, « Mindfulness as Attention Training: Meta-Analyses on the Links Between Attention Performance and Mindfulness Interventions, Long-Term Meditation Practice, and Trait Mindfulness », *Mindfulness*, 12(3), 2021, p. 564-581. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01532-1>.

YAKOBI Ofri, SMILEK Daniel & DANCKERT James, « The Effects of Mindfulness Meditation on Attention, Executive Control and Working Memory in Healthy Adults: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials », *Cognitive Therapy and Research*, 45, 2021, p. 543-560. <https://doi.org/10.1007/s10608-020-10177-2>.

Vade-mecum des comportements de santé à l'usage des décideurs pour la gestion de la charge cognitive en situation de crise prolongée

Éric VALADE - Marion TROUSSELARD

MGI, Directeur de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA). | MCSCN (esr), Unité de Neurophysiologie du stress de l'IRBA.

Introduction

Les chefs militaires/décideurs en situation de gestion de crise, quels que soient leur grade et leur fonction, témoignent régulièrement de l'expérience qu'ils ont faite d'une « surcharge cognitive ». Celle-ci survient dans des situations le plus souvent menaçantes, impactées par une forte dynamique temporelle alors même que les décisions à prendre dans ces conditions ont un caractère crucial, voire vital. Au-delà, certaines crises, comme la crise sanitaire de Covid-19, inscrivent les chefs militaires/décideurs dans une surcharge cognitive de longue durée. Si la gestion de la charge cognitive en situation aiguë a fait l'objet de nombreuses études, force est de constater que lorsque la situation critique perdure, cette gestion doit être appréhendée différemment. Cette inscription temporelle de longue durée implique un état de stress chronique qui a des conséquences négatives non seulement sur le fonctionnement cognitif, mais aussi sur la santé. Ce stress chronique inhérent aux demandes de la situation de crise conduit à un cercle vicieux par lequel la santé et la cognition se dégradent l'une par l'autre. Maintenir un bon état de santé est un enjeu capital pour pouvoir être cognitivement efficient. Pour autant, peu de retours d'expérience sont disponibles pour se préparer à ce type de situation.

Dans le présent article, nous nous attachons à partir de l'expérience de la gestion de la crise sanitaire de Covid-19 au sein des instances directrices du Service de santé des Armées (SSA), à cibler les comportements de santé favorables au maintien de celle-ci. Nous définissons ce qu'est un comportement de santé pour mieux appréhender l'importance d'une hygiène de vie malgré la crise afin de maintenir un état de bonne santé, prérequis à la gestion dans la durée des défis cognitifs. Nous proposons le principe d'un *vade-mecum* des comportements de santé du quotidien. Il s'agit d'une certaine façon d'une mise à l'épreuve des concepts par une situation de crise. Finalement, nous posons que ce guide répond aux missions du SSA en ce qu'il vise à sensibiliser

aux enjeux des comportements de santé pour la prévention de la santé en opérations des militaires.

Les comportements de santé et leur mise en œuvre

Définitions

Un comportement se définit comme une action observable. Les comportements ont été étudiés dans le cadre de la santé, notamment mentale, sous le terme de comportements de santé. Dans ce cas, l'action se caractérise par ses répercussions sur la santé du sujet et a, de ce fait, des conséquences pour la réalisation des missions militaires. Pour le psychologue américain Joseph Matarazzo, on peut classer empiriquement les comportements de santé en deux catégories : (i) les comportements « pathogènes », constitués par les habitudes nuisibles à la santé (fumer, boire de l'alcool, etc.) et (ii) les comportements de « protection de la santé », appelés encore « immunogènes » (Matarazzo, 1983). Ils sont à considérer en termes de prévention (avoir une alimentation saine, participer à des actions de dépistage, etc.) et en termes de soins (observance du traitement, etc.).

Nous nous intéressons ici aux comportements qui sous-tendent une santé optimale puisque la gestion de la crise impose aux chefs/dirigeants de se donner les moyens d'être dans le meilleur état de santé possible afin de disposer au mieux de leurs compétences et ainsi répondre, en tout temps et en tous lieux, aux besoins cognitifs de la situation. S'il existe de nombreux modèles visant à reconnaître et développer ces comportements de santé, nous nous proposons de présenter le modèle du compas santé (Salvas Shaar et Heninger Britton, 2011). Celui-ci a identifié des comportements de fonctionnement optimum qui, comme un compas, doivent orienter les actions santé du quotidien. Ce compas cible le sommeil, l'activité physique, les émotions et l'alimentation pour former un système intégré de comportements de santé. Il propose à partir d'un état des lieux de déployer une approche productive qui décline un processus de changement en six étapes :

- Étape 1 : Faire l'inventaire des forces de caractère et des succès passés.
- Étape 2 : Choisir un point de départ sur chacune des cibles.
- Étape 3 : Fixer des buts clairs centrés sur les comportements.
- Étape 4 : Sélectionner des interventions appropriées.
- Étape 5 : Établir son réseau de soutien.
- Étape 6 : Passer des changements aux habitudes de santé.

Cette approche propose à la fois une mesure des comportements de santé et une modalité d'intervention pour les développer. Elle s'inspire de l'*Appreciative Inquiry*, qui est un processus destiné à opérer des changements transformationnels dans les organisations (Cooperrider et Whitney, 2005) en explorant le meilleur du présent et du passé, afin que la personne bâtisse sur ses forces et sur ses succès passés, plutôt que de se centrer sur ses faiblesses ou sur les tentatives de changement antérieures. Les partisans de l'*Appreciative Inquiry* affirment que « le fait de se centrer sur les

problèmes du système draine l'énergie nécessaire au changement » (Ludema, *et al.*, 2003, p. 6). Les individus ont besoin d'énergie pour changer leurs comportements liés à la santé et la meilleure façon de la trouver consiste à se rappeler ses succès passés et à exploiter ses forces actuelles. Ce faisant, on augmente « le sentiment d'efficacité personnelle [qui] influence l'adoption de nouveaux comportements, l'arrêt des comportements non sains et le maintien de changements comportementaux face aux défis et aux difficultés » (Maddux, 2005, p. 281). Les professeurs américains en psychologie sociale Shelley Taylor et David Sherman (2004) ont montré qu'en ce qui concerne l'acquisition de nouveaux comportements de santé, il est plus efficace de s'inscrire dans un avenir positif et dans un esprit de réussite, que de chercher à s'éloigner d'un passé négatif, d'une expérience négative.

Le modèle montre ainsi que les individus ne changent pas de comportement du jour au lendemain. Ils passent par plusieurs étapes qui demandent chacune un type de soutien différent. Il souligne aussi que les individus ne parviennent pas nécessairement à changer en suivant une évolution linéaire dès la première tentative. Les personnes passent souvent de manière cyclique à travers plusieurs étapes avant d'arriver finalement à consolider leurs nouvelles habitudes. Le fait de savoir que les personnes qui sont parvenues à instaurer des changements ont aussi connu des rechutes mais ont été capables de les dépasser, peut constituer une idée puissante pour ceux qui aimeraient évoluer vers de meilleures habitudes de santé. Le compas vise à aider les personnes à créer de nouveaux comportements qui apportent plus de récompenses que leurs anciennes habitudes. En d'autres termes, ces comportements visent à apporter en temps normal du bien-être. Contrairement à des solutions temporaires, ces nouveaux comportements deviennent une manière durable de vivre.

Le compas du fonctionnement santé est aussi un outil dont peuvent se servir les états-majors/organisations pour concevoir des programmes de santé en environnement professionnel en proposant des modalités de suivi. Pour autant, plusieurs défis se posent. Un premier défi est d'évaluer si certains comportements de santé agissent de façon plus efficace que d'autres pour le maintien de la santé mentale, physique et, dans le cas particulier, pour le bon fonctionnement cognitif. Dans une étude récente évaluant le rôle de l'alimentation, de la pratique sportive et des données sociodémographiques sur le bien-être mental et physique d'adultes actifs, l'avocate chercheuse en droit Valerie Blake et ses collègues (2017) observent que l'activité physique représente 40,1 % de la variance de la santé et du bien-être physique et 21,4 % de la variance de la santé émotionnelle. Une alimentation saine est directement liée à la satisfaction émotionnelle, mais non pas au bien-être physique. Pour autant, qu'en est-il en situation de crise, et ce, particulièrement sur le plan de la santé cognitive ? Enfin, outre l'identification exhaustive des comportements de santé, un des défis majeurs est de comprendre comment les individus adoptent et maintiennent des comportements de fonctionnement optimum (Blake, *et al.*, 2017).

La question de l'adoption de comportement de santé

L'adoption de comportements de santé est influencée par différents facteurs, dont les plus étudiés sont les facteurs sociaux, génétiques ou émotionnels, les symptômes

perçus, les croyances du patient et les croyances des professionnels de la santé (Leventhal, 1984). Ainsi, les choix personnels sont une composante importante des comportements de santé, mais ils ne sont pas les seuls déterminants. La littérature scientifique montre que les conditions de vie et le niveau socio-économique ont une influence directe sur les comportements de santé, de même que le niveau d'instruction (corrélé au niveau social), la qualité de l'habitat et la qualité des relations sociales.

Si de nombreux modèles ont été élaborés pour comprendre comment un individu adopte un comportement de santé, et va le maintenir, ils ont à notre connaissance peu été évalués dans le cadre des comportements de santé en situation de crise ; autrement dit, comment expliquer et prédire le comportement d'un individu, et ce dans un environnement particulier à forte demande ? Parmi les modèles existants, la théorie de l'action raisonnée (Ajzen, 1991), complétée par celle du comportement planifié (Fishbein & Ajzen, 1975) a été la plus évaluée avec l'objectif de comprendre l'adoption de comportements de santé préventifs (Figure 1). Cette approche repose sur l'hypothèse que les comportements sont le mieux prédits par les intentions des sujets, intentions qui sont façonnées par les attitudes à l'égard des normes sociales concernant le comportement ciblé. La théorie du comportement planifié stipule que les décisions précédant un comportement donné résultent d'un processus cognitif et émotionnel dans lequel le comportement est indirectement influencé par trois processus : l'attitude envers l'action (*i.e.*, évaluations positives ou négatives que le sujet fait sur l'action à mettre en œuvre), les normes subjectives qui reflètent la manière dont le sujet intègre les normes sociales et le contrôle comportemental perçu. En d'autres termes, la mesure dans laquelle une personne pense pouvoir contrôler un résultat influencera sa volonté de s'engager, compte tenu de ses croyances dans son aptitude à contrôler la situation et de son pouvoir perçu dans la situation. Ce contrôle perçu, en conjonction avec les attitudes et les normes subjectives, influence l'intention d'adopter un comportement.

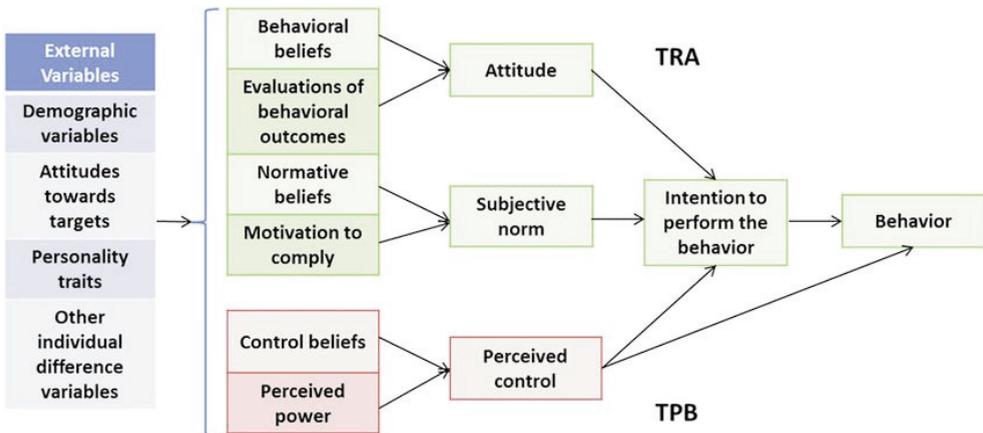


FIGURE 1 : Modèle théorique du comportement planifié (Fishbein et Ajzen, 1975).
TRA Theory of Planned Behavior ; TPB : Theory of Reasoned Action.

Ces théories ciblent la compréhension de l'écart entre l'intention et l'action pour proposer des moyens de le réduire. Force est de constater que les attitudes et les intentions ne sont pas toujours de bons prédicteurs du comportement, conduisant à intégrer dans les modèles explicatifs le construit d'engagement. Ainsi, l'intention de mise en œuvre d'un comportement est appréhendée dans ce cadre comme une stratégie d'autorégulation qui permet à l'individu de s'engager dans le comportement X cible (Gollwitzer, 1999). Une fois l'objectif fixé, l'intention de mise en œuvre correspond à « J'ai l'intention d'adopter le comportement X lorsque je serai confronté à la situation Y ». De cette façon, les personnes s'engagent à suivre un plan concernant le moment, l'endroit et la manière dont elles ont l'intention de travailler pour atteindre leurs objectifs. Le contrôle du comportement implique de fait non seulement la personne, mais également le contexte situationnel. En outre, l'engagement nécessite la définition d'objectifs concrets et d'un plan clair. À noter que la communication d'un engagement envers quelqu'un peut être puissante en raison du désir de maintenir une image positive de soi. L'auto-efficacité a également été suggérée pour combler le fossé entre l'intention et l'action : en substance, nous devrions renforcer la confiance des gens en leurs capacités d'agir, renvoyant aux concepts d'agentivité définis comme le fait de se sentir acteur/responsable de ses actions et d'*empowerment* ou autonomisation, qui renvoie à la capacité des individus à agir sur les événements auxquels ils doivent faire face.

La question de l'adoption des comportements de santé demeure un enjeu fort de la prévention en santé. Ce constat souligne que les comportements de santé doivent être acquis avant d'être immergés dans une situation de crise. Il est difficile de les acquérir en situation. La formation des décideurs implique en conséquence au minimum une sensibilisation aux comportements de santé, au mieux une aide à les adopter et à les maintenir en tout temps et en tous lieux.

Ces éléments posent l'importance pour les chefs/décideurs d'adopter en « hors crise », un style de vie favorable au maintien de la santé, l'enjeu en situation de crise étant alors de le maintenir. Ce point est d'autant plus important à prendre en compte qu'il est montré que plus l'environnement de stress impacte la santé, plus le maintien des comportements protecteurs est difficile. Pour certains, il semble qu'il y ait au fur et à mesure de la prolongation de la situation critique, une perte du lien aux fondamentaux de santé. Au regard de la difficulté à adopter un nouveau comportement dans son quotidien, il est d'autant plus important que les chefs/décideurs sensibilisent leurs états-majors et personnels pour donner à chacun un contrôle sur sa santé, et soutiennent des attitudes et les normes collectives favorables. Il est de ce fait important qu'ils montrent l'exemple dans le quotidien professionnel comme en situation de crise.

Les facteurs favorisant les comportements de santé

Nous souhaitons insister sur certains facteurs favorisant un climat propice aux comportements de santé adaptés à la population militaire, mais aussi civile, en particulier pour la gestion de crise. Si ces facteurs ont fait l'objet de nombreuses études sur des adultes, force est de constater qu'il existe peu d'études sur les chefs/dirigeants, et ce, encore moins en situation de crise. Pour autant, ces facteurs de soutien se posent

comme des acteurs pertinents pour le maintien de la santé psychique, physique et cognitive. Ils constituent d'une certaine façon des briques pour construire ses comportements de santé et les déployer en situation de crise.

La Mindfulness

La *Mindfulness* ⁽¹⁾, ou pleine conscience, se définit comme une propriété psychologique de l'individu caractérisée par « un état de conscience qui résulte du fait de porter son attention, intentionnellement, au moment présent, sans jugement, sur l'expérience qui se déploie moment après moment » (Kabat-Zinn, 2003). Cette inclination permet le développement de la concentration, de l'attention et de l'acceptation sans jugement, envers tout ce qui est vécu dans le moment présent (Tang, 2007). Elle renvoie donc à une attention dépouillée de toute interprétation, dans laquelle la conscience perceptive est cultivée à tout moment. Les pratiques développant la capacité d'un individu à être en *Mindfulness* sont basées sur des techniques de méditation.

La littérature montre son effet bénéfique sur la santé physique et mentale mais aussi sur la cognition. Un haut niveau de *Mindfulness*, étudiée dans le monde de l'entreprise, montre que sa pratique y est possible et souligne ses bénéfices cognitifs, notamment dans les situations de défis professionnels (Strub, 2010). Les processus cognitifs impliqués sont une meilleure régulation de l'attention et une amélioration de la métacognition (qui est la connaissance qu'un individu a sur son propre fonctionnement cognitif). Conjointement au contrôle des ruminations, ces compétences cognitives apparaissent comme des compétences à forte plus-value en situation de crise.

Par ailleurs, il existe un lien entre le niveau de *Mindfulness* et la propension à avoir des comportements de santé protecteurs. La *Mindfulness* a un effet positif sur le fonctionnement psychique d'un individu. La Professeure en psychologie Shauna Shapiro et ses collègues postulent que l'état de pleine conscience a trois composantes principales : l'intention, l'attention et l'attitude (Shapiro, *et al.* 2006). L'intention pourrait jouer un rôle de comportement de santé en favorisant l'observance des actions de santé mises en place ainsi que des soins. Focaliser l'attention sur un objet (son corps ou la respiration par exemple), afin de s'autoréguler, implique des opérations cognitives internes et externes permanentes. L'attention permet de développer la capacité à vivre l'instant présent, et le développement d'une conscience non élaborative pour les pensées, les émotions et les sensations qui sont perçues. Ces capacités permettent à l'individu de ne pas entrer dans un processus de rumination, ni d'anxiété, qui constitue autant de facteurs de risque de souffrance psychopathologique. La pratique de la *Mindfulness* met par ailleurs l'accent sur une orientation perpétuelle de l'individu vers l'expérience, qui se traduit par le maintien d'une attitude de curiosité cognitive et de non-jugement (Kabat-Zinn, 2003). Cette notion de non-jugement est fortement liée à celle de l'acceptation. Ceci implique une décision consciente d'abandon afin de permettre la manifestation des sensations, des émotions et des pensées (Dobkin,

⁽¹⁾ Se référer également à TROUSSELARD M., « La pleine conscience pour la gestion des dilemmes éthiques : le cas du monde médical », *Cahier de la RDN* « Le soldat augmenté : pour une gestion optimale du stress », 2022, p. 179 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?article=549&cidcahier=1310>).

2008). C'est un processus actif dans lequel le sujet choisit de recevoir ce qui arrive à sa conscience avec une attitude d'ouverture, de réceptivité et de non-jugement. Il permet aux pensées, aux sensations et aux émotions d'être expérimentées dans leur subjectivité et leur nature transitoire, ainsi le sujet n'est pas prisonnier de ses affects négatifs. Il ouvre également aux conseils de santé et à la « bibliothérapie », qui est une des techniques thérapeutiques utilisée par les thérapies comportementales et cognitives. Au-delà, elle facilite la prise de conscience de ses biais cognitifs pour optimiser le discernement (Maymin & Langer, 2021)

Un fonctionnement mindful apparaît comme un fonctionnement protecteur de la santé et de la cognition en gestion de crise. La pratique de la méditation visant à développer et maintenir ce fonctionnement permet un changement de l'individu dans sa gestion des défis auxquels il est confronté. De nombreux cadres dirigeants indiquent pratiquer quotidiennement des exercices de méditation pour maintenir une capacité cognitive de qualité au cours de la journée.

Le sentiment de cohérence interne

Le sens de la cohérence est un concept élaboré par le professeur de sociologie Aaron Antonovsky, dans le cadre de son approche socio-cognitive de la salutogénèse⁽²⁾ élaborée à la suite d'une étude clinique portant sur les récits des survivants des camps de concentration (Antonovsky, 1990). Un individu cohérent perçoit les événements extérieurs et sa propre vie comme compréhensibles, maîtrisables et ayant une signification pour lui. La cohérence apparaît donc comme une ressource qui atténue l'impact des événements stressants sur la santé. Les compétences d'un individu lui permettant de maîtriser de manière constructive les tensions et le stress auxquels il est exposé sont considérées comme des « ressources généralisées de résistance » (Antonovsky, 1990). Dans ce cadre, la cohérence est définie comme « une orientation générale de l'individu, qui se manifeste par un sentiment permanent mais dynamique de confiance » (Antonovsky, 1990).

L'hypothèse est que, chez un individu, plus le sentiment de cohérence est important, plus son état de santé (mental et physique) sera bon. Un sens de la cohérence marqué permet à l'individu de réagir avec souplesse aux contraintes en puisant de manière équilibrée dans ses ressources. Le sens de la cohérence doit être compris comme étant la résultante des trois ressources : i) la compréhension des événements qui surviennent (*sense of comprehensibility*), ii) le pouvoir de gérer ces événements (*sense of manageability*) et iii) le sentiment que ces événements ont un sens (*sense of meaningfulness*). Plus précisément, la compréhension des événements se définit comme le fait que les informations et les situations de la vie quotidienne – y compris les expériences internes et externes – peuvent être ordonnées ou perçues de manière compréhensible et regroupées en un tout consistant. La notion de pouvoir gérer les événements décrit la conviction qu'un être humain a de pouvoir résoudre les difficultés, notamment dans

⁽²⁾ Cadre de travail en psychologie de la santé qui est axé sur les ressources visant le renforcement d'un environnement favorable à la santé et des ressources individuelles. Antonovsky est considéré comme le père fondateur de la salutogénèse.

le champ cognitif. Cette conviction nécessite une confiance en soi et une capacité à estimer la disponibilité de ses ressources intérieures pour faire face à la contrainte, notamment sur le plan cognitif (Maddi, 1999). Au-delà, le modèle du sens de la cohérence est également pertinent dans le cadre particulier du traumatisme psychique. Ainsi, dans une situation stressante, le sentiment de cohérence peut se traduire par le fait que l'individu sait donner un sens à l'événement traumatique et qu'il ait confiance dans ses ressources personnelles pour s'y confronter. Le sentiment de cohérence permettrait d'atténuer le risque d'apparition de symptômes *post*-traumatiques (Paton, Violanti et Smith, 2003).

Pour les militaires, l'importance de la cohérence interne a été mise en évidence lors des missions d'interposition et de maintien de la paix, notamment lors des conflits en ex-Yougoslavie (Doutheau, 1994). Ces opérations imposent en effet parfois aux personnels une situation de « passivité », accompagnée de l'hostilité des belligérants. En outre, elles comportent souvent un volet humanitaire. Le personnel se voit donc assigner les objectifs de protéger les populations locales, les nourrir, leur distribuer de l'aide... tout en étant témoin des exactions commises à leur rencontre – mais sans avoir le mandat pour agir par les armes. Enfin, le contact avec ces personnes en détresse, le spectacle de la misère, de la faim, des destructions et des assassinats sont autant de facteurs traumatisants. Ils sont renforcés par l'éventuel sentiment d'une impossibilité à satisfaire les demandes des victimes, comme dans le cadre de certaines missions humanitaires civiles. Le problème posé par ces situations opérationnelles de « passivité » est qu'elles entrent parfois en opposition avec l'image que le militaire se fait de lui-même. Il peut en résulter une perte de sens et un affaiblissement du sentiment de cohérence : le soldat estime que les tâches qu'on lui alloue ne correspondent pas à celles qui ont motivé son engagement et pour lesquelles il a été formé. Cette distorsion du sentiment de cohérence peut constituer un facteur de vulnérabilité aux éventuelles pathologies traumatiques.

Dans le cadre de la crise sanitaire, la situation s'inscrit dans quatre problématiques qui s'entremêlent et qui imposent un positionnement nouveau : *Volatility* (volatilité), *Uncertainty* (incertitude), *Complexity* (complexité) et *Ambiguity* (ambiguïté) (Nindl, *et al.*, 2018). Un environnement caractérisé par ces problématiques *VUCA* est un monde de mise sous tension des individus, des groupes et des systèmes en ce qu'il contraint tous les acteurs à intégrer des modes de fonctionnement plus innovants, plus agiles, plus réactifs, plus coopératifs s'appuyant sur un socle commun de ressources. La capacité à intégrer les aléas et les incertitudes, ainsi que les crises et chocs, intégrant la haute intensité, devient un facteur différenciant. Ces constats impliquent de penser les comportements de santé comme des prérequis pour développer/soutenir conjointement la robustesse et la résilience, et ainsi optimiser les possibilités d'une adaptation efficace en tout temps et en tous lieux : la robustesse comme qualité permanente pour résister à tout ce qui relève du « fonctionnement » dans des conditions relativement normales (ou de routine) ou anormales mais anticipées, et la résilience comme qualité contextuelle de réaction à ce qui survient en s'appuyant sur les ressources des individus disponibles pour « faire face » et sur les capacités de transformations pour répondre à la situation (Peterson, *et al.*, 2023).

C'est la double qualité de robustesse et de résilience qui se pose comme un enjeu des comportements de santé pour le cheffdirigeant en ce que ces comportements facilitent le déploiement individuel et collectif dans une temporalité de « l'avant », du « pendant » et de « l'après ». Ils permettant à chacun d'assumer sa responsabilité à l'égard de soi et des autres comme marque d'un comportement porteur de sens en tout temps et en tous lieux (Martin-Krumm, et al., 2023).

Les comportements de santé institutionnels

Cadre institutionnel

Au-delà des facteurs individuels favorisant les comportements de santé qui ne sont pas spécifiques du militaire, il existe au sein de l'institution militaire un cadre favorable *per se*. Le premier est la visite médicale périodique qui offre un temps d'échange en confiance pour l'adoption/l'amélioration des comportements de santé des militaires. Le second est la formation et l'entraînement militaires, qui apprennent à chacun à exercer les activités dans le respect de sa santé pour durer. Indépendamment des formations spécifiques plus ou moins techniques, citons l'Optimisation des ressources des forces armées (Orfa), formation cadrée par la directive du 19 juillet 2021 ⁽³⁾ pour les forces armées. Cette méthode ⁽⁴⁾ représente des moyens et des stratégies mentales permettant à chacun de mobiliser au mieux ses ressources en fonction des exigences de la situation rencontrée pour y faire face et s'y adapter rapidement ainsi que pour atteindre ses objectifs. L'entraînement, quant à lui, comporte une dimension collective, ce qui permet au militaire de développer sa confiance dans ses camarades (et plus particulièrement leurs compétences). À l'échelle de l'individu, il permet de développer le sentiment de pouvoir maîtriser une situation difficile. Cet entraînement régulier est indispensable aux militaires afin de i) pallier à la diminution de leurs fonctions cognitives en situation de stress réel et ii) diminuer la charge que le stress génère sur le fonctionnement de l'organisme dans les situations réelles et ainsi protéger leur état de santé au long terme. De plus, la fonction de l'entraînement, notamment « nourri » par le retour d'expérience et la simulation, est de fournir des moyens aux militaires pour analyser les situations auxquelles ils seront confrontés. Il sert également à faire acquérir aux personnels des réflexes procéduraux lorsque les événements ont déjà été rencontrés et analysés, et surtout que le contexte correspond à leur emploi. Il doit permettre aux individus de disposer d'assez de ressources pour identifier rapidement une méthode valable lorsque la situation est complexe et changeante. Enfin, il offre une situation pour évaluer ses comportements de santé et comment le terrain les met à mal. L'enjeu est ici de mieux se connaître pour savoir rester en bonne santé en situation de crise.

La formation et l'entraînement s'attachent, dans tous les cas, à renforcer la capacité à faire face, en particulier le sentiment de disposer d'instruments et de méthodes suffisamment performants pour contrôler les événements (Coste et Nexon, 2011). Si les chefs ont un rôle

⁽³⁾ Directive n° 770/ARM/EMA/CNSD/EIS/DGF.

⁽⁴⁾ Se référer également à ROBERT Jean-Philippe et RAVEL Mickaël, « De la formation initiale à la projection opérationnelle : l'apprentissage de soi-même et le suivi de son sommeil par la méthode d'ORFA », *Cahier de la RDN* : « Le soldat augmenté : optimisation de la gestion du sommeil », 2021, p. 89 (<https://www.defnat.com/>).

central dans leur mise en œuvre au profit des militaires qu'ils dirigent, il est également important qu'ils puissent en bénéficier, notamment pour mettre en tension leurs comportements de santé et mieux se connaître en situation.

Du soutien social à l'esprit de corps

Le soutien social désigne les comportements des proches vis-à-vis d'un individu devant composer avec une situation traumatique (Coste et Nexon, 2011). Le réseau social peut être divisé en quatre composantes : la famille, les amis, les relations au travail et celles à une communauté. La qualité de ce soutien est généralement mesurée à partir de deux critères : i) le nombre de personnes disponibles dans ce réseau et ii) la perception que l'individu a des ressources (matérielles, morales, etc.) que son entourage peut lui procurer.

Plus ce nombre est important, plus il semble procurer un sentiment de sécurité. Par ailleurs, les ressources dispensées par l'entourage (notamment le temps consacré à l'écoute) exerceraient un effet indirect, atténuant l'impact des situations de tension élevée. La qualité du soutien social pourrait également avoir une influence sur le développement des sentiments d'abandon, d'autodépréciation et d'auto-victimisation, dont il a été prouvé qu'ils amplifient la mémoire de l'incident traumatique et exacerbent les souffrances psychologiques. Une littérature abondante met notamment en évidence la relation entre les troubles de stress *post*-traumatique et le soutien social chez les victimes d'événements traumatiques (Solomon et Mikuvic, 1990). La force de cette relation s'avère d'ailleurs particulièrement marquée dans les populations d'anciens combattants. Au-delà du soutien social, le militaire fait partie intégrante de plusieurs collectifs d'appartenance qui soutiennent la mobilisation des ressources individuelles, dans le sens où il s'agit pour le militaire d'être à la hauteur des normes de comportement de sa collectivité. Il permet aussi le maintien de la capacité opérationnelle (Coste et Nexon, 2011). Ces collectifs visent également à l'émergence d'un esprit de corps qui va grandir avec le partage d'expériences communes (en particulier en opérations et lors des entraînements) qui forgent, en quelque sorte, une communauté de destin. Ces collectifs doivent par ailleurs être incarnés au niveau des états-majors.

Cet esprit de corps doit être convoqué pour le soutien des comportements de santé de chacun. Il permet d'exercer une veille sur leur respect dans les limites de ce que la mission permet. Il offre un cadre pour poser ces comportements dans une identité collective, une culture commune de santé. Ainsi, la culture de la sieste opérationnelle a fait l'objet d'un travail du SSA afin de sensibiliser aux risques de la privation de sommeil sur la cognition et la sécurité de la mission. Soutenue par les chefs de plusieurs structures, elle commence à se déployer dans le quotidien des missions, notamment depuis la gestion de la crise sanitaire.

L'exemple de la sieste opérationnelle souligne le rôle des chefs pour que la culture d'appartenance et l'esprit de corps permettent aux militaires de s'emparer de certains comportements de santé. Force est de constater que l'exemple venant du haut de la hiérarchie, facilite l'acceptation par les militaires sur le terrain d'une action salutogénique qui n'est pas, de prime abord, posée comme prioritaire à la mission.

L'activité physique

Nous terminons notre liste des comportements de santé par la pratique des activités physiques, puisqu'elles se trouvent au cœur du métier de militaire, aussi bien dans sa formation, que dans son entraînement et dans ses missions. Depuis l'Antiquité, le sport est reconnu comme vecteur de bonne santé pour l'homme. L'exercice physique répond à cette préoccupation déjà ancienne intitulée « *Mens sana in corpore sano* » (Juvenal), dans laquelle le bien-être psychique est à pied d'égalité avec le simple souci d'hygiène de vie et le bien-être corporel. Les bénéfices de l'activité physique sur la santé ne sont plus à démontrer et sont largement décrits par les rapports de la Haute autorité de santé. Au-delà, les bénéfices sont observés en termes de cohésion et d'esprit de groupe.

Dans le milieu militaire, le sport se définit comme un comportement de santé puisqu'il a pour objectif de maintenir une condition physique suffisante, afin de permettre au soldat d'appréhender au mieux les contraintes de la mission (le port d'un équipement lourd par exemple). Ce comportement de santé a un caractère institutionnel car il s'exerce au sein du milieu professionnel (plusieurs heures de sport obligatoires par semaine). La spécificité des missions implique la préoccupation permanente du maintien et de l'amélioration de capacités physiques du militaire. Par ailleurs, les missions se déroulent le plus souvent dans des conditions environnementales peu favorables voire hostiles (climat avec températures extrêmes, terrain désertique ou montagneux...). Pour autant, en Opérations extérieures (Opex), les moyens disponibles pour la pratique du sport sont moins nombreux qu'en métropole. Le plus souvent, seule une salle de musculation est mise à disposition. L'activité physique est alors réalisée dans un contexte d'entraînement, mais elle assure aussi parfois la régulation des émotions. La pratique sportive est bien évidemment adaptée aux risques inhérents à la situation sécuritaire du théâtre d'Opex : ainsi le footing peut être réalisé uniquement à l'intérieur du camp ou substitué par des activités d'intérieur.

Pour autant, force est de constater que les situations à fortes contraintes peuvent favoriser le détournement de l'activité physique en comportement de dépendance, comme cela a pu être observé lors des Opex en Afghanistan (Demont, 2013). Dans le cadre de l'addiction au sport, le sujet va avoir une pratique compulsive et régulière. Cela va entraîner chez lui une tolérance, c'est-à-dire une diminution du plaisir pour un même temps passé à pratiquer l'activité. Il va donc augmenter son temps de pratique, mais aussi l'intensité de son activité, afin d'obtenir un plaisir identique ou plus important. Le sujet peut présenter, à l'arrêt ou lors de la diminution de l'activité sportive, un syndrome de sevrage. Celui-ci, associé à la perte des effets bénéfiques et du plaisir apporté par le sport, se caractérise par une irritabilité ou une certaine anxiété. En outre, une activité sportive trop intense peut avoir une influence négative sur la santé (tendinopathies, fractures osseuses-microtraumatiques, etc.). Le sportif « addict », lorsqu'il est victime de ces pathologies, va vouloir poursuivre malgré tout son activité sportive et ne tient pas compte des prescriptions médicales qui lui sont proposées (le repos sportif par exemple). Enfin, le sujet présentant une addiction au sport abandonne les autres sources de plaisir. Le temps passé à faire du sport ne lui permet plus de s'investir

dans d'autres activités. Les équilibres sociaux, professionnels et familiaux sont modifiés. Néanmoins, le sujet ne se retrouve pas toujours en situation d'isolement ou d'exclusion (contrairement à l'addiction à des substances telle que la toxicomanie) car l'activité physique se pratique souvent en groupe, en particulier chez les militaires.

L'addiction au sport constitue donc un comportement de santé susceptible d'avoir des répercussions négatives sur la santé du sujet. Il convient aux chefs de veiller à une pratique raisonnée de l'activité physique. Il est également de leur responsabilité de détecter les changements de modalités de pratique. Cette détection constitue en soi une veille aux comportements de santé du groupe. Au-delà, le chef lors d'une situation de crise doit veiller à maintenir sa propre pratique d'activité physique régulière et doit être capable de s'alerter dès lors que celle-ci se rapproche d'un comportement de dépendance.

Conclusion

Se préparer à la gestion cognitive qu'implique la situation de crise pour un chef/décideur est essentiel et doit être anticipé afin de pouvoir être efficace pendant la crise. Le *post-crise* doit également être pris en compte. La crise sanitaire de Covid-19 a conduit les chefs en état-major à devoir maintenir des compétences cognitives de haut niveau dans la durée. La situation *VUCA* a contraint tous les acteurs en position d'encadrement à intégrer des modes de fonctionnement plus innovants, plus agiles, plus réactifs et plus coopératifs s'appuyant sur un socle commun de ressources. Celles-ci ont été des briques indispensables à la capacité des états-majors d'intégrer les aléas et les incertitudes.

Ces constats posent l'importance de disposer pour les chefs d'un compas de santé testé en amont de l'émergence d'une crise. Les contraintes des états-majors, dans le quotidien de leur mission, permettent de tester et de personnaliser les comportements de santé les plus utiles pour chacun, notamment pour soutenir une capacité à gérer la charge et la surcharge cognitive. La pratique des Orfa, de la méditation dans ce temps est à privilégier. Il est également pertinent de profiter de la visite médicale périodique pour construire avec le médecin militaire son compas de comportements de santé.

En situation de crise, il importe de savoir se ménager des temps de pause et de sommeil, d'activités physiques, de moments avec ses proches. De même, prendre le temps d'une alimentation équilibrée est essentiel. Il est largement connu que le travail de nuit contraint par la situation de crise favorise le *snacking* et une alimentation de survie plutôt sucrée. Les états-majors sont au premier plan de la difficulté à maintenir des comportements salutogéniques alors même que leur comportement s'érige en exemples pour les subordonnés. Il importe pour les chefs également de détecter les signes d'une souffrance cognitive telle que les ruminations ou les difficultés de métacognition. Ces signes indiquent que les comportements de santé et la santé sont mises à mal. Ils doivent servir d'alerte pour réajuster ses comportements de santé et mieux s'approprier le nouveau rythme de travail afin de rester cognitivement alerte dans la durée.

Enfin, il importe à l'issue de la crise qu'il y ait un temps de récupération. Ce temps est nécessaire au niveau des états-majors comme des militaires de terrain. Il doit permettre un retour d'expérience sur les comportements de santé les plus aidants. Il constitue une aide pour mieux se connaître et mieux se préparer pour les prochaines crises. Si la méditation comme les Orfa sont propices à la récupération, le soutien que propose le SSA constitue une aide pour s'informer sur les actions qui la permettent et pour orienter chacun vers le programme le plus efficace pour cette récupération indispensable à la préparation de la mission suivante, qui peut être une nouvelle situation de crise.

Éléments de bibliographie

ANTONOVSKY Aaron, « Personality and Health: Testing the Sense of Coherence Model », in FRIEDMAN H., *Personality and Disease*, Edition John Wiley, 1990, p. 155-77.

AJZEN Icek, « The Theory of Planned Behavior », *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 1991, p. 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T).

BLAKE Valerie K., NEHRKORN Abigail M. et PATRICK Julie H., « Differential Effects of Health-Promoting Behaviors on Well Being Among Adults », *International Journal of Wellbeing*, 7(2), 2017, p. 28-42. <https://doi.org/10.5502/ijw.v7i1.471>.

COOPERRIDER David L. et WHITNEY Diana, *Appreciative Inquiry: A Positive Revolution in Change*, San Francisco, Berrett Kohle, 2005.

COSTE F. et NEXON E., *La Contribution des armées à la résilience de la Nation : aspects humains et organisationnels*, Rapport n° 702/FRS/RESIL, Fondation pour la recherche stratégique (FRS), 17 novembre 2011 (https://archives.defense.gouv.fr/content/download/150248/1503153/00_Rapport_Final_702_RESIL.pdf).

DEMONT G., *Pratique du sport et niveau de tolérance au stress d'une Opex en Afghanistan dans une population de militaires de l'armée de Terre*, Thèse de médecine, Université de Lyon, 2013.

DOBKIN Patricia L., « Mindfulness-Based Stress Reduction: What Processes are at Work? », *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 14, 2008, p. 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2007.09.004>.

DOUTHEAU C., LEBIGOT F., MORAUD C., CROCQ L., FABRE L., et FAVRE J., « Facteurs de stress et réactions psychopathologiques dans l'armée française au cours des missions de l'ONU », *Revue internationale des Services de santé des forces armées*, LXVII(1-2), 1994, p. 30-34.

FISHBEIN Martin et AJZEN I., *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1975, 578 pages.

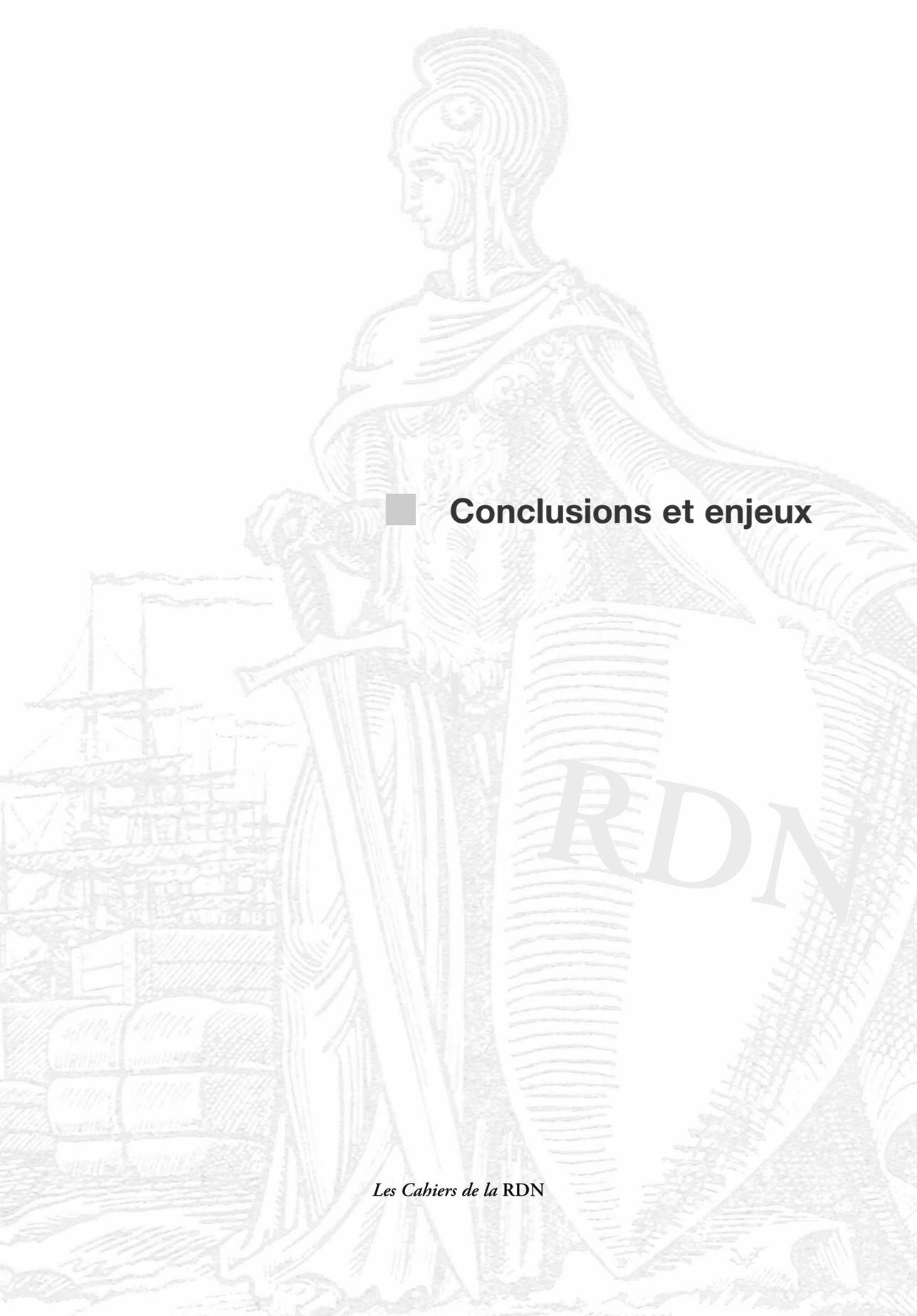
GOLLWITZER Peter M., « Implementation Intentions: Strong Effects of Simple Plans », *American Psychologist*, 54(7), 1999, p. 493-503. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.7.493>.

JUVÉNAL, *Dixième Satire*, début du II^e siècle.

LEVENTHAL Howard, ZIMMERMAN R. et GUTMANN M., *Compliance: A Self-Regulation Perspective*, Handbook of Behavioral Medicine, Editions W.D. Gentry, 1984.

Vade-mecum des comportements de santé à l'usage des décideurs
pour la gestion de la charge cognitive en situation de crise prolongée

- LUDEMA James D., WHITNEY Diana, MOHR Bernard J. et GRIFFIN Thomas J., *The Appreciative Inquiry Summit: A Practitioner's Guide for Leading Large-Group Change*, San Francisco, Berrett-Kohler, 2003, 310 pages.
- KABAT-ZINN Jon, « Mindfulness-Based Interventions in Context: Past, Present, Future », *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10(2), 2003, p. 144-156. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpg016>.
- MADDI Salvatore R., « The Personality Construct of Hardiness: Effects on Experiencing, Coping and Strain », *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 51(2), avril 1999, p. 83-94. <https://psycnet.apa.org/>.
- MADDUX James E. et KLEIMAN Evan M., « Self-Efficacy: The Power of Believing you Can », in SNYDER C.R. et LOPEZ S.J. (dir.), *Handbook of Positive Psychology*, New York, Oxford University Press, 2005, p. 277-287.
- MARTIN-KRUMM Charles, JIMENEZ Adrien et TROUSSELARD M., « Psychologie positive et protection/développement des ressources au service des forces armées », *Cahier de la RDN « Pour une gestion optimale du stress »*, 2023, p. 145-156 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?article=545&cidcahier=1310>).
- MATARAZZO Joseph D., « Behavioral Immunogens and Pathogens: Psychology's Newest Challenge », *Professional Psychology: Research and Practice*, 14(3), 1983, p. 414-416. <https://doi.org/10.1037/0735-7028.14.3.414>.
- MAYMIN Philip Z. et LANGER Ellen J., « Cognitive Biases and Mindfulness », *Humanities and Social Sciences Communications*, 8, 2021. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00712-1>.
- NINDL Bradley C., BILLING Daniel C., DRAIN Jace R., BECKNER Meaghan E., *et al.*, « Perspectives on Resilience for Military Readiness and Preparedness: Report of an International Military Physiology Roundtable », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(11), 2018, p. 1116-1124. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.005>.
- PATON Douglas, VIOLANTI John M. et SMITH Leigh M., *Promoting Capabilities to Manage Posttraumatic Stress: Perspectives on Resilience*, Charles C. Thomas Publisher, 2003, p. 103-118.
- PETERSON Alan L., MOORE Brian A., EVANS Wyatt R., YOUNG-MCCAUGHAN Stacey, *et al.*, « Enhancing Resiliency and Optimizing Readiness in Military Personnel Through Psychological Flexibility Training: Design and Methodology of a Randomized Controlled Trial », *Frontiers in Psychiatry*, 14, 2024, p. 1299532. <https://doi.org/>.
- SALVAS-SHAAR Marie-Josée et HENINGER BRITTON Kathryn, « Le Compas bien-être : De la psychologie positive à la santé positive », in MARTIN-KRUMM C. et TARQUINIO C. (dir.), *Traité de psychologie positive* (1^{re} édition), De Boeck, 2011, p. 495-518.
- SHAPIRO Shauna L., CARLSON Linda E., ASTIN John A. et FREEDMAN Benedict, « Mechanism of Mindfulness », *Journal of Clinical Psychology*, 62(3), 2006, p. 373-386. <https://doi.org/10.1002/jclp.20237>.
- SOLOMON Zahava, WAYSMAN Mark et MIKULINER M., « Family Functioning, Perceived Social Support, and Combat-related Psychopathology: The Moderating Role of Loneliness », *Journal of Social and Clinical Psychology*, 9(4), 1990, p. 456-472. <https://doi.org/10.1521/jscp.1990.9.4.456>.
- STRUB Lionel, *La Mindfulness-Based Cognitive Therapy : revue de questions et élaboration d'un programme adapté à la prise en charge du stress professionnel : études-pilotes auprès d'une population de travailleurs*, Thèse de psychologie, École doctorale perspectives interculturelles (Metz), 2010.
- TANG Yi-Yuan, MA Yinghua, WANG Junhong, FAN Yaxin, *et al.*, « Short-Term Meditation Training Improves Attention Self-Regulation », *Proceedings of National Academy of Sciences*, 104, 2007, p. 17152-17156. <https://doi.org/>.
- TAYLOR Shelley E. et SHERMAN David K., « Positive Psychology and Health Psychology: A Fruitful Liaison », in LINLEY P. Alex et JOSEPH Stephen (dir.), *Positive Psychology in Practice*, Hoboken, NJ Wiley, 2004, p. 305-319. <https://doi.org/10.1002/9780470939338.ch19>.



■ **Conclusions et enjeux**

RDN

Conclusions

Mounir CHENNAOUI - Gérard DE BOISBOISSEL

Directeur scientifique et technique de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

Directeur de l'observatoire Enjeux des nouvelles technologies pour les forces, Centre de recherche de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan (CReC).

« Pensons à nos jeunes officiers, qui ne savent pas encore que la plupart des prises de décision majeures vont se faire dans un contexte de surcharge cognitive et de privation de sommeil », Haude TYMEN, pharmacien général, directrice de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), 2022.

Les Nouvelles techniques d'information et de communication (NTIC) aux progrès exponentiels ont pour caractéristique de capter et de redistribuer sans aucune pause des masses considérables d'informations ⁽¹⁾. Censées lever partiellement « le brouillard de la guerre », elles peuvent submerger les décideurs militaires par leur nombre, les paralyser si elles ne correspondent pas à leurs attendus ou les rendre dépendants s'ils attendent de toutes les avoir analysées avant de prendre une décision, inhibant auquel cas tout autant l'action au moment nécessaire que l'esprit d'audace ⁽²⁾.

Amplifiées par la révolution des usages militaires qu'introduisent les nouvelles technologies sur le champ de bataille (sciences de l'information, robotique, intelligence artificielle), ces vagues permanentes de données sollicitent en continu sur les plans psychologique et cognitif les chefs militaires qui devront discerner parmi les multiples informations critiques et non critiques, prioritaires ou non prioritaires, pertinentes ou inappropriées. De plus, l'immédiateté de l'accès à l'information va les contraindre car la seule limite à la prise de décision sera le temps humain de traitement de ces données, le temps machine étant infiniment plus court. Selon les tempéraments et les caractères, guette la tentation de tout superviser et par là de tout contrôler, au risque de ne pas pouvoir assurer dans le temps la charge mentale associée à ce travail. Les nouveaux équipements déployés sur le champ de bataille, la multiplicité des interfaces à gérer pour les opérateurs, ainsi que les dimensions interarmes, interarmées et interalliées ajoutent en complexité.

Savoir interagir en pleine conscience dans n'importe quel type de situation est la clef de voûte des opérations militaires. Or, il n'y a qu'une seule manière d'être défait,

⁽¹⁾ AUMONNIER Benoît, « Le sommeil : une véritable question pour le commandement et une nécessaire mise en perspective de sa gestion », *Cahier de la RDN* « Le soldat augmenté : optimisation de la gestion du sommeil », CReC-IRBA, 2022 p. 137-140 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?article=443&cidcahier=1284>).

⁽²⁾ BOISBOISSEL (DE) G., « Postface », *Cahier de la RDN* « Le soldat augmenté : optimisation de la gestion du sommeil », *op. cit.*, p. 145-146 (<https://www.defnat.com/e-RDN/vue-article-cahier.php?article=445&cidcahier=1284>).

celle de perdre la lucidité au cours de l'engagement (cf. Berthelot, p. 45-49). C'est ainsi qu'un rapport défavorable entre les exigences d'une situation de travail en milieu opérationnel et les ressources de la cognition humaine mobilisables pour y répondre (telles que les ressources attentionnelles et la mémoire de travail) peuvent entraîner une surcharge cognitive (cf. Darses, p. 85-97).

D'autres facteurs physiologiques contraignants peuvent en outre amplifier ou accélérer ce phénomène, comme la fatigue induite par le manque de sommeil en particulier ou le stress de l'individu. Pour le décideur militaire, s'y ajoute la complexité d'une gestion multitâche en responsabilité et sous contrainte, comme les actions en temps réel de re-planification, d'anticipation des menaces, d'évaluation en conduite de la situation opérationnelle, d'analyse de risque, de basculement etc. Pour les états-majors, celle de la distanciation avec le terrain et la nécessaire compréhension du réel *via* les informations et les images qui leur sont relayées (cf. Ruyant, p. 27-33).

Les mécanismes cognitifs mis en œuvre dans les processus décisionnels impliquent une flexibilité nécessitant une alternance entre plusieurs tâches s'accompagnant de coûts à la performance exigeant la mise en place de processus de contrôle qui limitent la performance et qui peuvent se traduire par une augmentation du temps de réaction et du taux d'erreurs dans l'exécution (cf. Mecheri, p. 123-134). L'exemple du milieu aéronautique où l'erreur est exclue est à cet effet très instructif : avec près d'un événement aérien grave sur cinq comportant la surcharge cognitive parmi ses causes, elle constitue un danger pour la sécurité aérienne. Elle entraîne une perte de contrôle de la situation se manifestant par des erreurs que les opérateurs ne sont plus capables de détecter et de récupérer dans le temps imparti par manque de ressources cognitives (cf. Vacher, *et al.*, p. 51-69). De fait, dans des contextes extrêmement contraints, comme un avion de chasse, la priorisation en temps réel des tâches à accomplir est primordiale, le temps alloué aux Tâches de mission (TM) ne devant intervenir qu'une fois les Tâches de sauvegarde (TS) maîtrisées. Le pilote doit alors connaître ses limites de performance personnelles et être en capacité de les accepter pour mieux les gérer (cf. Melet, p. 13-26). Ce qui peut même aller jusqu'à déléguer l'exécution de certaines tâches à d'autres camarades de combat sur le terrain (cf. Bouadjaj et Maria, p. 35-42).



Dès lors, comment trouver les aides et formations nécessaires pour, en toutes circonstances, savoir gérer et maîtriser nos ressources cognitives, pouvoir réduire les exigences internes ou externes qui les menacent et ainsi maintenir une réponse cognitive efficace avec discernement, même en conditions dégradées ?

Les témoignages de militaires opérationnels indiquent que l'entraînement est la base minimale de la préparation opérationnelle, à effectuer en conditions réelles, permettant à l'individu de mieux se connaître et ainsi mieux gérer ses propres ressources cognitives et attentionnelles. La préparation est bien entendu physique mais aussi mentale permettant de déterminer les signes physiologiques ou psychologiques de stress ou de fatigue facilitateurs d'un état de surcharge.

La simulation est un outil indispensable à cet effet, bien connu dans les armées technologiques mais qui reste à développer pour la formation de certains personnels de l'armée de Terre. Elle offre l'opportunité, en toute sécurité, d'observer la dégradation des capacités cognitives et décisionnelles d'un individu face à la complexification croissante des équipements et des interfaces qu'il doit gérer et de développer ses facultés d'adaptation à l'imprévu et aux cas non conformes. Elle va aussi permettre de le former dans un environnement de réalité virtuelle, enrichi en situation multitâche multimodale, à la détection de signaux auditifs ou visuels, afin qu'il automatise le plus possible les actions à réaliser dans le but de réduire sa charge cognitive (cf. Albentosa, *et al.*, p. 116-122).

Une modélisation du concept de charge cognitive est aussi proposée pour caractériser la mécanique cognitive à l'œuvre dans le séquençement perception-cognition-action. Elle nécessite d'explicitier les processus de mémorisation et d'attention mis en œuvre dans le traitement des informations. Il deviendra ainsi plus aisé de perfectionner les méthodes de formation en réduisant la différence entre entraînement immergé et situations réelles de combat (cf. Deniaud, p. 105-115).

Le *monitoring* est un enjeu clef pour évaluer la capacité d'un individu à rester opérationnel, surtout après une phase d'activité intense et éprouvante sur les plans physique, physiologique ou psychologique. Il va permettre de détecter les périodes de surcharge cognitive, d'abord en simulation et à l'entraînement, puis en ambiance opérationnelle où l'individu est soumis à des contraintes physiologiques fortes, avec le secret espoir que demain des capteurs portatifs pourront être mis en œuvre en conditions réelles (cf. Sauvet, *et al.*, p. 135-144).

De son côté, le monde sportif de haut niveau nous montre la variabilité interpersonnelle de récupération qui pourrait être un élément à prendre en compte dans la gestion des personnels au sein des unités de combat (cf. Carling, p. 71-82).

Le graal serait de pouvoir mesurer en direct la surcharge cognitive et son impact sur les capacités décisionnelles, pour prévenir son émergence au niveau du combattant et du groupe. Certains industriels spécialistes y travaillent, développant des outils de mesure en fonction du degré de difficulté des tâches exécutées, sans oublier que l'interaction des émotions sur les capacités décisionnelles reste très variable selon les individus, ce qui rend la mesure plus complexe mais sur laquelle l'Intelligence artificielle (IA) pourrait potentiellement apporter des solutions à la problématique (cf. It's Brain et leur outil, p. 164-172).

En outre, plusieurs études sont en cours, ou encore à mener, pour offrir des contremesures efficaces à développer avant la mission, en préparation, mais aussi sur le terrain opérationnel. Si la neuromodulation par stimulation transcranienne non invasive semble offrir des perspectives d'après certains auteurs, d'autres recherches seront encore nécessaires pour évaluer son bénéfice sur l'apprentissage de tâches complexes (cf. Scannella et Chenot, p. 173-184).

Des stratégies protectrices peuvent, dans la même logique, être mises en place pour éviter au combattant de tomber dans cet état de surcharge. Face à la non-

détection d'un son distracteur lorsque le niveau de charge perceptive est élevé, des projets portent sur le déclenchement de réactions comportementales rapides et efficaces en utilisant des stimuli rugueux synthétiques, par exemple proches du cri humain, qui pourraient réduire la surdité attentionnelle (cf. Suied, p. 185-193). L'optimisation de la régulation attentionnelle par une technique d'obtention d'une image instantanée de son niveau de concentration, laquelle permet d'optimiser la gestion de sa charge mentale, est aussi à considérer (cf. Berthelot, p. 45-49).

La *mindfulness*, ou « pleine conscience » en français, est également opérante non seulement pour la gestion de la charge cognitive, particulièrement en situation opérationnelle, mais aussi pour la régulation de la charge mentale dans la durée de la mission (cf. Trousselard, p. 194-198). Cette approche d'optimisation des ressources attentionnelles implique d'être intégrée dans les formations pour être efficaces en opération.

Il apparaît de surcroît nécessaire de développer des interfaces Humain-Machine adaptées aux opérateurs en situation opérationnelle en appréhendant, dès la conception, les interactions entre toutes les composantes des systèmes de systèmes sociotechniques afin de réduire le coût cognitif des interactions dont la complexité ira croissant (cf. Gardinetti, p. 99-104 et p. 159-163).

Néanmoins, et s'ajoutant aux éléments exposés précédemment, les futurs usages du champ de bataille seront profondément remodelés par la facilité accrue à déléguer des tâches, voire des missions, à des plateformes robotiques ayant un niveau élevé d'autonomie. L'effet induit sera une réduction de la charge physique exigée pour le soldat au profit d'un accroissement de sa charge cognitive, et ce, de façon encore plus marquée au niveau tactique. De tels changements impliquent dès aujourd'hui d'anticiper les effets de ces nouveaux usages sur la performance cognitive des combattants et des décideurs militaires, impliquant de futures études à mener non plus exclusivement centrées sur l'individu même, mais sur le collectif militaire plongé au sein des systèmes technologiques qui le soutiennent ⁽³⁾.

Pour finir ce tour d'horizon des actions à mener afin de mieux appréhender les enjeux de la surcharge cognitive, notons que toute altération de performance mentale est particulièrement importante dans le milieu militaire. Ses conséquences sont par conséquent à prendre en compte dans la durée sur le plan médical. En effet, le *burn-out*, conséquence psychophysiologique de la maladaptation chronique d'un individu à son environnement vécu comme stressant, devrait donc être associé à une cognition dégradée qualifiée de surcharge mentale en dehors de l'action. Un tel constat ouvre la voie à une coordination entre prises en charge individuelle médicale et collective (cf. Canini et Claveri, p. 145-155). L'exemple de la gestion de la surcharge cognitive en situation de crise sanitaire souligne l'importance de prendre en compte ce stress chronique, mais aussi de savoir maintenir au mieux les comportements de santé

⁽³⁾ BILLING Daniel C., FORDY Graham R., FRIEDL Karl E., et HASSELSTRØM Henriette, « The Implications of Emerging Technology on Military Human Performance Research Priorities », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), octobre 2021, p. 947-953 <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.10.007>.

recommandés au quotidien : autrement dit, des actions aussi simples que veiller à la qualité de son sommeil ou de son alimentation, et se préserver des temps d'activités physiques. Ces règles de vie sont des prérequis à la gestion de la surcharge cognitive en temps de crise dans la durée (cf. Valade et Trousselard, p. 199-212).

*

**

Cet ouvrage clôture un travail de synthèse démarré en 2020 par le CReC Saint-Cyr et l'IRBA sur les contraintes physiologiques et psychologiques majeures qui affectent un soldat en opération : le manque de sommeil, le stress et la surcharge cognitive. Ce triptyque de trois ouvrages que la *RDN* met à disposition de tous *via* un accès *Internet* des plus simples, se veut rappeler les fondamentaux constitutifs du combattant et lui permettre d'anticiper leur prise en compte par des moyens de formation adaptés, des mises en situation simulées ou réelles, progressives, afin qu'il « ne subisse pas » et puisse « durer » lors des missions opérationnelles qu'il aura à mener.

S'ajoute leur nécessaire prise en compte lors de la conception des interfaces Homme-Machine pour les systèmes qui seront demain mis à disposition des militaires. S'il n'a pas été précisément détaillé dans cet ouvrage comment procéder, les réflexions menées montrent l'importance de rendre l'opérateur plus autonome dans la prise en main d'interfaces cognitivement faciles à utiliser et fiables afin qu'il leur accorde sa confiance, synonyme de réduction de la charge mentale associée.

Ces travaux ont ainsi pour ambition d'être partagés, afin de contribuer à la diffusion des connaissances scientifiques qui y sont présentées, dans le but de permettre une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques d'un individu soumis à des conditions extrêmes et de favoriser une meilleure formation de celui qui est, et sera, toujours l'instrument premier du combat : le soldat. ♦

L'INSTITUT DE RECHERCHE BIOMÉDICALE DES ARMÉES

L'ÉTABLISSEMENT DE RECHERCHE EN SANTÉ DE DÉFENSE

Situé à Brétigny-sur-Orge (91), l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) est un établissement du Service de santé des armées (SSA). Organisme dédié à la recherche biomédicale, il participe à la mission de **soutien santé** des Forces et au **maintien de la capacité opérationnelle du combattant**. Sa mission repose sur trois piliers :



- la **recherche et l'innovation** appliquées à la santé du combattant,
- des **expertises** scientifiques et techniques réalisées au profit des forces armées et de la DGA,
- des **formations**, axées sur la sécurité du personnel des armées, notamment du SSA.

Des **équipes de recherche pluridisciplinaires** de haut niveau et des **équipements d'exception** permettent la production de connaissances scientifiques pour des applications **au profit des Forces**.



LA CONNAISSANCE AU SERVICE DES FORCES

Grâce à ses travaux, l'IRBA **répond aux besoins exprimés par les états-majors** en matière de **protection** du combattant, dans un contexte opérationnel marqué par un **environnement hostile et des engagements sous la menace** d'agents radiologique, biologique et chimique.

Dans le but de valider des procédures ou des **contre-mesures médicales** pour **prévenir, préparer et prendre en charge les combattants**, la recherche biomédicale intervient avant, pendant et après les opérations militaires. Les experts de l'IRBA préparent et forment les combattants à mieux appréhender des risques et les situations d'urgence ou de crise, contribuent à l'adaptation de leurs équipements de protection grâce à une connaissance précise des effets des armes, apportent des soins adaptés aux blessés et prennent en compte des éventuelles séquelles à long terme.

Le champ de compétence de l'IRBA est très étendu. Il couvre **les sciences du vivant** (physiologie, biologie, neurosciences...), **les sciences de l'ingénieur** (instrumentation, mécanique des milieux complexes, systèmes d'information, ergonomie...) et **les sciences humaines et sociales** (psychologie...). Les travaux interviennent sur les plans médical, médico-opérationnel, éthique et juridique.

Initialement menés pour les Forces, les travaux scientifiques de l'IRBA bénéficient à la recherche nationale et participent ainsi directement aux **avancées de santé publique**.

LE SOLDAT AUGMENTÉ

Surcharge cognitive : la comprendre et la gérer

La numérisation du champ de bataille, si elle apporte une indéniable contribution à la supériorité opérationnelle, implique cependant une augmentation significative des données échangées. Leur traitement, dans un délai aussi court que possible pour conserver la supériorité opérationnelle, pose un nouveau défi au chef militaire : disposer de ressources cognitives suffisantes pour l'effectuer, tout en assurant ses traditionnelles fonctions de coordination. Le risque devient alors pour lui une augmentation trop élevée de sa charge cognitive qui le rendrait inapte à effectuer son commandement.

La charge cognitive correspond à la quantité de ressources cognitives mobilisées, notamment attentionnelles, pour traiter une information et/ou accomplir une tâche. La surcharge cognitive survient lorsque la demande en ressources dépasse les capacités disponibles pour la mission. Si une bonne gestion de la charge cognitive améliore l'apprentissage et la performance, la surcharge cognitive porte des risques d'erreurs, de baisse de performance, ainsi que de stress et de fatigue mentale. Ces risques peuvent être majorés dans des situations de gestion continue de fortes responsabilités professionnelles et/ou personnelles. Ces situations induisent une surcharge mentale connue pour accentuer la surcharge cognitive. Ces deux surcharges reflètent un déséquilibre entre demande et capacité à y répondre. Si ce déséquilibre peut provenir d'un excès de demandes ou d'une diminution de la capacité de réponse de l'organisme, une intrication de ces causes est le plus souvent impliquée.

Après le sommeil et le stress, ce troisième ouvrage sur les contraintes physiologiques du combattant codirigé par le Centre de recherche de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan (CREC Saint-Cyr) et par l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), a pour objet de permettre une meilleure compréhension des mécanismes à l'œuvre chez un individu soumis à des conditions de saturation cognitive. Mieux connaître son fonctionnement cognitif au regard de la demande opérationnelle est un enjeu pour le chef militaire.



Lancée en 1939 par le Comité d'études de défense nationale (Association loi 1901), la **Revue Défense Nationale** assure depuis lors la diffusion d'idées nouvelles sur les grandes questions nationales et internationales qu'elle aborde sous l'angle de la sécurité et de la défense. Son indépendance éditoriale l'autorise à participer activement au renouvellement du débat stratégique. La **Revue Défense Nationale** permet de garder le contact avec le monde de la défense et apporte, grâce à ses analyses, la réflexion à l'homme d'action.