



**HAL**  
open science

# Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance

Marcel Francis Hinss, Anke Brock, Raphaëlle Roy

## ► To cite this version:

Marcel Francis Hinss, Anke Brock, Raphaëlle Roy. Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance. ÉPIQUE 2023 - 12ème Colloque de Psychologie Ergonomique, Françoise DARSESES; Jean-Marie BURKHAR, Jul 2023, Paris, France. pp.100 - 104. hal-04362545

**HAL Id: hal-04362545**

**<https://enac.hal.science/hal-04362545v1>**

Submitted on 22 Dec 2023

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

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

---

# *ÉPIQUE 2023 : Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance*

**Marcel F. Hinss**

ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, France | ENAC, Université de Toulouse, France  
macel.hinss@isae-supaero.fr

**Anke M. Brock | Raphaëlle N. Roy**

ENAC, Université de Toulouse, France | ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, France  
[anke.brock@enac.fr](mailto:anke.brock@enac.fr) | [raphaelle.roy@isae-supaero.fr](mailto:raphaelle.roy@isae-supaero.fr)

**Catégorie de soumission** : communication de symposium

**Titre du symposium** : Fatigue mentale et vigilance

---

## **RÉSUMÉ**

L'opération de drones, que ce soit dans des contextes militaires ou civils, devient plus commune. Les phases d'opérations dépassent fréquemment les 24h. En conséquence, la fatigue mentale des opérateurs peut entraîner des erreurs qui posent de sérieux problèmes de sécurité. La détection en ligne d'états mentaux dégradés grâce à des interfaces cerveaux-machines est une solution potentielle à ce problème. Ces systèmes permettraient l'adaptation des interfaces de pilotage de drones afin de prendre en compte ces états par le biais de mesures complémentaires de performance et d'état physiologique. L'adaptativité des interfaces de pilotage pourrait être optimisée pour augmenter la flexibilité cognitive, facilitant le changement de tâches de pilotage.

## **MOTS-CLÉS**

Fatigue mentale, flexibilité cognitive, drone, interface humain-machine, informatique physiologique

---

## **1 INTRODUCTION**

Le développement de drones, systèmes aériens sans pilote (UAS, unmanned aerial system), a permis d'élargir considérablement les capacités de déploiement, les drones modernes peuvent également effectuer une multitude de missions différentes. Les UAS modernes tels que le MQ-9 Reaper sont devenus si complexes que l'armée de l'air française emploie des équipes de 4 personnes pour l'exploitation d'un seul de ces systèmes. Le cockpit est divisé en deux parties : la première accueille le télépilote et l'opérateur capteurs, et la seconde l'interprète d'images et le coordinateur tactique. Ces deux cockpits sont placés dans des conteneurs différents ; les opérateurs communiquent donc par radio et par chat pendants leur missions de 2 à 6 heures.

Bien que plusieurs problèmes de facteurs humains telles que les influences de l'opérateur et de l'organisation existent dans les opérations d'UAS, l'ensemble des problèmes liés à la fatigue pose peut-être le plus grand risque de sécurité pour les opérations d'UAS (Scheiman et al., 2017). En général, ces problèmes se répartissent en deux catégories. Les problèmes liés au travail posté et à la privation de sommeil résultent du fait que les UAS modernes sont capables d'effectuer des missions de plus de 24 heures à la fois. Le travail en équipe par roulement est nécessaire pour contrôler le drone en permanence, ce qui entraîne une mauvaise gestion du sommeil, des insomnies et une augmentation des troubles du sommeil (Scheiman et al., 2017). En outre, les opérateurs peuvent ressentir de la fatigue mentale lorsqu'ils sont chargés de surveiller et de contrôler en permanence le drone via la station de contrôle au sol. La fatigue mentale est définie comme un état mental psychobiologique, causé par une activité cognitive prolongée entraînant une probabilité accrue de diminution de la

performance (Hinss et al., 2022; Matthews, 2012). Bien que les interactions entre le sommeil et la fatigue mentale ne soient pas à négliger, le reste de cet article se concentrera sur les caractéristiques de la fatigue mentale, spécifiques aux opérations modernes d'UAS. La fatigue mentale dans les UAS est particulière car les méthodes établies d'atténuation de la fatigue, tel que le repos de l'équipage, ne sont pas applicables. En effet, les opérateurs doivent constamment surveiller tous les systèmes et étudier les données visuelles entrantes (Scheiman et al., 2017). Afin de mieux comprendre le rôle de la fatigue mentale et ses conséquences, nous avons mené 6 entretiens avec des pilotes et des opérateurs de capteurs actuels et anciens de l'armée de l'air française du système MQ-9 Reaper. De plus, nous avons amorcé des travaux en laboratoire afin de caractériser l'impact du temps passé et du type de tâche sur la flexibilité cognitive. Enfin, nous avons travaillé sur le développement d'une chaîne d'estimation de la performance de l'opérateur et d'une interface adaptative. Ces différentes contributions sont présentées succinctement dans les parties suivantes.

## **2 ENTRETIENS**

Afin de déterminer comment le fonctionnement cognitif est affecté par le temps passé sur la tâche et la fatigue mentale, 6 pilotes et opérateurs capteurs d'UAS longue endurance ont été sondés par des entretiens semi-dirigés. Les conclusions principales de ce travail sont les suivantes : ils sont souvent fatigués par le travail posté et le travail de nuit, ainsi que par la fatigue cognitive due aux changements soudains de la charge de travail. Les opérateurs ont parfois tendance à fixer des éléments sur l'écran sans y prêter attention (vagabondage mental). La fatigue nerveuse après les phases d'action génère un relâchement, qui ne se traduit pas par une envie de dormir, mais par une diminution des capacités. Les pilotes ont tendance à être moins attentifs, plus lents, ou à oublier certains détails. Avec le temps passé sur la tâche, les capacités diminuent progressivement par rapport à leur état initial, notamment à cause de l'ennui si les tâches sont monotones. De plus, le retask (changement rapide et dynamique des objectifs de la mission) et le changement de pilotes au cours d'une mission suggèrent que la flexibilité cognitive peut être un facteur majeur dans les opérations. Ainsi, la diminution de la flexibilité cognitive peut contribuer à ce que les retasks et le changement de pilote soient des facteurs de risque majeurs.

## **3 RECHERCHES FONDAMENTALES**

Ces entretiens ont souligné l'importance pour les opérateurs d'UAS de maintenir une flexibilité cognitive tout au long d'une mission, ce qui est aussi confirmé par la littérature en facteurs humains (Scheiman et al., 2017). En outre, il existe un lien bien établi entre l'augmentation de la fatigue mentale et la diminution de la flexibilité cognitive (Yu et al., 2021). La flexibilité cognitive - "la capacité d'évaluation objective et d'action flexible appropriée" - implique également l'adaptabilité et l'esprit d'équité." - (VandenBos, 2007). Les études cognitives fondamentales utilisent souvent des protocoles de changement de tâche, dans lesquels les participants doivent passer de manière dynamique de l'exécution de deux ou plusieurs sous-tâches similaires. Les résultats montrent de manière fiable ce que l'on appelle les coûts de changement de tâche, c'est-à-dire l'augmentation du temps de réaction et du taux d'erreur après le passage d'une tâche à une autre. Le plus souvent, ces sous-tâches sont très similaires, ce qui ne reflète pas la complexité et la dissemblance des tâches dans des environnements écologiques tels que les opérations d'UAS. Pour étudier cela, nous avons créé le protocole de double changement de tâche, où les participants effectuent un protocole de changement de tâche en utilisant 4 sous-tâches qui diffèrent en similarité (Hinss et al., 2023). La fatigue mentale, estimée par le temps passé sur la tâche, est également examinée. Nous nous attendons à ce que le passage d'une tâche à l'autre soit plus difficile si les tâches sont dissemblables et que cela devienne de plus en plus difficile à mesure que la fatigue mentale augmente. Si cela est confirmé, nous testerons ensuite des contre-mesures qui permettraient de réduire le coût de changement de tâche dans le contexte de tâches dissemblables et de fatigue mentale.

## 4 INFORMATIQUE PHYSIOLOGIQUE

Afin d'accroître la sécurité des opérations modernes d'UAS, il convient d'explorer les systèmes permettant d'atténuer les effets de la fatigue mentale, comme la diminution de la flexibilité cognitive. Une condition nécessaire pour un tel système d'atténuation est la capacité de détecter la fatigue mentale en temps réel. Les interfaces cerveau-ordinateur basées sur l'électroencéphalographie (EEG) et les systèmes d'informatique physiologique intégrant l'électrocardiographie (ECG) et le suivi des yeux sont très populaires. La méthode la plus populaire pour étiqueter les données est le temps passé sur la tâche (TOT). En pratique, les données sont souvent étiquetées en utilisant les premiers et derniers blocs d'une procédure expérimentale pour une classification binaire entre les états de non-fatigue et de fatigue (Trejo et al., 2015). Si ces approches donnent souvent des taux de classification élevés, leur utilité dans les applications pratiques est discutable, car il n'y a pas nécessairement de lien direct entre la classification et le comportement de l'utilisateur. Une approche plus applicable pourrait être de s'orienter vers la prédiction de la performance. De plus, l'utilisation de l'ensemble du spectre du signal EEG peut gonfler les précisions de classification, en raison, par exemple, de la différence d'activité motrice entre les conditions qui génère différentes quantités d'artefacts. Nous avons testé la performance d'un algorithme de classification utilisant des étiquettes basées sur la performance et des étiquettes basées sur le TOT sur les données de 13 participants effectuant une tâche de recherche visuelle de 60 minutes. Les précisions de classification obtenues en utilisant l'étiquetage TOT étaient significativement plus élevées que l'étiquetage de performance ( $F(2,48)=89.87$   $p<0.001$ ). Bien que la différence entre les deux spectres utilisés dans cette approche ne soit pas significative, l'utilisation de l'ensemble du spectre de fréquences a tout de même entraîné une augmentation de près de 6 % de la précision. Comme le montrent ces résultats, l'estimation de la performance, bien que plus applicable, est nettement plus difficile à réaliser que l'estimation du TOT.

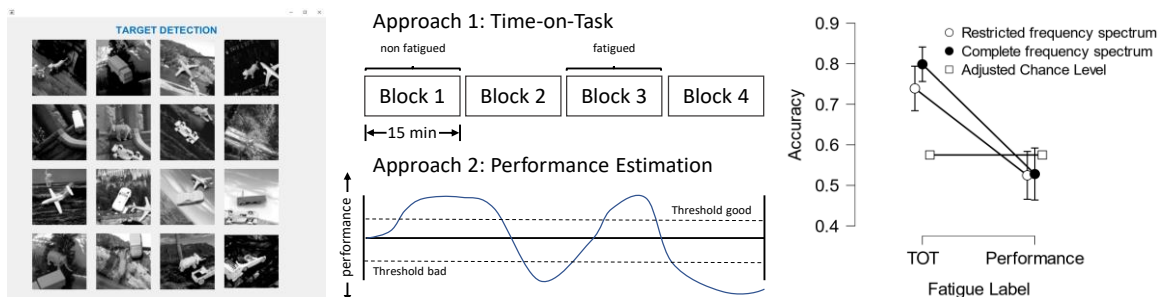


Figure 1 (de gauche à droite) Capture d'écran de la tâche de recherche visuelle dans laquelle les participants devaient détecter des humains pour lancer un sauvetage. | Comparaison des deux approches d'étiquetage | Résultats de l'analyse, montrant la limite supérieure de l'intervalle de confiance pour le niveau de chance (57,5%) selon (Mueller-Putz et al., 2008)

## 5 DEVELOPPEMENT D'UNE INTERFACE

Un autre développement du projet concerne une station de contrôle au sol actualisée qui incorpore une interface adaptative informée par un système de calcul physiologique de l'état de fatigue actuel d'un opérateur afin de permettre l'atténuation des effets de changement de tâche causés par la fatigue mentale. Les interfaces adaptatives sont des interfaces utilisateur dont l'apparence et la fonctionnalité changent en fonction de la situation, du comportement ou des besoins de l'utilisateur (Browne, 1990). Nous avons intégré plusieurs adaptations dans la station de contrôle au sol Paparazzi (PprzGCS) existante, un projet de matériel et de logiciel de drone open-source englobant des systèmes de pilotage automatique et un logiciel de station au sol (Hattenberger et al., 2014). Un système inspiré du système RedAlert (Saint-Lot et al., 2020) a été intégré au PprzGCS : l'écran peut être recouvert d'une couche semi-transparente colorée, informant l'opérateur qu'il devra bientôt changer de tâche sans pour autant l'empêcher de réaliser la tâche.

## 6 DISCUSSION

Les UAS gagnent en popularité, il est primordial de prendre en compte les risques associés aux facteurs humains, en particulier la fatigue mentale, dans le cadre de leur opération. Les travaux présentés dans le cadre de ce projet combinent la neuroergonomie, l'interaction humain-machine et les sciences cognitives dans le but de proposer un système permettant d'assurer la sécurité des futurs UAS<sup>1</sup>. Ce contexte nous permet également d'explorer plusieurs aspects d'un point de vue très écologique. L'examen de l'interaction entre la similarité et la flexibilité cognitive permettra de mieux comprendre la prise de décision humaine. L'utilisation de l'informatique physiologique basée sur les performances constituera également une étape vers des applications quotidiennes réalisables. Les interfaces adaptatives telles que celles présentées par le PprzGCS et RedAlert (Saint-Lot et al., 2020) montrent comment de simples modifications de l'interface peuvent améliorer la qualité de l'interaction entre l'humain et la machine. De plus, les missions UAS longue endurance constituent un cas d'utilisation particulier pour la prise en compte de la fatigue mentale, mais les aspects de la flexibilité cognitive, de l'informatique physiologique basée sur les performances et des interfaces adaptatives ont également un large éventail d'applications.

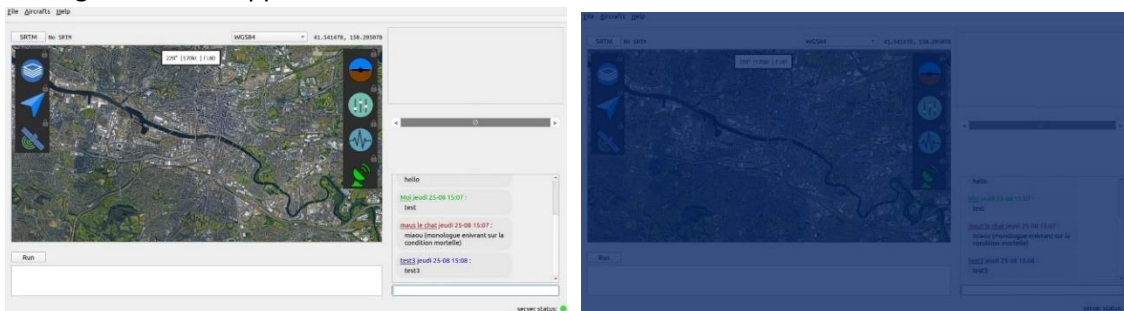


Figure 2 Gauche : SCG Paparazzi avec interface de navigation (en haut à gauche) et chat (en bas à droite) Droite : La même interface avec un stimulus de type RedAlert (Saint-Lot et al., 2020)

## 7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Browne, D. (1990). *Adaptive User Interfaces*. Elsevier.
- Hattenberger, G., Bronz, M., & Gorraz, M. (2014). *Using the Paparazzi UAV System for Scientific Research*. <https://doi.org/10.4233/UUID:B38FBDB7-E6BD-440D-93BE-F7DD1457BE60>
- Hinss, M. F., Brock, A. M., & Roy, R. N. (2022). Cognitive effects of prolonged continuous human-machine interaction: The case for mental state-based adaptive interfaces. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.935092>
- Hinss, M. F., Brock, A. M., & Roy, R. N. (2023). The Double Task-Switching Protocol: An investigation into the effects of similarity and conflict on cognitive flexibility in the context of mental fatigue. *PLOS ONE*. 10.1371/journal.pone.0279021
- Matthews, G. (Ed.). (2012). *The handbook of operator fatigue*. Ashgate Pub. Company.
- Mueller-Putz, G., Scherer, R., Brunner, C., Leeb, R., & Pfurtscheller, G. (2008). Better than random: A closer look on BCI results. *International Journal of Bioelectromagnetism*.
- Saint-Lot, J., Imbert, J.-P. I., & Dehais, F. (2020). *Red Alert: A cognitive countermeasure to mitigate attentional tunneling*. 2020. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376709>
- Scheiman, T., Chappelle, W., & Sanford, E. (2017). *U.S. Air Force Special Operations Command Remotely Piloted Aircraft Operator Fatigue Levels and Compensatory Strategies*. 49.
- Trejo, L. J., Kubitz, K., Rosipal, R., Kochavi, R. L., & Montgomery, L. D. (2015). EEG-Based Estimation and Classification of Mental Fatigue. *Psychology*, 06(05), Article 05. <https://doi.org/10.4236/psych.2015.65055>
- VandenBos, G. R. (2007). *APA Dictionary of Psychology*. American Psychological Association.
- Yu, S., Mückschel, M., & Beste, C. (2021). Event-related synchronization/desynchronization and functional neuroanatomical regions associated with fatigue effects on cognitive flexibility. *Journal of Neurophysiology*, 126(2), 383–397. <https://doi.org/10.1152/jn.00228.2021>