



HAL
open science

Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique

Jean-Christophe Hurault, Grégory Froger, Coline Blättler, Anne-Lise Lise Marchand, Nathalie Bonnardel

► To cite this version:

Jean-Christophe Hurault, Grégory Froger, Coline Blättler, Anne-Lise Lise Marchand, Nathalie Bonnardel. Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique. Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique, Jul 2023, paris, France. <10.6084/m9.figshare.25054241>. <hal-04510144>

HAL Id: hal-04510144

<https://hal.science/hal-04510144v1>

Submitted on 18 Mar 2024

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.



HAL Authorization

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/377626257>

ÉPIQUE 2023 Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique

Conference Paper · July 2023

DOI: 10.6084/m9.figshare.25054241

CITATIONS

0

READS

18

5 authors, including:



Jean-Christophe Hurault

Centre de recherche de l'armée de l'Air

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Grégory Froger

Centre de recherche de l'école de l'Air

5 PUBLICATIONS 10 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Colin Blättler

École de l'Air

27 PUBLICATIONS 167 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Anne Lise Marchand

Centre de Recherche de l'Armée de l'Air & de l'Espace

21 PUBLICATIONS 30 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

ÉPIQUE 2023

Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique

Jean-Christophe Hurault¹, Grégory Froger¹, Colin Blättler¹, Anne-Lise Marchand¹ et Nathalie Bonnardel²

¹Centre de Recherche de l'École de l'Air et de l'Espace, École de l'air et de l'espace, F-13660 Salon-de-Provence, France – jean-christophe.hurault@ecole-air.fr – gregory.froger@ecole-air.fr – colin.blattler@ecole-air.fr – anne-lise.marchand@ecole-air.fr

²PSYCLE & InCIAM, Aix-Marseille Université, 13100 Aix-en-Provence, France – nathalie.bonnardel@univ-amu.fr

Catégorie de soumission : communication longue

RÉSUMÉ

L'**objectif** de cette étude est de développer une méthode d'évaluation du coût cognitif de tâches aéronautiques pour optimiser la formation des pilotes. La **méthode** a consisté, pour 28 participants novices en aviation, à réaliser deux tâches aéronautiques (maintien en mémoire des éléments d'un plan de vol et recherche visuelle de potentielle collision), soit en multitâche (G1), soit en simple tâche (G2). Le coût cognitif de la tâche de recherche de collision a été mesuré par son impact sur l'empan complexe de la mémoire de travail relative à la tâche de maintien du plan de vol, et celui de la tâche de maintien du plan de vol par le coût de permutation (switching) provoqué sur la tâche de recherche de collision. Les **résultats** montrent que les deux mesures sont efficaces, mais que contrairement à ce qui était attendu, un coût de permutation était présent même en simple tâche (G2). Ces derniers résultats peuvent être causés par un temps de pause suffisant pour désactiver les règles de la tâche. En **conclusion**, cette méthode semble être un moyen efficace d'évaluer le coût cognitif.

MOTS-CLÉS

Coût cognitif ; Empan complexe ; Permutation (switching) ; Aéronautique ; Mesure objective

1 INTRODUCTION

L'aéronautique est un système dynamique et complexe dans lequel les pilotes sont confrontés dès le début de leur formation à des tâches discrètes et synchrones. Par exemple, ils doivent maintenir en mémoire de travail les informations relatives au plan de vol tout en effectuant une recherche visuelle de potentielle collision (oiseaux, montagne, autres avions, etc.). Cependant, la gestion de multiples tâches synchrones a un coût cognitif (Pashler, 1994 ; Wickens, 2002) qui peut être préjudiciable à la sécurité aérienne et à l'acquisition de compétences. La mémoire de travail ayant une capacité limitée (Baddeley, 1996, 2000 ; Cowan, 1999), lorsqu'elle est fortement sollicitée (1) l'apprentissage est moins efficace (Sweller, 1994) et (2) les ressources cognitives peuvent être insuffisantes pour percevoir les éventuels dangers (p. ex., risque de cécité d'inattention ; Kreitz et al., 2016). Par conséquent, il est crucial d'adapter la formation des pilotes en tenant compte de leurs capacités cognitives, celles-ci variant en fonction d'éléments contextuels, tels que la fatigue, le niveau d'expérience, la difficulté de la tâche ou encore le stress.

La présente étude fait partie d'un projet visant à développer une méthode d'optimisation de ce type d'enseignement. Plus précisément, nous testons une méthode d'évaluation combinant deux

nouvelles mesures du coût cognitif de tâches aéronautiques. Les capacités cognitives peuvent être évaluées au travers de la mesure du coût cognitif de réalisation d'une tâche. Il existe différentes approches pour évaluer le coût cognitif, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients (Hancock & Matthews, 2019). Les méthodes subjectives, telles que les échelles d'évaluation (p. ex., NASA TLX ; Hart & Staveland, 1988), fournissent des informations directes sur la perception du coût cognitif par les individus, mais elles peuvent être influencées par différents biais (p. ex., compréhension sémantique, nombre d'items, désirabilité sociale, etc.). Les méthodes basées sur la performance, qui observent les comportements ou les performances cognitives, peuvent être influencées par d'autres facteurs comme la motivation. Les méthodes physiologiques offrent des mesures indirectes, mais précises (p. ex., nIRS, EEG, etc. ; Dehais et al., 2020) ; cependant, elles nécessitent une forte expertise pour leur interprétation et l'utilisation d'équipements spécialisés entraîne des contraintes (p. ex., navigabilité, encombrement, etc.) freinant leur utilisation dans des situations réelles.

L'objectif de cette étude est de mettre à l'épreuve une méthode visant à mesurer de manière objective le coût cognitif dans le cadre de l'apprentissage des tâches de pilotage. Cette méthode permettrait de surmonter les limitations actuelles et pourrait être appliquée de manière plus pratique dans des situations réelles, sans nécessiter l'utilisation de capteurs physiologiques tels que des eye-trackers, des électromyogrammes ou des électrocardiogrammes. Pour cela, deux mesures de performance ont été combinées : une mesure sur la tâche principale et une mesure sur une tâche secondaire. En effet, il est souvent difficile de mesurer la performance de la tâche principale en avion en raison des contraintes telles que la protection des données ou la complexité du système informatique. Il est donc important d'avoir une mesure secondaire facile à utiliser et qui n'interfère pas avec la tâche principale.

En tant que novices, les pilotes en formation sont confrontés à la réalisation de plusieurs tâches discrètes qui seront intégrées en une seule supertâche quand ils seront experts. Selon Sweller (1994), cette structure cognitive de supertâche est décrite sous plusieurs appellations, dont schéma, chunk ou template. L'exécution d'une tâche commence par la préparation, qui peut être décrite comme l'adoption d'une configuration cognitive spécifique à la tâche qui permet de gérer les règles de résolution de la tâche (Rogers & Monsell, 1995). Le processus d'adoption et de maintien d'une configuration cognitive repose sur les fonctions exécutives (Miyake et al., 2000 ; Monsell, 2015), et est modélisé au sein du processeur exécutif central (Baddeley, 2000). Dans une situation multitâche, le coût cognitif est principalement lié à l'impossibilité d'activer simultanément les règles de résolution de deux tâches discrètes (Pashler, 1994 ; Liepelt et al., 2011). Ce coût est présent jusqu'à ce qu'une exposition suffisamment répétée à une situation multitâche bénéficie du mécanisme d'intégration consistant en la création d'une supertâche englobant les règles de résolution de l'ensemble des tâches au sein d'une seule règle. Tant que cette supertâche n'est pas acquise, les situations multitâches provoquent un coût cognitif dont il est proposé ici deux mesures.

La première mesure est liée au coût de permutation d'une tâche vers une autre. La permutation consiste en l'exécution consécutive de deux tâches discrètes. Elle reflète la transition d'une configuration cognitive en vue de réaliser une tâche vers une autre configuration cognitive visant à réaliser une autre tâche (Rogers & Monsell, 1995). Le coût de la permutation se traduit par un temps de réponse à la situation multitâche plus long que dans les situations où il n'y a pas de permutation, mais plutôt la répétition d'une même tâche (voir figure 1).

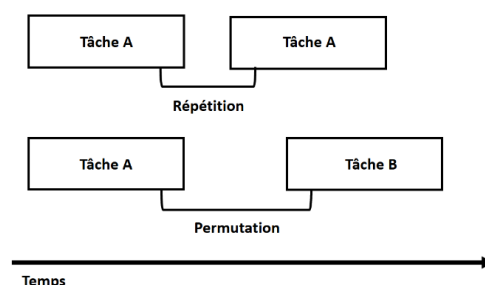


Figure 1. La répétition (réalisation de la même tâche A) présente un coût cognitif inférieur à la permutation (changement d'une tâche A vers une tâche B). Ce coût est classiquement calculé par le temps de réponse à la tâche.

La seconde mesure est basée sur l'empan complexe de mémoire de travail décrit dans le modèle Time Based Ressources Sharing (TBRS) (Barrouillet et al., 2004, 2007 ; Camos, 2017). Mesurer l'empan complexe nécessite une alternance entre mémorisation et traitement (voir figure 2) et peut être considéré comme une situation multitâche.

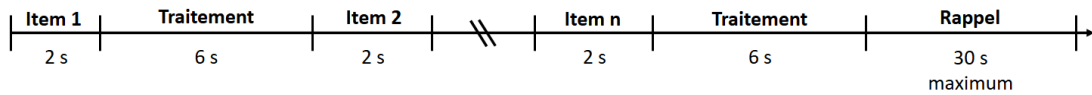


Figure 2. Procédure d'évaluation de l'empan complexe. Il est demandé à l'individu de mémoriser une liste d'éléments qui sont présentés de façon séquentielle. Une tâche de traitement est insérée entre les éléments. Après le dernier élément, l'individu doit rappeler la liste d'éléments dans l'ordre de présentation.

Deux facteurs influencent la performance d'empan complexe : (1) plus la longueur des intervalles entre les éléments est importante, plus le nombre d'items rappelé est faible, et (2) plus le coût cognitif induit par la tâche de traitement est élevé, plus le nombre d'items rappelé est faible. Cela suggère que l'évaluation de la performance de l'empan complexe d'un individu pendant un vol est de nature à fournir un indicateur objectif du coût cognitif des tâches de pilotage pour l'individu.

L'expérience réalisée ici consiste à utiliser, pour un groupe de participants, un protocole d'empan complexe dans lequel les éléments à mémoriser sont des éléments d'un plan de vol (p. ex., terrain de déroutement, etc.) et où les tâches de traitement correspondent à une recherche visuelle de potentielle collision (c.-à-d., regarder hors du cockpit pour éviter tout évènement de collision). Voir la figure 3. Ce groupe est considéré comme le groupe multitâche. Il est comparé à un autre groupe dont les participants réalisent les tâches de mémorisation et de traitement séparément, donc en condition de simple tâche. Ce dernier groupe est considéré comme le groupe contrôle.

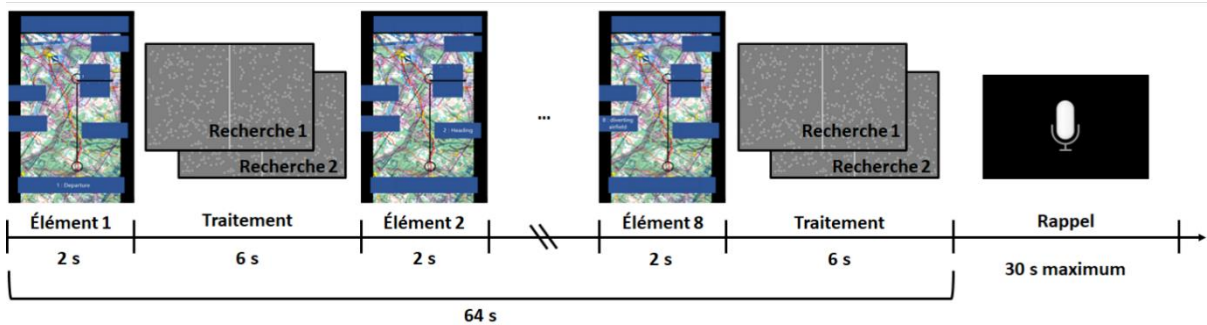


Figure 3. Vue d'ensemble d'un essai pour le groupe multitâche.

Au cours de chaque tâche de traitement, les participants réalisent au moins deux recherches visuelles consécutives. Selon le modèle de Rogers et Monsell (1995), la première recherche nécessite l'activation des règles de la tâche de traitement (coût de permutation), alors que la seconde recherche ne nécessite pas cette activation, et correspond donc à des répétitions (voir figure 1). Dans la littérature, une situation de permutation a classiquement un coût plus élevé qu'une situation de répétition.

La première hypothèse est que les participants du groupe multitâche auront un empan complexe plus faible que les participants du groupe contrôle, reflétant le coût exercé par la tâche de traitement sur la tâche de mémorisation. De plus, le coût cognitif étant mesuré par le temps de réponse pour chaque recherche visuelle effectuée lors d'une tâche de traitement, la seconde hypothèse est que le temps de réponse moyen de la première recherche dans une tâche de traitement (Recherche 1) sera plus long que celui des secondes recherches (Recherche 2) pour le

groupe multitâche. Ce groupe réalisant la tâche de mémorisation (des éléments du plan de vol) avant chaque tâche de traitement devrait avoir un coût de permutation lors du changement de tâche, et plus précisément sur la réalisation de la première recherche de la tâche de traitement.

2 MÉTHODE

2.1 Participants

Les 28 participants (âge moyen de 23 ans \pm 2,5), *ab initio* en pilotage, sont répartis en deux groupes : un groupe (G1) qui effectue des tâches en situation multitâche ($n = 14$), et un groupe (G2) qui effectue des tâches en situation de simple tâche ($n = 14$). Les participants sont des novices en aéronautique et ne présentent aucun problème auditif ni visuel. Les participants ont donné leurs consentements libres et éclairés pour participer à cette étude.

2.2 Matériel

Les expériences sont réalisées sur des ordinateurs Dell, précision 7710. Pour la tâche de mémorisation, les participants ont répondu en rappelant verbalement les éléments, enregistrés par le microphone de l'ordinateur. Pour la tâche de traitement, les participants ont utilisé les touches du clavier pour répondre. Les stimuli sont affichés sur deux écrans de 17 pouces, placés l'un au-dessus de l'autre, ayant une résolution de 1920*1080 pixels. La tâche de traitement était affichée sur l'écran supérieur, et la tâche de mémorisation sur l'écran inférieur (c'est-à-dire comme si le plan de navigation était sur les genoux), afin de respecter l'organisation spatiale d'un cockpit réel (Froger et al., 2018). Les expériences sont codées à l'aide du logiciel E-Prime3.

2.2.1 Tâche de mémorisation : maintien en mémoire des éléments d'un plan de vol

Cette tâche de mémorisation consiste à mémoriser huit éléments classiques de plan de vol affichés sur une carte aéronautique réelle : 1) ville de départ, 2) cap (en degrés), 3) ville d'arrivée, 4) durée du trajet (en min), 5) altitude de sécurité (en pieds), 6) quantité minimale de carburant nécessaire pour atteindre la destination, 7) quantité de carburant restant dans les réservoirs (en gallons), et 8) zone la plus proche à atteindre en cas de problème (aérodrome de déroutement). Les éléments sont affichés, dans l'ordre, un par un sur l'écran pendant 2 secondes chacun. Le temps entre chaque présentation d'élément est de six secondes. Ensuite, les participants réalisent une phase de rappel, dans laquelle ils doivent rappeler verbalement le plus grand nombre d'éléments possible, dans le même ordre de présentation en 30 secondes. Les participants réalisent cette tâche pendant 20 essais, basés sur des plans de vol différents. La performance à cette tâche est mesurée sous la forme d'un empan complexe. Ce dernier est défini comme le nombre d'éléments du plan de vol correctement rappelés dans le bon ordre (même après une erreur).

2.2.2 Tâche de traitement : recherche visuelle de potentielle collision

La tâche de traitement est une tâche de recherche visuelle de type SuRT : Surrogate Reference Task (Mattes & Hallen, 2009) dans laquelle il faut trouver un cercle plus grand (cible) parmi un ensemble de cercles plus petits et de même taille (distracteurs). Il y a toujours 400 cercles à l'écran, mais la cible n'est présente que dans certaines recherches. Les participants doivent répondre le plus rapidement possible en appuyant sur l'une des trois touches (I si la cible se trouve dans l'écran de gauche, P si la cible se trouve dans l'écran de droite, et O s'il n'y a pas de cible). Lorsque les participants donnent une réponse, une nouvelle recherche suit. Les probabilités de réponse (gauche, droite, non présente) sont identiques. La qualité (correcte ou non) des réponses est enregistrée, ainsi que les temps de réponse pour les réponses correctes. Les participants ont 6 secondes pour réaliser un maximum de recherches, c'est-à-dire que pendant cette période toute réponse du participant est suivie d'une nouvelle recherche. La durée de la tâche de traitement est bloquée (6 secondes) afin de s'assurer que seul le coût cognitif de la tâche de traitement se répercute sur l'empan complexe. La

mesure du coût de permutation pour cette tâche repose sur les temps de réponse pour les premières et secondes recherches de chaque essai de tâche de traitement.

2.3 Procédure

Les participants commencent par lire les consignes et se familiariser avec la présentation des stimuli et les moyens de réponses. Cette phase dure 5 minutes.

Pour le groupe multitâche (G1), les participants réalisent 20 essais composés, conformément au protocole d'évaluation de l'empan complexe, d'une tâche de mémorisation (maintien en mémoire d'éléments d'un plan de vol) dans laquelle est intercalée plusieurs fois la tâche de traitement (recherche visuelle de potentielle collision). Les éléments à mémoriser apparaissent un par un sur une carte aéronautique et restent à l'écran pendant 2 secondes. Puis la tâche de traitement s'affiche. Les participants ont 6s secondes pour réaliser un maximum de recherche de cette tâche. Puis un nouvel élément à mémoriser est présenté. Ce processus continu jusqu'à ce que les huit éléments à mémoriser soient présentés. Enfin, le participant rappelle oralement un maximum d'éléments à mémoriser dans l'ordre de présentation (voir figure 3). Pour les participants du groupe multitâche, l'étude dure environ 35 minutes (20 essais durent environ 30 minutes, plus les 5 minutes de familiarisation).

Pour le groupe simple tâche (G2), les participants réalisent 2 séries de 20 essais. La première série est composée uniquement de la tâche de mémorisation et la deuxième série est composée uniquement de la tâche de traitement. La procédure d'un essai du groupe de simple tâche est identique à celui du groupe multitâche. Cependant, les participants n'ont que l'affichage de la tâche de mémorisation et un écran noir à la place de la tâche de traitement pour la première série d'essais. Pour la seconde série d'essais, ils ne voient que la tâche de traitement et des écrans noirs à la place de la tâche de mémorisation. Pour les participants du groupe simple tâche, l'étude dure environ 65 minutes (40 essais durent environ 60 minutes, plus les 5 minutes de familiarisation).

3 RÉSULTATS

3.1 Tâche de mémorisation : Empan complexe

Il y a une différence significative entre l'empan complexe du groupe multitâche (G1) et celui du groupe simple tâche (G2) : $t(24) = 2.22$; $p < .02$. Moins d'éléments sont rappelés correctement dans le bon ordre dans la situation multitâche ($M = 3.93$, $SE = 0.47$) que dans la situation de simple tâche ($M = 5.24$, $SE = 0.33$). Voir la figure 4. Les résultats de cette expérience sont en accord avec la littérature, où l'empan complexe est de cinq éléments chez les adultes (Barrouillet et al., 2004).

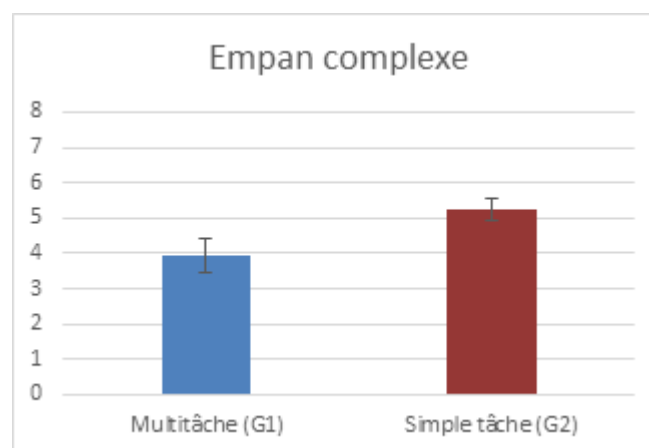


Figure 4. Empan complexe (nombre d'éléments moyens rappelés) en fonction du groupe (G1 : situation multitâche et G2 : situation simple tâche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard.

3.2 Tâche de traitement : Coût de permutation

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur le temps de réaction avec le facteur intragroupe de permutation (recherche 1 vs recherche 2) et le facteur inter-groupe de situation (multitâche vs simple tâche). L'effet principal de la permutation est significatif [$F(1, 26) = 87.64, p < .001$]. Les temps de réponse sont plus longs dans la recherche 1 ($M = 2893.93$ ms, $SE = 139.44$) que dans la recherche 2 ($M = 1726.4$ ms, $SE = 100.53$). L'effet principal de la situation n'est pas significatif [$F(1, 26) = 1.27, p = .27$]. Les temps de réponse sont proches entre la situation multitâche ($M = 2427.45$ ms, $SE = 97.43$ ms) et la situation simple tâche ($M = 2192.88$ ms, $SD = 184.24$).

Les analyses Post-Hoc HSD de Tukey montrent qu'il y a une différence significative ($p < .001$) entre le temps de réponse pour la recherche 1 et celui pour la recherche 2 (coût de permutation) : pour le groupe multitâche (Moyenne recherche 1 = 2734.84 ms, $SE = 236.13$ ms ; moyenne recherche 2 = 1650.92 ms, $SE = 163.66$ ms) et pour le groupe simple tâche (Moyenne recherche 1 = 3053.03 ms, $SE = 145.31$ ms ; moyenne recherche 2 = 1801.87 ms, $SE = 119.67$ ms). Voir la figure 5.

Il n'y a pas de différence significative entre le taux d'erreur du groupe multitâche (G1) et celui du groupe simple tâche (G2) : $t(26) = 0.55 ; p = .29$. Il y a autant de bonnes réponses dans le groupe multitâche ($M = 42.6\%$, $SE = 5.2\%$) que dans le groupe simple tâche ($M = 46.7\%$, $SE = 5.3\%$).

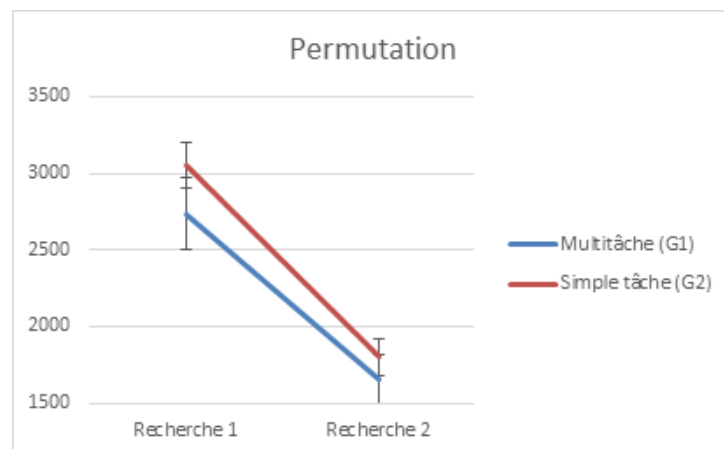


Figure 5. Temps de réponse moyens (ms) en fonction de la recherche selon le groupe (G1 : situation multitâche et G2 : situation simple tâche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard.

4 DISCUSSION

L'objectif de la présente étude était de tester une méthode d'évaluation du coût cognitif de tâches aéronautiques. La première hypothèse est que les participants du groupe multitâche (G1) ont un empan complexe plus faible que les participants du groupe simple tâche (G2), reflétant le coût exercé par la tâche de traitement sur la tâche de mémorisation. Les résultats montrent effectivement que les participants qui ont effectué la tâche de mémorisation en situation de simple tâche ont un empan complexe moyen plus important que ceux qui ont effectué la tâche en situation multitâche. Cela signifie que les tâches de traitement ont exacerbé le déclin des traces mnésiques des éléments, comme le prédit le modèle TBRS (Camos & Barrouillet, 2004). Ce modèle stipule que deux facteurs agissent sur le déclin des traces mnésiques dans une tâche d'empan complexe : le temps et le coût cognitif induit par la tâche de traitement. Ainsi, pour la première fois, cette étude montre qu'il est possible d'évaluer le coût cognitif des individus en adaptant un protocole habituellement utilisé en laboratoire pour évaluer l'empan complexe dans un environnement simulant partiellement un contexte aéronautique.

La seconde hypothèse est que le temps de réponse est plus long pour la recherche 1 (précédé par la tâche de mémorisation d'éléments du plan de vol) que pour la recherche 2 dans une situation multitâche, en raison du coût de permutation. Ce coût de permutation est dû à la nécessité de réactiver les règles des tâches lors de chaque changement de tâche (Miyake et al., 2000, Rogers &

Monsell, 1995). Le même type de coût a également été mis en évidence dans les situations multitâches (Liepelt et al., 2011). Cependant, nos résultats ne valident pas cette hypothèse. Les participants du groupe simple tâche (G2) ont également subi une augmentation du coût cognitif, même sans tâche de mémorisation insérée entre les tâches de traitement. Cela suggère que l'ajout d'une tâche de mémorisation n'ajouterait pas de coût supplémentaire à la permutation. De plus, les temps de réalisation de la recherche 2 étaient équivalents entre les deux groupes. Une explication possible de ces résultats peut être trouvée dans la littérature sur le "Task-set Dissipation", notamment dans l'étude menée par Horoufchin et al. (2011). Cette notion suggère la présence d'une variable confondue, à savoir le temps de pause de deux secondes, qui semble être suffisamment long pour provoquer un déclin des règles de la tâche précédente. Afin de valider pleinement la mesure du coût de permutation, il est donc essentiel de mener de nouvelles expérimentations en contrôlant cette variable confondue.

Dans le cadre de cette recherche, une application concrète des résultats pourrait consister en l'utilisation, par un instructeur de vol, d'éléments à mémoriser afin d'estimer le coût cognitif d'une tâche de traitement spécifique pour un pilote en formation. Par exemple, ces tâches pourraient concerner le maintien de l'altitude, le maintien de la vitesse, les communications radiophoniques, et autres. Cette méthode offre la possibilité de mesurer le coût cognitif d'un apprenant pendant l'exécution des tâches qu'il est en train d'apprendre. Elle peut être appliquée à une variété de tâches aéronautiques, qu'il s'agisse de mesurer le coût cognitif d'une tâche de base pour un élève pilote, ou d'évaluer le coût induit par de nouvelles technologies (comme les interactions avec l'intelligence artificielle) dans des appareils en développement par l'industrie.

L'évaluation du coût cognitif des tâches permettra de concentrer les efforts d'automatisation sur les tâches les plus exigeantes, libérant ainsi au mieux les ressources du système cognitif. Cette méthode permet également d'adapter la formation aux difficultés singulières rencontrées par chaque individu. Par exemple, les performances individuelles peuvent varier en fonction du contexte et de manière inter-individuelle et intra-individuelle. Ainsi, il serait possible d'évaluer la performance d'un individu dans une tâche complexe en dehors de la tâche d'apprentissage, puis de comparer cette performance à celle réalisée dans la tâche complexe avec l'apprentissage en cours. Si les performances dans les tâches complexes sont similaires, cela pourrait indiquer qu'il est nécessaire d'ajouter de la difficulté. En revanche, si les différences de performances sont trop importantes (ce qui doit être défini plus précisément), il faudra envisager de réduire la difficulté.

En conclusion, cette méthode présente d'importants avantages. Elle se révèle être un nouvel outil précieux pour mesurer le coût cognitif des tâches effectuées lors d'activités aéronautiques. De plus, elle offre l'avantage d'être peu coûteuse en termes de temps et de ressources pour les instructeurs. Toutefois, des adaptations futures doivent être testées afin de permettre une évaluation en temps réel du coût cognitif associé aux tâches de traitement pendant les vols conventionnels. Il est également important d'étudier les effets et les liens de cette méthode avec d'autres approches, telles que celles décrites par Hancock et Matthews (2019). Une exploration plus approfondie de ces interactions pourrait permettre une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents au coût cognitif et ouvrir des perspectives d'amélioration supplémentaires. Ainsi, en combinant différentes méthodes, il serait possible d'obtenir une évaluation plus complète et précise du coût cognitif lors des activités aéronautiques. Ces constatations ouvrent de nouvelles perspectives dans l'amélioration de l'évaluation du coût cognitif et de son impact sur les performances dans le domaine de l'aviation.

5 REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ÉTHIQUES

Nous remercions tous les participants pour leur temps et leur volonté de participer. Aucune incitation à participer n'a été donnée et les directives éthiques de la déclaration d'Helsinki ont été suivies. Ce projet est financé par l'Agence Innovation Défense. Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêts.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5-28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). The time-based resource-sharing model of working memory. *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*, 455, 59-80. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198570394.003.0004>
- Camos, V. (2017). Domain-specific versus domain-general maintenance in working memory: Reconciliation within the time-based resource sharing model. *Psychology of Learning and Motivation*, 67, 135-171. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2017.03.005>
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006>
- Froger, G., Blättler, C., Dubois, E., Camachon, C., & Bonnardel, N. (2018). Time-interval emphasis in an aeronautical dual-task context: A countermeasure to task absorption. *Human Factors*, 60(7), 936–946. <https://doi.org/10.1177/0018720818783946>
- Hancock, P. A., & Matthews, G. (2019). Workload and Performance: Associations, Insensitivities, and Dissociations. *Human Factors*, 61(3), 374–392. <https://doi.org/10.1177/0018720818809590>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*. North Holland Press. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Kreitz, C., Furley, P., Memmert, D., & Simons, D. J. (2016). The influence of attention set, working memory capacity, and expectations on inattentive blindness. *Perception*, 45(4), 386-399. <https://doi.org/10.1177/0301006615614465>
- Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., & Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(7), 1251-1272. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.543284>
- Mattes, S., & Hallen, A. (2009). Surrogate distraction measurement techniques: The Lane Change Test. In M. A. Regan, J. D. Lee, & K. L. Young (Eds.), (pp. 107-121). Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420007497-16>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monsell, S. (2015). Task-set control and task switching. In J. M. Fawcett, E. F. Risko, & A. Kingstone (Eds.), *The handbook of attention* (pp. 139-172). Boston Review. <https://doi.org/10.1093/med:psych/9780198528883.003.0002>
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in single tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.116.2.220>
- Horoufchin, H., Philipp, A. M., & Koch, I. (2011). The dissipating task-repetition benefit in cued task switching: Task-set decay or temporal distinctiveness? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37(2), 455–472. <https://doi.org/10.1037/a0020557>
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>