



HAL
open science

L'apprentissage d'un séquençage visuo-attentionnel pour lutter contre la distraction en contexte aéronautique de double tâche

Grégory Froger, Colin Blatter, Emilien Dubois, Cyril Camachon, Nathalie Bonnardel

► To cite this version:

Grégory Froger, Colin Blatter, Emilien Dubois, Cyril Camachon, Nathalie Bonnardel. L'apprentissage d'un séquençage visuo-attentionnel pour lutter contre la distraction en contexte aéronautique de double tâche. Actes du 9ème Colloque de Psychologie Ergonomique - EPIQUE' 2017, 2017, Dijon, France. hal-01778727

HAL Id: hal-01778727

<https://hal.science/hal-01778727>

Submitted on 26 Apr 2018

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.

L'apprentissage d'un séquençage visuo-attentionnel pour lutter contre la distraction en contexte aéronautique de double tâche.

Grégory Froger

Centre Psyclé - Aix Marseille Université / Centre de recherche de l'Armée de l'Air – Salon
Gregory.froger@gmail.com

Colin Blättler

Centre de recherche de l'Armée de l'Air – Salon
Colin.blattler@defense.gouv.fr

Émilien Dubois

Centre de recherche de l'Armée de l'Air – Salon / ENAC – Toulouse
Emilien.dubois@enac.fr

Cyril Camachon

Centre de recherche de l'Armée de l'Air – Salon
Cyril.camachon@defense.gouv.fr

Nathalie Bonnardel

Centre Psyclé - Aix Marseille Université
Nathalie.bonnardel@univ-amu.fr

Catégorie de soumission : communication longue

Thème pressenti (IHM)

RÉSUMÉ

Les activités aériennes, lors des vols à vue (Visual Flight Rules), imposent aux personnels navigants (PN) une charge de travail importante, parfois sous forte contrainte temporelle, dans un contexte où les interfaces homme-machine (IHM) présentent une masse informative de plus en plus conséquente. La nature de ces IHM est de nature à favoriser le phénomène de distraction contre lequel le NTSB a décidé de lutter au cours de son mandat 2017-2018. L'objectif de ce travail est d'étudier des apprentissages à même de permettre aux navigants de s'adapter à ce nouvel environnement afin de résister d'une part au phénomène de distraction et d'autre part de développer des compétences adaptées à ces IHM.

Un dispositif de double tâche présentant une tâche « tête haute » de recherche visuelle et une tâche « tête basse » de gestion de système, couplé à un dispositif d'emphase en temps réel a été présenté à 118 étudiants et a permis de mettre en évidence un apprentissage de la répartition attentionnelle vers la règle prescrite.

MOTS-CLÉS

Double tâche, estimation de l'intervalle de temps, distraction, apprentissage, situation dynamique.

1. INTRODUCTION

Les activités aériennes, lors des vols à vue (Visual Flight Rules ou VFR), imposent aux personnels navigants (PN) une charge de travail importante, parfois sous forte contrainte temporelle, dans un contexte ergonomique où les interfaces homme-machine (IHM) présentent une masse informative de plus en plus conséquente. La nature même de ces nouvelles IHM, les glass cockpits qui ont remplacé les anciens instruments en offrant de nouvelles capacités, est de nature à favoriser la distraction des PN. Ce phénomène de distraction fait partie des causes majeures d'accidents mortels en aviation, contre lequel le NTSB¹ a décidé de lutter au cours de son mandat 2017-2018 (NTSB, 2016). Le point crucial de l'atteinte à la sécurité des vols est que les PN ne regardent pas assez dehors car ils focalisent trop longtemps sur la gestion du système (Rudisill, 1994). L'objectif de ce travail est d'étudier des dispositifs d'apprentissages à même de permettre aux navigants de s'adapter à ce nouvel environnement afin de développer d'une part des compétences adaptées aux IHM et d'autre part de résister au phénomène de distraction qu'elles génèrent

2. L'APPRENTISSAGE D'UNE REPARTITION VISUO-ATTENTIONNELLE POUR GERER LES SITUATIONS MULTITACHES

Dans la conduite d'un aéronef, les principales tâches des navigants, ainsi que les compétences et les connaissances qui y sont associées, sont multiples et complémentaires (Martin, Hourlier, & Cegarra, 2013). Faire voler un avion nécessite ainsi une attention constante (Boy, 2005) et consiste à conduire un processus dynamique et à risque (Martin, 2013). Une situation est considérée dynamique lorsqu'elle évolue en dehors des actions de l'opérateur et si l'évolution spontanée de cette situation peut être imprévisible (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Les équipages doivent ainsi répartir leur attention en fonction de ces situations dynamiques. Ces situations dynamiques peuvent provenir du monde extérieur à l'avion (météorologie, oiseaux, trafic aérien) ou du monde intérieur à l'avion (évolution du carburant, pannes...). Il est primordial que les équipages aient acquis des automatismes, des *patterns* de répartition du focus attentionnel adaptés à ces situations dynamiques (Boy, 2005) du monde extérieur et du monde intérieur. L'objectif de cette étude est d'évaluer un dispositif d'apprentissage permettant d'apprendre à répartir l'attention des équipages en fonction du référentiel de formation des navigants de l'armée de l'air qui prescrit d'alterner son attention visuelle entre l'extérieur et l'intérieur du cockpit en regardant au plus deux secondes dans la cabine.

Sweller (1994) décrit le processus d'apprentissage comme aboutissant au stockage en mémoire à long terme de schémas automatisés (Sweller, 1994). En aéronautique, lorsque les équipages partagent leur attention entre l'intérieur et l'extérieur du cockpit, cela consiste en une organisation spatiotemporelle de l'attention visuelle reliée à un schéma spécifique à la situation vécue. Par exemple, les novices commencent leur circuit visuel en pensant à regarder dehors, regarder dedans etc... jusqu'à ce que le circuit visuel soit acquis et effectué sans effort. Lorsque les équipages ont atteint ce niveau de la réalisation sans effort, l'organisation spatiotemporelle de l'attention visuelle peut être qualifiée d'*automation* (Sweller, 1994) ou de *skill* (Rasmussen, 1983). Le processus qui permet de développer ces routines est appelé l'automatisation (Logan, 1988). Cette automatisation est le résultat d'un processus progressif basé sur la répétition. Pour Logan (1988), lorsque les novices répètent une tâche, ils utilisent un algorithme de résolution pour construire une solution à cette tâche, solution qui sera ensuite stockée en mémoire à long terme (MLT). Ainsi, lorsque les individus rencontrent une tâche similaire, ils peuvent éviter d'utiliser l'algorithme de résolution pour appeler cette solution stockée en MLT. Cette méthode d'appel à une solution stockée demande moins de ressources attentionnelles et est également plus rapide. En fonction de la nature de la tâche, de la

¹ NTSB : *National Transportation Safety Board*

variabilité interindividuelle, le nombre de répétitions afin d'obtenir un stockage efficace en MLT peut être plus ou moins conséquent. L'automatisation est décrite acquise lorsque les individus évitent complètement l'utilisation de l'algorithme de résolution en utilisant la solution adaptée à la tâche stockée en MLT (Logan, 1988). L'automatisation est donc la transition d'une performance basée sur un processus algorithmique vers une performance basée sur un processus de stockage et de récupération en MLT. Sweller (1994) décrit aussi cet aspect progressif de l'automatisation depuis un traitement contrôlé de l'information vers un traitement automatique de la même information. Cette transition repose sur un processus d'apprentissage continu et lent. L'apprentissage permet de créer et stocker en MLT un schéma approprié à une tâche et d'automatiser la récupération de ce schéma, solution adaptée à cette même tâche. Les schémas permettent de traiter un grand nombre d'informations simultanément en associant par un mécanisme de *chunking* (Gobet & Simon, 1996), plusieurs éléments disjoints en un seul élément. De plus, la récupération automatique de ces schémas ne sollicite pas la mémoire de travail (MdT) (Logan, 1988). Les avantages de l'apprentissage résident ainsi dans la réduction des ressources attentionnelles pour traiter des situations familières, ce qui permet de pouvoir prendre en compte des tâches supplémentaires dans la même période de temps. Ainsi, pour revenir à la conduite d'un avion, tout se passe comme si lorsque le circuit visuel est automatisé, il devient possible d'allouer les ressources attentionnelles résiduelles pour traiter d'autres tâches telles que la gestion de système ou tout événement surgissant.

En effet, les situations écologiques peuvent présenter de nombreuses tâches indépendantes que les individus auront à gérer simultanément. Dans le cas de l'aviation en VFR, la gestion de divers systèmes (navigation, communications radio, ...) est concomitante, synchrone, avec la surveillance du ciel. Il a été montré que la gestion de deux tâches synchrones entraînait une perte de performance dans chacune des deux tâches (Telford, 1931 ; Welford, 1952, Pashler, 1994). Cette perte de performance est définie comme le coût de la double tâche ou « *dual task cost* » (Welford, 1952). Certaines études ont montré qu'un entraînement important en double tâche permettait de réduire ce coût (Pashler, 1994). L'automatisation est à l'origine de cette réduction du coût de la double tâche. Pashler (1994) a également montré que la réduction du coût de la double tâche atteignait une certaine limite, qui ne pouvait pas être dépassée par un entraînement plus important. Cette limite s'appelle la période réfractaire psychologique (PRP) (Telford, 1931). Cette limite due à la PRP a également été observée dans des études écologiques de conduite de véhicule, au cours de laquelle les participants devaient effectuer un freinage d'urgence suite à un stimulus visuel externe au véhicule (véhicule arrêté sur la route) et une tâche de recherche visuelle à l'intérieur du véhicule : *surrogate reference task* (SuRT) (Hibberd, Jamson, & Carsten, 2012). La tâche à l'intérieur du véhicule (SuRT), consiste à trouver un cercle plus large (cible) au sein de cercles plus petits et de même taille (distracteurs). Dans cette étude, les participants étaient placés en situation de gestion de double tâche dont une des deux était prioritaire (celle de freinage). Or, au cours d'une étude précédente, il a été montré que la limite due à la PRP pouvait être dépassée lorsque les participants étaient libres de choisir leur propre priorité dans l'exécution d'une double tâche en suivant un entraînement mêlant double tâche et simple tâche appelé entraînement hybride (Schumacher, et al., 2001). Une autre étude reprenant la liberté de choix de la priorité au sein des deux tâches et l'entraînement hybride a montré qu'un tel entraînement permettait de développer une compétence de coordination à la gestion de double tâche appelée ITC (*inter task coordination*) (Liepelt, Strobach, Frensch, & Schubert, 2011). Au cours de cette étude, l'automatisation de chacune des tâches n'était pas suffisante pour expliquer l'amélioration de la performance en double tâche. Ainsi, l'automatisation de chaque tâche entraînée isolément aboutissait, en situation double tâche, à une performance moindre que celle obtenue après un entraînement hybride (Strobach, Salminen, Karbach, & Shubert, 2014). [Strobach](#) et al. (2014) théorisent que l'exposition répétée à une tâche

double, associée à une répétition alternée d'entraînement en tâche simple, permet de créer une représentation construite après l'exposition aux tâches, qui contient certains éléments de chacune des tâches. Les auteurs théorisent également que cette représentation de certains éléments de chacune des tâches permet d'améliorer l'ITC. Tout se passerait comme si une nouvelle exposition aux deux tâches activait simultanément des éléments de chacune des deux tâches et évitait ainsi le besoin de *switcher* (et le coût cognitif associé) de la représentation d'une tâche à la représentation de l'autre tâche.

Dans notre étude, le besoin de lutter contre un temps trop long à regarder à l'intérieur du cockpit, i.e. pas plus de 2 secondes selon les recommandations, conduit à prendre en considération une régularité temporelle, une estimation d'un intervalle de temps, comme un nouvel élément de la coordination inter-tâches, afin d'atteindre une organisation spécifique de l'attention visuelle spatio-temporelle. Le but est que les participants puissent intégrer au mieux cette contrainte temporelle des 2s pendant qu'ils réalisent les deux tâches, et plus particulièrement la tâche à l'intérieur du cockpit. Cette capacité à estimer un empan temporel est définie comme le *time estimation interval* (TEI) (Taatgen, van Rijn, & Anderson, 2007). Au cours de leur étude, Taatgen et al. (2007) ont exposé les participants à une situation de double tâche au sein de laquelle l'estimation de l'intervalle de temps était un des éléments permettant d'augmenter la performance dans la réalisation de la double tâche. Ils ont montré que le TEI pouvait être appris, automatisé, ce qui répond à la définition d'un schéma selon Sweller (1994), et transférable dans des versions plus ou moins exigeantes de la même double tâche.

Combiner les résultats obtenus sur l'ITC et le TEI suggère la possibilité, après un entraînement extensif, de pouvoir intégrer dans une structure commune des éléments des deux tâches et d'une estimation de l'intervalle de temps.

Au cours de leur formation, les élèves du PN doivent acquérir la capacité à gérer des tâches hors et dedans le cockpit dans le respect de la règle pas plus de 2 secondes quant à la tâche à l'intérieur du cockpit (règle des 2 secondes). Une objectivation du comportement oculaire des élèves *ab initio* du PN de l'armée de l'air française a été réalisée au cours d'un vol VFR simulé (Dubois, Blättler, Camachon, & Hurter, 2015). Les auteurs avaient indiqué la règle des 2 secondes aux participants et ont observé pour un groupe contrôle une violation moyenne de la règle supérieure à 5 par minute associée à un temps total à regarder en cabine de plus de 60% du temps de vol. Deux groupes expérimentaux ont été exposés à une emphase à chaque violation de la règle des 2 secondes en temps réel, rendue possible au moyen d'un *eye-tracker* synchronisé au simulateur de vol. Cette emphase était soit auditive (alarme sonore) soit visuelle (les écrans du cockpit devenaient noir) et a entraîné une modification du comportement visuel des participants avec moins de 3 violations par minute de la règle des 2 secondes et 60% du temps à regarder dehors. Si cette méthode est efficace en temps réel, elle est actuellement dépendante de l'oculométrie dont les capteurs sont de performance actuelle modérée à la lumière naturelle, ce qui rend irréaliste sa mise en œuvre au cours de vols réels. Les résultats de cette étude, associés aux capacités théoriques de l'apprentissage décrites supra, nous ont incité à développer un apprentissage en simulateur qui permet aux participants de modifier leur comportement visuo attentionnel. Plus précisément, nous souhaitons évaluer s'il est possible de combiner ITC et TEI dans un contexte dynamique de doubles tâches à réaliser sous contrainte temporelle.

Nous avons donc développé deux tâches qui symbolisent une activité de vol VFR. Une tâche « tête haute » (Head Up Task : HUT) qui simule la recherche visuelle dans le monde extérieur au cockpit et une « tête basse » (Head down Task : HDT) qui simule la gestion de système à l'intérieur du cockpit. Une emphase visuelle était présentée en temps réel en cas de violation de la règle des deux

secondes. Cette emphase apparaissait pardessus la tâche « tête basse » (HDT) soit sous la forme d'un masque orange transparent ou emphase permissive (P : qui permettait la poursuite de HDT), soit sous la forme d'un masque orange opaque ou emphase non permissive (NP : qui interdisait la poursuite de HDT).

3. HYPOTHESES

En s'appuyant sur la théorie développée, nous supposons que la mise en emphase du TEI permettra l'intégration du TEI dans l'ITC et permettra ainsi (1) un meilleur respect de la règle des 2 secondes mais aussi, dans la continuité des résultats obtenus par Dubois et al. (2015), (2) une attention visuelle plus longue sur la HUT que sur la HDT.

De plus nous cherchons à savoir si mettre en emphase le TEI peut avoir un impact sur la performance aux tâches HDT et HUT. En effet ces emphases pourraient induire une priorisation d'une tâche par rapport à une autre. Ainsi, puisque d'après Schumacher et al (2001) le fait de donner une priorisation pourrait impacter négativement (i.e., limiter l'augmentation des performances) les performances aux tâches HDT et HUT, nous pourrions nous attendre à une performance plus faible dans les deux groupes expérimentaux par rapport au groupe contrôle (sans emphase).

4. CETTE ETUDE

Dans un contexte dynamique de double tâche symbolisant l'activité aérienne au cours d'un vol VFR, le but de cette étude est de savoir si l'emphase en temps réel permet d'acquérir un certain empan temporel dans la gestion de deux tâches visuo-motrices exigeantes. Plus spécifiquement, nous avons testé différentes emphases en accord avec la règle prescrite « pas plus de 2 secondes la tête en cabine ». Nous avons ensuite comparé l'acquisition de cette règle des 2 secondes après des stratégies d'apprentissage basées sur (1) la simple recommandation (sans emphase), (2) la simple recommandation associée à une emphase en temps réel permissive et (3) la simple recommandation associée à une emphase en temps réel non permissive.

4.1. Participants

118 participants, étudiants d'Aix-Marseille Université, ont participé à l'étude. Le groupe contrôle (CG) était constitué de 44 étudiants (36 femmes de 18 à 26 ans, moyenne d'âge 19,3 ; 8 hommes de 17 à 23 ans, moyenne d'âge 19,7 ans). Le groupe avec emphase permissive (PG) était constitué de 37 étudiants (32 femmes de 17 à 28 ans, moyenne d'âge 19,1 ; 7 hommes de 18 à 21 ans, moyenne d'âge 19,2 ans). Le groupe avec emphase non permissive (NPG) était constitué de 37 étudiants (31 femmes de 17 à 29 ans, moyenne d'âge 19,2 ; 6 hommes de 18 à 29 ans, moyenne d'âge 22,7 ans). L'ensemble des participants n'avait jamais volé en tant que membre d'équipage auparavant et tous avaient une vision normale ou corrigée.

4.2. Apparatus et stimuli

Les stimuli étaient présentés sur un moniteur couleur de 22 pouces Hyundai W220D avec une résolution de 1680x1050. Les expériences ont été conduites en utilisant le micro monde appelé Abstract Flying Task (AFT) associé au logiciel PiGaT (PilotGaze Trainer) qui permet de réaliser simultanément deux tâches symbolisant une activité aéronautique en VFR (voir Dubois, Camachon, Blättler, & Hurter, 2016 pour une description complète du matériel et logiciel). L'interaction avec le micro monde était réalisée avec le joystick Logitech Extrême 3d Pro. Les participants étaient assis à une distance visuelle de l'écran de 60 cm. Les données visuelles ont été recueillies via EyeTribe® cadencé à 30 Hz, installé à une distance de 50 cm.

4.3. Présentation du micro monde AFT.

Deux tâches visuo-motrices sont présentées simultanément. Une HUT et une HDT. HUT symbolise la recherche visuelle et doit être réalisée dans le même temps que HDT qui symbolise la surveillance et la gestion de système aéronautiques.

4.3.1.HUT

Cette tâche est le surrogate reference task (SuRT). Le but de cette tâche est de trouver un cercle cible, légèrement plus grand dans une globalité de cercles plus petits de même taille (distracteurs). Pour chaque HUT, en cas d'apparition le cercle cible était l'un des 400 cercles présentés. Chaque cercle avait une épaisseur de 3 px, un diamètre de 20 px et 35 minutes d'arc pour les distracteurs, un diamètre de 26 px et 44 minutes d'arc pour la cible.

La cible apparaissait aléatoirement sur la partie gauche, la partie droite ou bien était absente de l'écran du haut séparé en deux (voir Figure 1). Le participant devait répondre aussi vite que possible en appuyant sur l'un des trois boutons de la partie supérieure du joystick (bouton de gauche si la cible était dans l'écran gauche, bouton de droite si la cible était dans l'écran droit, bouton du milieu si la cible était absente). Lorsque les participants répondaient à la HUT un *feedback* jaune était présenté suivi d'une nouvelle HUT. Après un temps de 9,000 ms sans réponse, un *feedback* rouge apparaissant sur l'écran suivi d'une nouvelle HUT.

4.3.2.HDT

Cette tâche est inspirée de celle développée pour la sélection des pilotes de l'ENAC² (Matton, Paubel, Cegarra, & Raufaste, 2016). Elle présente quatre jauges qui comprennent chacune une flèche positionnée en leur intérieur (voir Figure 1). Au début de chaque session, toutes les flèches sont au milieu de chaque jauge, puis les flèches commencent à glisser aléatoirement depuis le centre des jauges vers une extrémité (choisie aléatoirement). Le but de la HDT est de réussir à maintenir les quatre flèches au centre de leurs jauges respectives. La sélection de la flèche à déplacer se réalise par l'utilisation du joystick avec une rotation du poignet (axe Z) et est validée par un appui sur le *trigger*. La flèche ainsi sélectionnée peut être déplacée par des mouvements sur le joystick (axes X et Y).

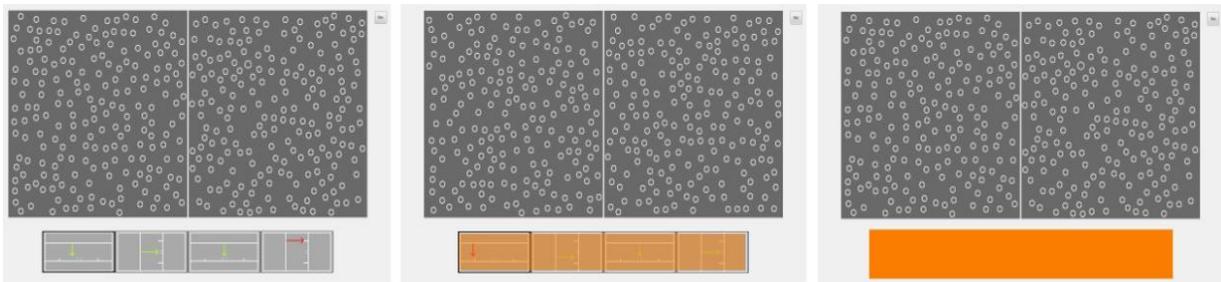


Figure 1 – exemple des tâches HUT et HDT associées aux différents types d'emphase (de gauche à droite : sans, permissive, non-permissive)

4.4. Procédure

Les participants devaient réaliser simultanément HUT et HDT.

Les participants étaient divisés en 3 groupes : le groupe contrôle ou CG (N=44), le groupe permissif ou PG (N=37) et le groupe non-permissif ou NPG (N=37). L'expérimentation a été conduite en 5 phases : (i) familiarisation, (ii) pré-test, (iii) sessions d'entraînement, (iv) post-test, (v) rétention 24 heures après le post-test.

² ENAC : École Nationale de l'Aviation Civile

La figure 2 présente la procédure globale. Au cours de la session de familiarisation (i), les participants devaient s'entraîner sur chaque tâche pendant 30 secondes : d'abord HDT, ensuite HUT, ensuite HDT et HUT simultanément.

Au cours des phases de test (ii, iv, v) les participants exécutaient HUT et HDT sans emphase pour les trois groupes. L'ordre de réponse aux tâches était libre.

La phase d'entraînement (iii) était constituée de 6 sessions d'entraînement de 2 minutes chacune où HUT et HDT étaient présentées de manière synchrone. L'ordre de réponse aux tâches était libre. L'emphase était présentée après 2000ms de regard continu sur la HDT pour les groupes PG et NPG. Un masque orange transparent qui permettait la poursuite de la HDT était présenté sur la HDT pour le groupe PG. Un masque orange opaque qui interdisait la poursuite de la HDT était présenté sur la HDT pour le groupe NPG. Le groupe CG ne recevait aucune emphase.

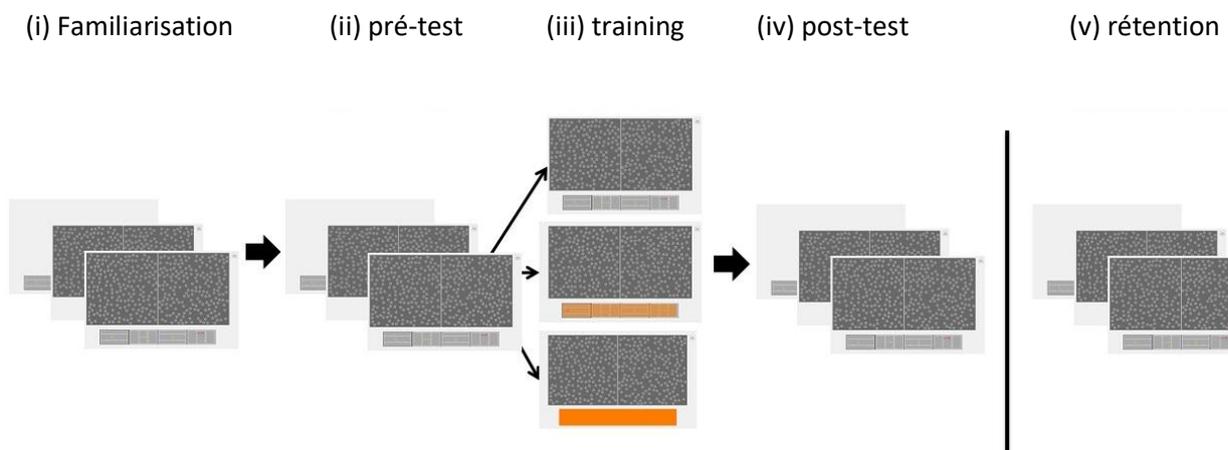


Figure 2 - procédure et design des 5 étapes de l'expérience

4.5. Mesure de la performance

La performance à la HUT est le nombre de bonnes réponses aux tâches SuRT présentées.

La performance à la HDT est notée sur 100 (25 par jauge). La performance à la HDT correspond au score moyen sur la session. Chaque jauge peut atteindre son score maximum (25) lorsque la jauge est au milieu. Ce score décroît linéairement lorsque la flèche s'éloigne du centre, jusqu'à atteindre 0 en extrémité de jauge.

Le temps passé à regarder les tâches HUT et HDT a été recueilli, ainsi que le nombre de violation de la règle des 2 secondes (plus de 2000ms de regard continu vers la tâche HDT).

5. RESULTATS

Des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées avec le facteur « groupe » (CG ; PG ; NPG) comme facteur inter-groupe et avec le facteur « apprentissage » (pré-test, post-test, rétention) facteur intra-groupe.

5.1. Violations de la règle des deux secondes

La figure 3 présente le nombre moyen de violations réalisées au cours de chaque test pour chacun des trois groupes.

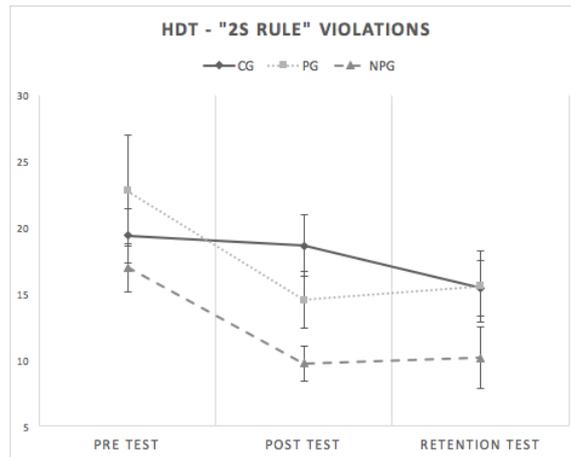


Figure 3 – Nombre de violations de la règle des « 2 s » pour chaque groupe en pré-test, post-test et rétention. La variance est représentée par l'erreur type

Une ANOVA sur le nombre de violations de la “règle des 2s” a mis en évidence un effet de l’apprentissage (pré-test : moyenne 19.67, ET : 1.64 ; post test : moyenne 14.5, ET 1.21 ; rétention : moyenne 13.78, ET 1.37) $F(2,234) = 6,41$; MSE 203,26 ; $p = 0.00193$, un effet de groupe (CG : moyenne 17.79, ET 1.24 ; PG : moyenne 17.61, ET 1.83 ; NPG : moyenne 12.27, ET 1.15) $F(2,117) = 3,82$; MSE 301,01 ; $p = 0.02456$ et pas d’interaction significative entre groupe et apprentissage $F(4,234) < 1$; MSE 203.26 ; $p = 0.49229$.

5.2. Temps de regard sur les différentes tâches

5.2.1. HUT

La figure 4 présente le temps moyen (en ms) passé pour chaque groupe à regarder la tâche HUT au cours de chaque test.

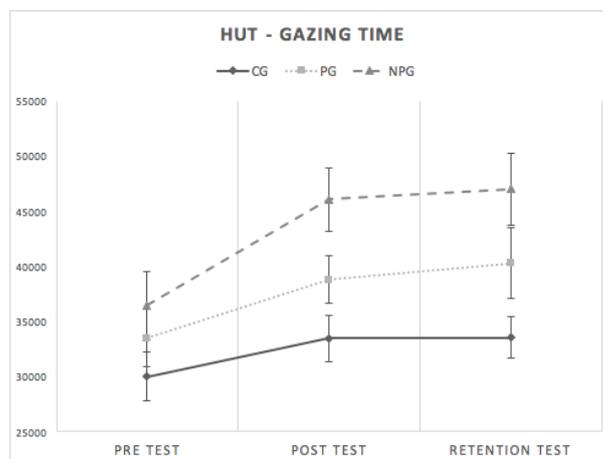


Figure 4 – Temps de regard (en ms) vers HUT pour chaque groupe en pré-test, post-test et rétention. La variance est représentée par l'erreur type

L’ANOVA réalisée avec le temps passé à regarder la HUT (en ms) montre un effet de l’apprentissage (pré-test : moyenne 33090.68, ET : 1520.26 ; post test : moyenne 39059.92, ET 1432.84 ; rétention : moyenne 39836.30, ET 1665.61) $F(2,230) = 13,89$; MSE 121599E3 ; $p = 0.000002$, un effet de groupe (CG : moyenne 32304.30, ET 1185.91 ; PG : moyenne 37480.48, ET 1553.64 ; NPG : moyenne

43150.82, ET 1814.11) $F(2,115) = 6,52$; MSE 543967E3 ; $p = 0.0020$ et pas d'interaction significative entre groupe et apprentissage $F(4,230) = 1.2444$; MSE 121599E3 ; $p = 0.29289$.

Des analyses de Post Hoc (Tukey) montrent une différence significative entre les groupes CG et NPG en post-test ($p = 0.00002$) et en rétention ($p = 0.000011$). Le groupe NPG présente des différences significatives entre le pré-test et le post-test ($p = 0.005605$) et entre le pré-test et le test en rétention ($p = 0.001308$).

La figure 5 présente le pourcentage moyen de temps passé à regarder la tâche HUT par rapport au temps total, pour chaque groupe au cours de chaque test.

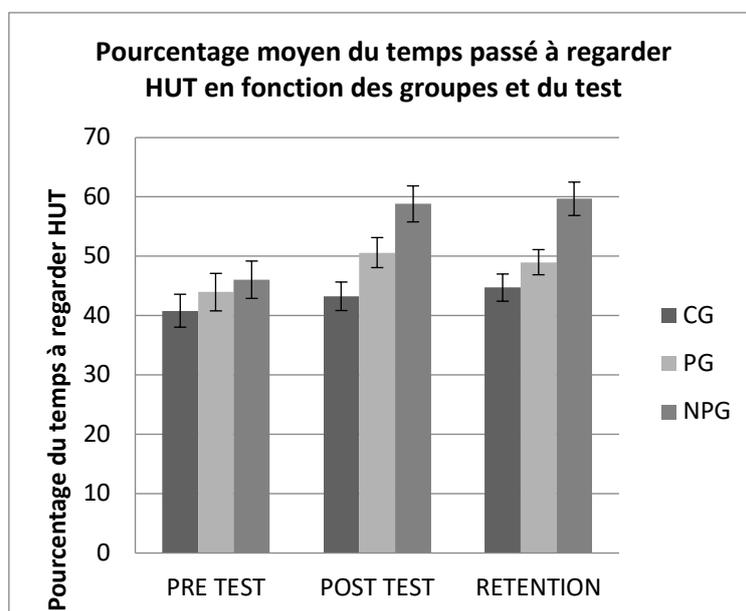


Figure 5 - pourcentage du temps de regard vers la tâche HUT en fonction du groupe et du test. La variance est représentée par l'erreur type

Une ANOVA réalisée avec le pourcentage moyen de temps passé à regarder la HUT (en ms) montre un effet de l'apprentissage (pré-test : moyenne 43.448, ET : 1.735 ; post test : moyenne 50.450, ET 1.627 ; rétention : moyenne 50.759, ET 1.501) $F(2,115) = 14.95$; MSE 2146.3 ; $p=0.000001$, un effet de groupe (CG : moyenne 42.937, ET 1.436 ; PG : moyenne 47.863, ET 1.533 ; NPG : moyenne 54.855, ET 1.816) $F(2,115)=7.464$; MSE 4292.4 ; $p=0.000896$; et une interaction significative entre groupe et apprentissage $F(4,230)=2,643$; MSE 379.5 ; $p=0.034475$.

Des comparaisons planifiées montrent une absence de différence significative entre le groupe CG et les groupes PG et NPG $F(1,115)=1.346368$; MSE 480.5221 ; $p=0.248317$; une différence significative entre le groupe CG et le groupe PG en post test $F(1,115)=3.958138$ MS 1090.077 $p=0.049019$; et une différence significative entre les groupes PG et NPG en post test et en rétention $F(1,115)=7.477756$ MS 3300.059 $p=0.007236$.

5.2.2. Performance à la tâche HDT

La figure 6 présente la performance moyenne à la tâche HDT pour chaque groupe au cours de chaque test.

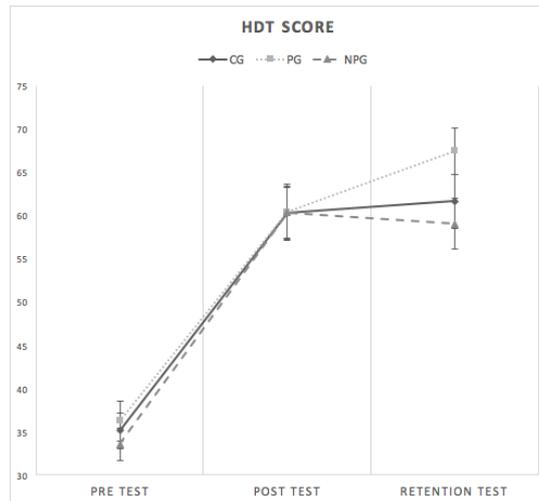


Figure 6- Performance à la tâche HDT pour chaque groupe lors du pré-test, post-test et test en rétention. La variance est représentée par l'erreur type

L'ANOVA sur la performance à la tâche HDT montre un effet de l'apprentissage (pré-test : moyenne 34.98, ET : 1.21, post-test : moyenne 60.32, ET 1.75; rétention : moyenne 62.63, ET 1.71) $F(2,234) = 236.12$; MSE 118.71 ; $p = 0.0001$, mais pas d'effet de groupe (CG : moyenne 52.32, ET 1.90 ; PG : moyenne 54.67, ET 1.98 ; NPG : moyenne 51.12, ET 1.97) $F(2,117) < 1$; MSE = 661.005 ; $p = .55$ et pas d'interaction significative entre groupe et apprentissage $F(4,234) = 1.58$; MSE 118.71 ; $p = 0.17$.

Une analyse post Hoc Tukey montre une performance significativement plus élevée lors du test en rétention pour le groupe PG (moyenne 67.47, ET 2.69) que pour le groupe NPG (moyenne 59.02, ET 2.97) ; $p = 0.022$.

5.2.3. Performance à la tâche HUT

La figure 7 présente le nombre de réponses correctes à la tâche HUT pour chaque groupe, au cours de chaque test.

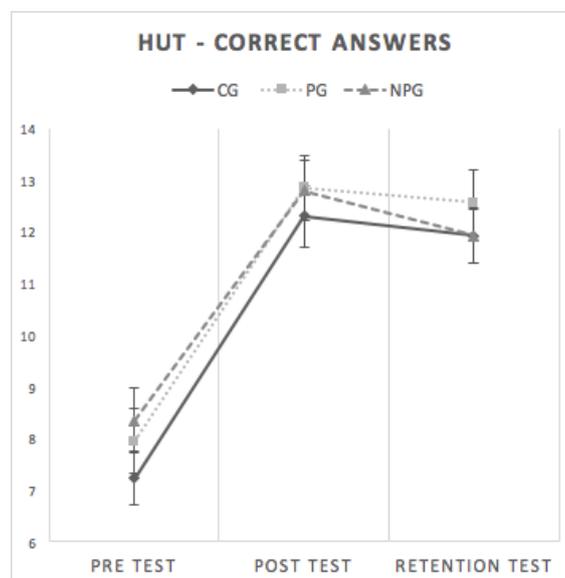


Figure 7 – Nombre de réponses correctes à la tâche HUT pour chaque groupe au cours du pré-test, du post-test et du test en rétention. La variance est représentée par l'erreur type

L'ANOVA réalisée sur les réponses correctes à la tâche HUT montre un effet de l'apprentissage (pré-test: moyenne 7.80, ET : 0.34, post test : moyenne 12.65, ET 0.35; rétention : moyenne 12.12, ET 0.33) $F(2,234) = 114,37$; MSE 7,26 ; $p = 0.0001$, mais pas d'effet de groupe (CG : moyenne 10.47, ET 0.37 ; PG : moyenne 11.11, ET 0.42 ; NPG : moyenne 11.01, ET 0.38) $F(2,117) < 1$; MSE = 26.98 ; $p = .58$ et pas d'interaction significative entre groupe et apprentissage $F(4,234) = 1.58$; MSE 7.26 ; $p = 0.72$.

6. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer si après un entraînement extensif à une double tâche mimant une activité aéronautique, il était possible d'intégrer dans une structure représentationnelle commune des éléments des deux tâches associés à une estimation d'un intervalle de temps. Plus précisément, il s'agissait de tester les effets d'une emphase présentée en temps réel sur la répartition spatio-temporelle de l'attention visuelle. Ces emphases étaient présentées au cours d'un apprentissage sur un simulateur d'environnement dynamique représentant des tâches aéronautiques de recherche visuelle (à l'extérieur du cockpit) et de gestion de système (à l'intérieur du cockpit). De plus, nous souhaitions savoir s'il était possible d'acquérir un empan temporel permettant de respecter une règle aéronautique « pas plus de deux secondes le regard dans la cabine » tout en majorant le temps passé à regarder dehors.

6.1. Temps de regard

Ce meilleur respect de la "règle des 2s" est significatif après les 6 sessions d'entraînement de 2 minutes. Cette observation va dans le sens des résultats de Taatgen et al. (2007) qui ont montré que l'estimation d'un intervalle de temps pouvait être apprise et automatisée. Après avoir observé cette acquisition dans un environnement dynamique représentant des tâches aéronautiques, des études futures devront vérifier la capacité de transfert de cette compétence dans un environnement plus écologique.

Concernant le temps et le pourcentage de temps de regard vers le monde extérieur, il n'existe pas de différence significative entre les trois groupes lors du pre-test. Les participants du groupe avec emphase permissive (PG) passent significativement plus de temps à regarder la tâche simulant le monde extérieur (HUT) en post-test que le groupe CG. Le groupe avec une emphase non permissive (NPG) passe significativement plus de temps à regarder vers HUT que le groupe avec emphase permissive (PG). Nos résultats suggèrent que l'emphase non permissive conduit à une meilleure acquisition d'un intervalle de temps (i.e., TEI) que l'emphase permissive dont le résultat est intermédiaire. Par ailleurs, les types d'emphases testées faisaient appel aux mêmes modalités que les tâches à accomplir. HUT et HDT étaient des tâches visuo-motrices et les emphases, permissives ou non, étaient exclusivement visuelles. Des explorations restent à mener quant au type d'emphase à utiliser dans le cadre de l'acquisition d'un TEI, en fonction de la nature des tâches, afin d'identifier les emphases les plus adaptées à l'apprentissage. Par exemple étudier l'impact d'une emphase auditive sur des tâches visuo-motrices.

Nos résultats suggèrent également que respecter la « règle des 2s » sur la tâche du bas induit un temps global passé sur la tâche du haut significativement plus important (groupe NPG). Pourtant la « règle des 2s » est compatible avec une stratégie conduisant à un temps de regard plus important sur la tâche du bas (gestion de système) que sur la tâche du haut (recherche visuelle). De plus, la tâche du bas est spontanément plus attractive, car l'ensemble des groupes en pré-test y passe plus de 57% de temps de regard. Ce résultat est d'ailleurs stable pour le groupe contrôle en post test et lors du test en rétention. Nous observons néanmoins que le groupe NPG apprend à passer plus de temps à regarder en haut qu'en bas. Ces résultats vont dans le même sens que ceux observés par

Dubois et al. (2015) au cours d'une expérience où la situation était une vraie situation de vol (simulée) et impliquait des élèves du personnel navigant de l'armée de l'air. Quel(s) facteur(s) pourraient expliquer ce comportement conduisant à passer plus de temps à regarder dehors (tâche de Dubois et al, 2015) ou en haut (tâche présentée ici) alors que la tâche du bas est en début d'expérience clairement plus attractive ? Dans le cas de l'expérience de Dubois et al (2015) les scènes sont pourvues de signification en représentant des scènes naturelles. De plus, les participants (élèves du personnel navigant) avaient des connaissances spécifiques à l'aéronautique préalablement à l'expérimentation puisqu'en moyenne ils avaient 37h de vol avec fonction à bord. Dans ce cas il est possible d'hypothétiser que les connaissances préalables des participants conjuguées à la nature des scènes pouvaient contribuer à orienter le focus attentionnel vers le monde extérieur dans le respect des prescriptions aéronautiques connues par les participants. Cependant, dans l'étude présentée ici cette information n'est apportée ni par la scène ni par les connaissances spécifiques des participants (tous étudiants à l'université AMU). Pris ensemble cela suggère que les connaissances spécifiques des acteurs et la sémantique apportée par la scène ne seraient pas entièrement responsables de ce phénomène. Il est alors possible que certains mécanismes en jeu soient génériques (indépendants de la nature de la situation). De futures expérimentations sont nécessaires et pourraient notamment conduire à montrer des effets de transfert d'une situation artificielle (comme celle utilisée ici) vers une situation plus naturelle.

6.2. Performance aux tâches.

Tout d'abord les participants réalisent correctement les tâches, ce qui est traduit par l'effet d'apprentissage autant pour la performance à la tâche du haut que celle du bas. Par ailleurs les performances d'apprentissage ne présentent pas de différences significatives, à l'exception du groupe PG en rétention dont la performance est significativement supérieure à celle du groupe NPG. D'après Schumacher (2001) en situation de double tâche les performances les meilleures sont atteintes lorsque les participants sont libres de choisir la priorité associée à chacune des deux tâches. Cette liberté de choix était verbalisée à chacun des groupes (CG, PG, NPG) mais nous nous demandions si l'emphase visuelle présentée pour les groupes PG et NPG pouvait avoir une influence sur la priorisation. L'absence de différence significative quant aux mesures de performance pour les tâches HUT et HDT observée suggère que l'emphase ne crée pas de priorisation entre les tâches.

La stabilité des résultats de performance obtenus lors du test en rétention, 24 heures après le post test, confirment l'acquisition d'un comportement orienté par l'emphase. Un résultat inattendu en rétention est la performance à la tâche HDT significativement plus élevée pour le groupe PG que pour le groupe NPG. L'augmentation de cette performance au moyen d'une emphase permissive, associée à l'acquisition du TEI au moyen d'une emphase non permissive permet d'envisager le développement d'un apprentissage hybride alternant la présentation d'emphases permissives et non permissives. Cet entraînement permettrait tout à la fois de développer un comportement attentionnel adapté en améliorant les performances. Des voies d'exploration sont ainsi ouvertes et devront étudier le risque qu'un apprentissage hybride conduise à réduire l'apprentissage de la répartition attentionnelle et comment agencer cette apprentissage hybride afin de maximiser à la fois l'apprentissage de la répartition attentionnelle et la performance aux tâches. En extrapolant la méthode hybride de Schumacher et al (2001), nous pourrions nous attendre à obtenir l'entraînement le plus efficace en mélangeant les sessions d'entraînement PG et NPG.

Pour conclure, cette étude a permis de développer une répartition attentionnelle s'approchant de celle recommandée en vol à vue (VFR). La capacité de transfert de cette compétence vers un environnement plus écologique ainsi que l'amélioration de cette acquisition par un entraînement hybride restent à étudier.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Boy, G. A. (2005). Decision Making : A Cognitive Function Approach. *Seventh International NDM Conference*. Amsterdam, The Netherlands: J.M.C Schraagen.
- Dubois, E., Blättler, C., Camachon, C., & Hurter, C. (2015). Eye Movements Data Processing for Ab Initio Military Pilot Training. In R. Neves-Silva, L. C. Jain, & R. J. Howlett (Ed.), *Intelligent Decision Technologies*, (pp. 125-135).
- Dubois, E., Camachon, C., Blättler, C., & Hurter, C. (2016). Évaluation du dispositif PiGaT (PilotGazeTrainer) pour l'entraînement des stratégies visuelles d'élèves pilotes. *IHM'16 : Éducation*, (pp. 177-187). Fribourg, Switzerland.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: a mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, *31*(1), 8-27.
- Gopher, D., Weil, M., & Siegel, D. (1989). Practice under changing priorities: an approach to the training of complex skills. *Acta Psychologica*, *71*, 147-177.
- Hibberd, Jamson, & Carsten. (2012). *Human factors of systems and technology*, (pp. 1-14). Maastricht, the Netherlands.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R., Cellier, J.-M., & Grosjean, V. (2004). *Psychologie ergonomique : tendances actuelles*. (J. H. Darses, Ed.) Paris: PUF.
- Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., & Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1-22.
- Logan, G. D. (1988). Toward an Instance Theory of Automatization. *Psychological Review*, *95*(4), 492-527.
- Martin, C., Hourlier, S., & Cegarra, J. (2013, Mai). La charge de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique. *Le Travail Humain*, pp. 285-308.
- Matton, N., Paubel, P., Cegarra, J., & Raufaste, E. (2016). Differences in multitask resource reallocation after change in task values. *Human factor*, *58*(8).
- NTSB. (2016, December 2). *NTSB most wanted list 2017-2018*. Retrieved from National Transportation Safety Board: <http://www.nts.gov/safety/mwl/Pages/mwl8-2017-18.aspx>
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*, 220-244.
- Rasmussen, J. (1983, May - June). Skills, rules, Knowledge, signs and symbols, and other distinction in human performance models. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics.*, pp. 257-266.
- Rudisill, M. (1994). Flight crew experience with automation technologies on commercial transport flight decks. *Human performance in automated system : Current research and trends*, pp. 203-211.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2001, March). Virtually perfect time sharing in dual-task performance : Uncorking the Central Cognitive Bottleneck. *Psychological Science*, *12*(2), pp. 101-108.

- Strobach, T., Salminen, T., Karbach, J., & Shubert, T. (2014). Practice-related optimization and transfer of executive functions: a general review and a specific realization of their mechanisms in dual tasks. *Psychological Research, 78*, 836-851.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295-312.
- Taatgen, N. A., van Rijn, H., & Anderson, J. (2007). An Integrated Theory of Prospective Time Interval Estimation: The Role of Cognition, Attention and Learning. *Psychological Review, 114*(3), 577-598.
- Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology, 14*, 1-36.
- Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high speed performance - A review and a theory. *British Journal of Psychology, 43*, 2-19.