



HAL
open science

Mise en relation de la charge mentale et de l'effort mental à travers une tâche de pointage

Charlotte Mallat, Christophe Calmettes, Rémi L. Capa, Julien Cegarra

► To cite this version:

Charlotte Mallat, Christophe Calmettes, Rémi L. Capa, Julien Cegarra. Mise en relation de la charge mentale et de l'effort mental à travers une tâche de pointage. EPIQUE 2017, Jul 2017, Dijon, France. pp.55-62. hal-02505053

HAL Id: hal-02505053

<https://hal.science/hal-02505053>

Submitted on 11 Mar 2020

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.

MISE EN RELATION DE LA CHARGE MENTALE ET DE L'EFFORT MENTAL A TRAVERS UNE TACHE DE POINTAGE

Mallat, C.¹, Calmettes, C.¹, Capa, R.¹, Cegarra, J.¹

¹ Laboratoire Sciences de la Cognition, Technologie, Ergonomie (SCoTE), Université de Toulouse, INU Champollion, ALBI, France.

Mots clefs : Charge mentale de travail, Effort mental, Réactivité cardiovasculaire, Potentiels évoqués

Dans l'activité de transport aérien il est possible de recenser environ 20 accidents majeurs par an. Or, malgré les évolutions technologiques la sécurité semble atteindre un plateau au niveau international. Plus précisément, ce plateau est atteint parce que les solutions appliquées jusqu'à présent (suppression des risques, procédures et check-list, etc.) ne permettent pas nécessairement de traiter le risque résiduel. Or, plus le système est sûr et moins le public est tolérant aux accidents. Dès lors, à chaque accident, la pression médiatique va conduire les dirigeants à reproduire des solutions éprouvées et notamment proposer de nouvelles règles et procédures alarmes visuelles, auditives qui viendront s'ajouter aux précédentes. Pour Amalberti (2001) cela amène à un des paradoxes de l'ultra-sécurité : plus les règles sont nombreuses et plus leur non-respect se multiplie. Cette situation amène tout particulièrement à positionner l'opérateur humain au cœur des systèmes, de par ses capacités adaptatives et non plus comme utilisateur d'outils automatisés.

Dans une démarche centrée sur l'opérateur une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs sous-traitant ces opérations mentales est nécessaire. Parmi les processus cognitifs impliqués dans les systèmes complexes, dynamiques, la charge mentale de travail est un facteur de poids (Moray, 2013 ; Rodriguez et al., 2015 ; Young, Brookhuis, Wickens & Hancock, 2015). En effet, tous les systèmes complexes, dynamiques sont concernés par la bonne gestion de la charge mentale, de l'effort mental. Par exemple, dans le cadre du contrôle aérien, l'opérateur doit faire face à de multiples informations qu'il doit traiter en parallèle pour atteindre son but. En ergonomie, le modèle de la charge mentale de travail postulé par Peter Hancock se dégage dans la littérature (Hancock & Chignell, 1989 ; Hancock & Caird, 1993 ; Hancock & Szalma, 2008). Cet auteur postule une relation curvilinéaire entre la charge mentale et l'adaptabilité de l'opérateur, contenant en son centre une zone de compromis entre la demande et les ressources appelée zone de confort permettant un comportement et une activité physiologique efficiente. De part et d'autre de la courbe règne une instabilité entre la demande

et les ressources de l'opérateur pouvant s'appeler sous-charge ou surcharge (cf. Figure 1). Cette relation est très souvent envisagée en ergonomie pour expliquer l'activité des opérateurs mais n'a cependant pas encore trouvé de support expérimental. A l'inverse, la théorie de l'intensité de la motivation (Brehm & Self, 1989 ; Gendolla & Wright, 2011) postule que la mobilisation de l'effort est une relation linéaire. L'effort mental est défini ici par l'attention intensive et volontaire mobilisée par un individu pour atteindre son but (Kahneman, 1973). Le modèle postule que plus la difficulté perçue augmente plus l'opérateur fournit d'effort, jusqu'à ce que l'individu perçoive le niveau de difficulté comme impossible et ne mobilise plus d'effort (cf. Figure 2).

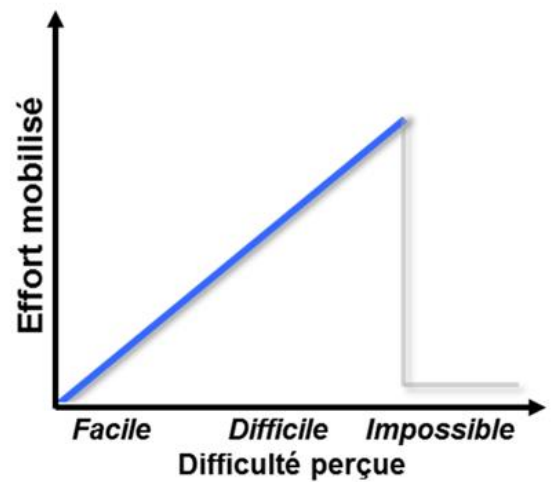
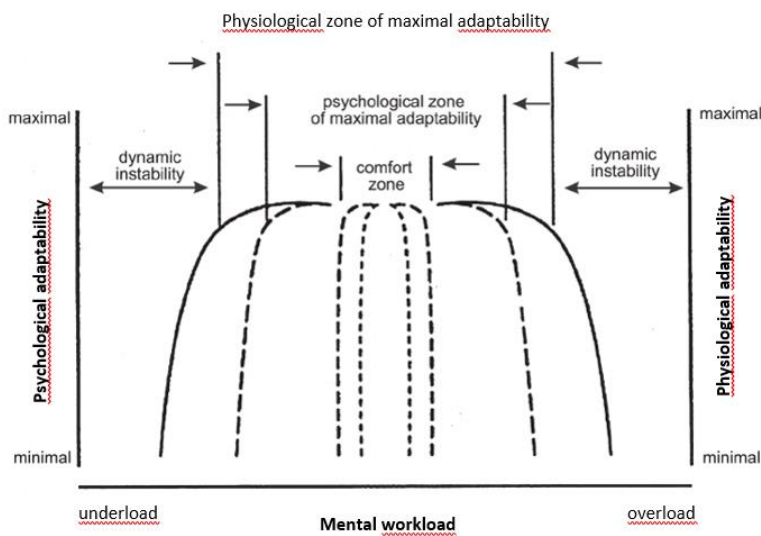


Figure 1. Relations postulées entre la charge mentale de travail, l'adaptabilité comportementale et physiologique (Hancock & Chignell, 1989, Hancock & Caird, 1993, Hancock & Szalma, 2008)

Figure 2. Relations postulées entre la difficulté perçue et l'effort mobilisé (Brehm & Self, 1989 ; Wright & Gendolla, 2011).

La théorie de l'intensité de la motivation, comparativement à celle de Hancock et al., a reçu de nombreuses validations expérimentales (Capa et al., 2008, Richter et al., 2008, Gendolla & Silvestrini, 2011). Il serait donc intéressant de confronter cette théorie à une étude contrôlée en laboratoire mettant en évidence les relations effort, performance. Nous avons fait le choix d'une tâche de détection et pointage de cible (Johnson & Hart, 1987 ; Brehmer & Dörner, 1993 ; Hancock & Caird, 1993 ; Hoffmann, 2013). A la manière d'un micromonde, reproduisant les variables essentielles d'une situation de travail, cette tâche permet d'étudier les compromis effort et performance. Dans le cadre de ma première étude nous testerons donc la relation entre charge mentale et effort mental est-elle curvilinéaire, linéaire ? Cette zone de compromis entre demande et ressources appelé « zone de confort » par Hancock peut-elle être démontrée ?

Pour valider le modèle de Hancock (1993) les participants devraient investir le plus d'effort et obtenir les meilleures performances dans un niveau de difficulté modéré (Hypothèse 1). Par contre si la difficulté de la tâche diminue (condition facile, très facile) ou augmente (condition difficile, très difficile) alors la mobilisation de l'effort devrait diminuer et les performances devraient se dégrader (Hypothèse 2). Pour valider le modèle de Brehm et Self (1989) il faudrait que si la tâche est perçue comme impossible par les participants (condition impossible), alors nous postulons que les participants se désengageront (Hypothèse 4). De plus lorsque la difficulté de la tâche augmente, alors l'individu mobilisera plus d'effort pour empêcher la dégradation de la performance jusqu'au niveau perçu comme impossible (Hypothèse 5).

Méthode

Tâche expérimentale

Nous avons utilisé une simulation fonctionnelle une pratique répandue en ergonomie, qui consiste à prendre une ou plusieurs caractéristiques du terrain afin de la tester en laboratoire (Brehmer & Dörner, 1993). Une tâche de pointage de cible sur ordinateur a été utilisée (Johnson & Hart, 1987). La tâche était découpée en quatre temps. Tout d'abord la préparation où il n'y a que le point de départ (sans affichage du pointeur) sur l'interface. Puis l'exécution, le pointeur et la cible apparaissent, le participant peut alors cliquer le plus rapidement et le plus précisément possible sur la cible. Le déplacement se fait uniquement sur le plan horizontal, le participant n'a qu'une seule chance pour cliquer sur la cible. Une fois que le participant a cliqué la cible disparaît, seul le point de départ reste. La dernière phase est la phase de retour avec un écran vide, qui permet au participant de ramener le joystick ergonomique à la butée avant de recommencer avec la phase de préparation (cf. Figure 3). Afin de déterminer différents niveaux de difficulté, nous avons utilisé la loi de Fitts (Fitts, 1954) notée ID en fonction de l'amplitude (A) et la taille de la cible (W) exprimés en pixel : $ID = \log_2(2A/W)$.

La cible décrite précédemment dans la tâche est une cible dynamique, qui s'éloigne avec le temps (Hoffmann, 2011) la taille de la cible (W) désigne donc la taille initiale de la cible. Suite à des prétests auprès de dix étudiants à l'université nous avons regardé l'Indice de Difficulté (ID) donné par le calcul de la loi de Fitts et l'Indice de Difficulté au moment de la capture de la cible (IDcap) (Hoffmann et al., 2013) dans le but d'avoir des niveaux de difficulté perçus, les plus représentatifs possibles. Nous avons choisi les indices de difficulté suivants : $ID = \{2, 3, 4, 5, 6\}$. Ils correspondent à cinq niveaux de difficulté (très facile, facile, difficile, très difficile, impossible). Le temps d'éloignement de la cible ce qui signifie le temps mis pour que

la cible soit deux fois plus petite sur le plan sagittal (TS) est de 200 ms. Deux amplitudes de 256, 192 pixels ont été choisies pour minimiser l'effet d'habituation (cf. Figure 4). Les deux amplitudes sont présentées de façon équitable et aléatoire dans chacune des conditions. L'expérience compte 10 conditions expérimentales.

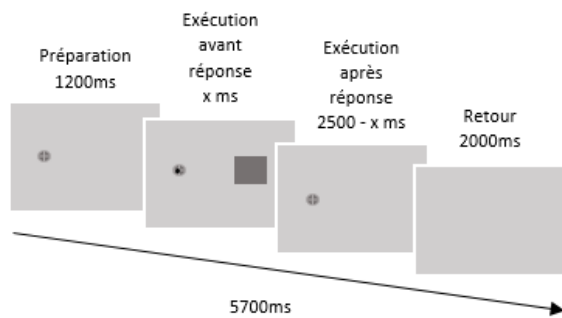


Figure 3. Déroulement temporel de la tâche de pointage

AMPLITUDE (A)	INDICE DE DIFFICULTE (ID)	TAILLE DE LA CIBLE (W)
256	2	128
	3	64
	4	32
	5	16
	6	8
	2	98
192	3	48
	4	24
	5	12
	6	6

Figure 4. La taille initiale de la cible en fonction de l'amplitude et de l'ID.

Participants

Cent étudiants volontaires âgés de 18 à 30 ans ont été recrutés à l'Institut National Universitaire Champollion. Les participants étaient assignés de façon randomisée à travers un des cinq niveaux de difficulté de la tâche. La répartition des hommes et des femmes était équilibrée à travers les différentes conditions expérimentales. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, aucun antécédent de troubles mentaux, cognitifs, cardiaques, neurologiques ou sous l'emprise de médicaments psychoactifs. Ils ont reçu toutes les informations concernant l'étude et ont signé un consentement éclairé.

Mesures comportementales

Comme Peter Hancock afin de mesurer la performance nous nous sommes intéressés au taux d'erreur, au temps de réaction, et temps de mouvement. Le temps de réaction reflète le temps entre le stimulus et l'initiation du mouvement. Le temps de mouvement, lui reflète le temps entre l'initiation du mouvement et la fin du mouvement.

Mesures physiologiques

Potentiel évoqué (ERP)

Pour mesurer cette adaptabilité mentale, la charge mentale, l'effort mental et en savoir davantage sur cette relation, l'étude des potentiels évoqués (ERP) nous a paru judicieux. Pour cela nous nous sommes basés sur l'étude de Kourtis et al., (2012) étant la seule étude alliant des potentiels évoqués (ERP) à une tâche de pointage déterminée par Fitts. Nous nous sommes

donc intéressés à l'onde P300 représentant les ressources allouées à une tâche, la fluctuation de la charge mentale de travail (Kramer, Trejo & Humphrey, 1996 ; Hansenne, 2000 ; Kourtiz et al., 2012 ; Causse et al., 2015) De plus l'onde N200 nous semblait complémentaire avec son évaluation du stimulus visuo-spatiale, sensible à la détection de cibles (Kourtiz et al., 2008 ; Praamstra, Kourtis & Nazarpour, 2009). Pour Mulder (1886), l'onde N200 serait en relation avec les processus d'éveil (arousal), l'onde de préparation motrice comme le potentiel de préparation motrice, avec le processus d'activation. Quant à elle l'onde P300 serait avec le processus de l'effort mental, la charge mentale de travail. Nous postulons que plus la charge mentale, l'effort mental augmente, plus l'onde N200 sera élevée. Alors que l'onde P300 représentant les ressources disponibles sera moins élevée. Pour cela nous avons utilisé BIOSEMI avec 32 électrodes raccordées à la totalité du volume cérébral selon le système international 10-20. En complément 6 électrodes externes ont été posé ; 2 électrodes de références (oreille gauche et droite) et 4 électrodes (EOG) œil gauche et droit pour pouvoir soustraire les artefacts créés par les mouvements oculaires. L'impédance des électrodes a été maintenue en dessous de 5k Ω . Les signaux ont été enregistrés avec un filtre de 0,1 Hz à 100 Hz. La fréquence d'échantillonnage était de 1024 Hz.

Réactivité cardiovasculaire

Nous nous focaliserons sur la réactivité cardiovasculaire, plus précisément sur la période de pré-éjection correspondant à l'intervalle de temps en millisecondes entre la contraction du ventricule gauche et l'ouverture de la valve aortique (Berntson et al., 2004 ; Richter et al., 2008). Des études pharmacologiques ont mis en évidence que cette période est un indice pur du fonctionnement du système nerveux sympathique (Sherwood et al., 1990). Ce système a pour fonction de mobiliser les ressources énergétiques nécessaires à l'organisme pour faire face à une situation. De plus, une relation linéaire entre la période de pré-éjection et la difficulté subjective a été mise en évidence (Richter et al., 2008). En accord avec la relation linéaire entre la difficulté perçue et la mobilisation de l'effort postulée par la théorie de l'intensité de la motivation, cela suggère que la période de pré-éjection constitue un excellent indice de la mobilisation de l'effort. D'autres indices physiologiques (réponse électrodermale à l'activité électromyographique des muscles péris-crâniens) et cardiovasculaires ont été utilisés dans la littérature (variation spectrale, fréquence cardiaque, pression systolique). Cependant la mesure de la période de pré-éjection est apparue récemment comme la mesure la plus fiable, la plus valide et la plus précise de l'activité du système nerveux sympathique et de la mobilisation de l'effort (Richter et al., 2008 ; Wright & Gendolla, 2011). Nous postulons que plus la charge

mentale, l'effort mental augmente plus la période de pré-éjection sera courte. Pour cela nous avons utilisé BIOPAC MP160 qui a échantillonné des signaux d'électrocardiogramme (ECG) et d'impédance thoracique (cardiogramme d'impédance, ICG) avec deux paires d'électrodes ponctuelles jetables. Les électrodes ECG (EL503) ont été placées sur l'épaule droite et gauche et jusqu'à l'extrémité des côtes (LEAD II). Les électrodes ICG (EL500) ont été placées sur les côtés droit et gauche de la base du cou du participant et sur la ligne axillaire moyenne gauche et droite à la hauteur du xiphoïde. La fréquence d'échantillonnage était de 2000 Hz sur AcqKnowledge 5.0.

Mesures subjectives

La charge mentale perçue a été évaluée à l'aide du NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988 ; Cegarra & Morgado, 2009). Le NASA-TLX fournit une estimation moyenne de la charge perçue pour chacune des six dimensions qui sont : la demande physique, temporelle, la performance, effort et frustration, sur une échelle de 1 (faible) à 10 (élevée). Afin d'enrichir davantage notre évaluation subjective, nous avons fait référence à une échelle de Eccles et Wigfield (1995) pour rajouter des éléments. Nous avons formulé 4 éléments tel que « Quelle est la difficulté de cette tâche pour vous ? » chaque élément a été évalué avec une échelle de Likert de 1(très facile) à 5 (impossible) (Capa et al., 2008). Nous postulons que plus la charge mentale augmente plus le score aussi bien du NASA-TLX que pour les quatre éléments supplémentaires sera élevé.

Procédure

Le participant a tout d'abord signé la fiche de consentement suite à une prise d'informations données par l'expérimentatrice. Ensuite, il a répondu à quelques questions biographiques (âge, taille, poids, antécédents cardiaques, mentaux, consommation de psychoactif etc). Il a indiqué son état émotionnel sur l'instant à travers 2 items positifs (heureux, joyeux) et 2 items négatifs (triste, déprimé) (Matthews et al., 1990) et 2 items en rapport à la colère (énervé, irrité) (Freydefont & Gendolla, 2012) sur une échelle de 1 à 7 (1 = pas du tout ; 7 = vraiment beaucoup). Puis l'ECG et l'ICG étaient installés par le participant grâce aux indications de l'expérimentatrice et un support visuel (schéma), le signal était vérifié et validé avec AcqKnowledge 5.0. L'expérimentatrice pose les électrodes EEG et les électrodes externes, le signal était vérifié et validé avec Actiview 706. Le participant effectuait une phase de repos pendant 8 minutes avec un feu de cheminé présenté sur l'écran d'ordinateur. L'enregistrement ECG, ICG étaient lancé et la pression systolique (SBP) et diastolique (DBP) étaient mesurées avec un appareil d'enregistrement de pression sanguine (Omron MIT ELITE) toutes les

minutes. La phase d'entraînement se composait de 20 essais, aucune mesure physiologique n'était enregistrée. La tâche de 150 essais commence avec l'enregistrement EEG et ECG, ICG, des pauses sont faites afin de mesurer la SBP, DBP à l'aide du brassard. A la fin des 150 essais l'interface laisse place à quelques questions faisant référence aux mesures subjectives.

Références

- Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie française*, 46(2), 107-118.
- Berntson, G.G., Lozano, D.L., Chen, Y.J., Cacioppo, J.T., (2004). Where to Q in PEP. *Psychophysiology*, 41, 333-337,
- Brehmer, B., & Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: Escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior*, 9(2), 171-184.
- Brehm, J.W., Self, E.A., (1989). The intensity of motivation. *Annual Review of Psychology*, 40, 109-131
- Capa, R. L., Audiffren, M., & Ragot, S. (2008). The effects of achievement motivation, task difficulty, and goal difficulty on physiological, behavioral, and subjective effort. *Psychophysiology*, 45(5), 859-868.
- Causse, M., Fabre, E., Giraudet, L., Gonzalez, M., & Peysakhovich, V. (2015). EEG/ERP as a measure of mental workload in a simple piloting task. *Procedia Manufacturing*, 3, 5230-5236.
- Cegarra, J., & Morgado, N. (2009). Étude des propriétés de la version francophone du NASATLX. In *Communication présentée à la cinquième édition du colloque de psychologie ergonomique* (Epique).
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (1995). In the mind of the actor: The structure of adolescents' achievement task values and expectancy-related beliefs. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21, 215-225.
- Fitts, P. M. (1954). "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement." *Journal of Experimental Psychology*, 67 (6): 381-391.
- Freydefont, L., Gendolla, G.H.E., Silvestrini, N., (2012). Beyond valence: the differential effect of masked anger and sadness stimuli on effort-related cardiac response. *Psychophysiology*, 49, 665-671.
- Gendolla, G.H.E., Silvestrini, N., (2011). Smiles make it easier and so do frowns: masked affective stimuli influence mental effort. *Emotion* 11, 320-328.
- Gendolla, G. H., Wright, R. A., & Richter, M. (2012). Effort intensity: Some insights from the cardiovascular system. *The Oxford handbook of human motivation*, 420-438.
- Hansenne, M. (2000). Le potentiel évoqué cognitif P300 (I): aspects théorique et psychobiologique. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 30(4), 191-210.
- Hancock, P. A., & Caird, J. K. (1993). Experimental evaluation of a model of mental workload. *Human factors*, 35(3), 413-429.

- Hancock, P. A., & Chignell, M. H. (1989). *Intelligent interfaces: Theory, research, and design*. Elsevier Science Inc.
- Hancock, P. A., & Szalma, J. L. (2008). Stress and performance. *Performance under stress*, 1-18.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, 139-183.
- Hoffmann, E. R. (2011). Capture of Shrinking Targets. *Ergonomics* 54 (6): 519–530.
- Hoffmann, E. R., Chan, A. H., & Dizmen, C. (2013). Capture of shrinking targets with realistic shrink patterns. *Ergonomics*, 56(11), 1766-1776.
- Johnson, W. W., & Hart, S. G. (1987, September). Step tracking shrinking targets. In *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting* (Vol. 31, No. 2, pp. 248-252). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kourtis, D., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2012). EEG correlates of Fitts's law during preparation for action. *Psychological research*, 76(4), 514-524.
- Kramer, A. F., Trejo, L. J., & Humphrey, D. G. (1996). Psychophysiological measures of workload: Potential applications to adaptively automated systems. In *Automation and human performance: Theory and applications*, (pp. 137-162). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Matthews, G., Jones, D.M., Chamberlain, A.G., (1990). Refining the measurement of mood: the U-WIST mood adjective checklist. *British Journal of Psychology*, 81, 17–42
- Moray, N. (Ed.). (2013). *Mental workload: Its theory and measurement* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Mulder, G. (1986). The concept and measurement of mental effort. In *Energetics and human information processing* (pp. 175-198). Springer Netherlands.
- Praamstra, P., Kourtis, D., & Nazarpour, K. (2009). Simultaneous preparation of multiple potential movements: Opposing effects of spatial proximity by premotor and parietal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 102(4), 2084–2095.
- Richter, M., Friedrich, A., & Gendolla, G. H. (2008). Task difficulty effects on cardiac activity. *Psychophysiology*, 45(5), 869-875.
- Rodríguez, S., Sánchez, L., López, P., & Cañas, J. J. (2015, September). Pupillometry to assess Air Traffic Controller workload through the Mental Workload Model. In *Proceedings of the 5th International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems* (pp. 95-104). ACM.
- Sherwood, A., Dolan, C.A., Light, K.C., 1990. Hemodynamics of blood pressure responses during active and passive coping. *Psychophysiology*, 27, 656–668.
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1), 1-17.