



HAL
open science

Etudes des capacités perceptives dans le contrôle d'événements dynamiques synchronisés avec la fréquence cardiaque

Frédéric Vanderhaegen, Corentin Ascone

► **To cite this version:**

Frédéric Vanderhaegen, Corentin Ascone. Etudes des capacités perceptives dans le contrôle d'événements dynamiques synchronisés avec la fréquence cardiaque. ERGO'IA 2023, Oct 2023, Bidart, France. hal-04405072

HAL Id: hal-04405072

<https://hal.science/hal-04405072>

Submitted on 19 Jan 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.

Etudes des capacités perceptives dans le contrôle d'événements dynamiques synchronisés avec la fréquence cardiaque¹

Perception d'événements synchronisés avec la fréquence cardiaque

Relations entre capacités perceptives et attention dans un cadre mono-tâche ou multitâche

Frédéric Vanderhaegen

Université Polytechnique Hauts-de-France, LAMIH UMR CNRS 8201 – Le Mont Houy – 59313 Valenciennes & INSA Hauts-de-France – Le Mont Houy – 59313 Valenciennes, frederic.vanderhaegen@uphf.fr

Corentin Ascone

Université Polytechnique Hauts-de-France, LAMIH UMR CNRS 8201 – Le Mont Houy – 59313 Valenciennes, corentin.ascone@uphf.fr

Ce poster résume le contenu de l'article long présenté à ERGO-IA 2023 intitulé « Humain connecté pour l'étude de l'attention à partir d'interfaces cœur-ordinateur ». Il se base sur des études antérieures sur les relations entre les ressources attentionnelles et la synchronie d'événements dynamiques avec la fréquence cardiaque. Il présente deux interfaces cœur-ordinateur et exploite en temps réel une mesure de la fréquence cardiaque des utilisateurs. Le premier environnement numérique est une simulation de conduite de train pour l'étude de l'attention distribuée et le second est un exercice de comptage pour analyser l'attention focalisée. Les résultats d'expérimentations avec ces outils montrent l'impact de la synchronisation d'événements avec la fréquence cardiaque. Les temps de réponse augmentent lorsque la fréquence d'occurrence de clignotement ou de bip d'alarmes est synchronisée avec la fréquence cardiaque. La perception de stimuli imprévus comme l'affichage d'images est moindre lorsque la fréquence d'occurrence d'événements à comptabiliser est synchronisée avec la fréquence cardiaque. Des voies de recherche sur cette synchronie peuvent alors être envisagées pour la conception et l'évaluation de futurs systèmes sociotechniques basées sur la connexion de l'humain avec les systèmes réels ou virtuels.

This poster summarizes the content of the article presented at ERGO-IA 2023 entitled "Connected human for the study of attention from heart-computer interfaces". It is based on previous studies about impact on the attentional resources of the synchrony between dynamic events and heart rate. It presents two heart-computer interfaces that consider in real time a measurement of the heart rate of their users. The first numerical environment is a train driving simulation for the study of distributed attention and the second is a counting exercise to analyze focused attention. The results of experimental campaigns carried out with these tools have demonstrated the impact of synchronizing events with heart rate. Response times increase when the frequency of occurrence of flashing or beeping alarms is synchronized with heart rate. The perception ability of unexpected stimuli such as the display of images is reduced when the frequency of

¹ Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author.
ERGO'IA 2023, October 10--13, 2023, Bidart, France.
ISBN: 979-8-4007-0910-4

occurrence of events to be counted is synchronized with the heart rate. Research works concerning this synchrony can then be applied for the design and evaluation of future socio-technical systems based on the connection of humans with real or virtual systems.

CCS CONCEPTS • Interaction design • User characteristics • Human computer interaction

Additional Keywords and Phrases: Interface cœur-ordinateur, attention humaine, conscience de la situation, humain connecté

1 INTRODUCTION

Le concept de l'humain connecté est basé sur deux voies de recherche [1]: 1) les liens avec les principes sur l'inclusion humain-systèmes pour positionner l'humain dans de nouveaux environnements de travail quel que soit son niveau cognitif, social ou économique [2-3] et 2) les instrumentations pour superviser les comportements humains dans ces environnements. L'étude de ces comportements peut être effectuée avec des méthodes prospectives ou rétrospectives spécifiques d'analyse de la fiabilité humaine [4-7], mais aussi par la captation temps-réel de mesures sur l'humain [8, 9]. Celles-ci permettent d'évaluer par exemple les capacités de perception, d'évaluation ou d'anticipation de situations dynamiques. Ces capacités caractérisent la conscience de situations [10-14] pour laquelle environ 70% des erreurs sont dues à des défaillances perceptives [15-16]. Cette dégradation peut être liée à différents facteurs tels que la charge de travail, le stress, l'attention ou la vigilance.

Ce poster se base sur plusieurs études antérieures concernant les erreurs de perception. Plus particulièrement c'est la suite des recherches menées dans des environnements de contrôle centralisé ou distribué dans lesquels les erreurs de perception augmentent lorsque des alarmes visuelles ou sonores clignotent ou bipent de manière synchronisée avec la fréquence cardiaque des utilisateurs [1, 17-20].

Les sections 2 et 3 proposent deux nouvelles études sur l'impact de cette synchronie entre événements dynamiques et fréquences cardiaques, celles-ci étant mesurées en temps réel à partir d'une montre connectée Garmin Forerunner 235 ou Apple Watch. Elles proposent deux configurations distinctes d'interfaces cœur-ordinateur et les résultats obtenus à l'issue de campagnes expérimentales. La première porte sur l'attention distribuée entre plusieurs tâches dans une simulation de conduite de train pour vérifier la reproductibilité des résultats obtenus dans [1, 17-20]. La seconde est un exercice de comptage. Elle s'intéresse à l'effet de cette synchronie lorsque l'attention est focalisée sur une même tâche et à l'étude de la capacité des sujets à détecter un événement imprévu comme l'apparition d'un gorille dans une tâche de comptage de passes entre membres d'une même équipe de basket [21].

2 INTERFACE CŒUR-ORDINATEUR POUR L'ETUDE DE L'ATTENTION DISTRIBUEE

La première interface cœur-ordinateur est une adaptation de l'interface de conduite ferroviaire développée dans la plateforme MissRail® [22]. Cinq tâches de conduite d'un train ont été implémentées [23] : la gestion des portes aux arrêts en gare, la gestion de la vitesse du train, la gestion des phares, la gestion de la température et la gestion de validation de la présence humaine en cabine (simulant le système de veille automatique pour confirmer la présence consciente du conducteur). La modalité de réaction aux alarmes visuelles se limite au clic avec la souris sur des zones prédéfinies de l'interface.

La zone à partir de laquelle le conducteur doit réagir pour exécuter une tâche clignote de manière synchronisée ou non avec les battements du cœur de celui-ci. Deux configurations ont été réalisées. Dans la première, le conducteur ne doit

gérer que deux tâches, i.e., gestion de la vitesse du train et de la présence du conducteur, dans la seconde il en gère quatre, i.e., toutes les tâches sauf la gestion des portes car le scénario de conduite n'intègre pas d'arrêt en station. La Figure 1 donne le cumul des temps de réponse pour deux groupes de sujets différents : 1) un groupe pour lequel les alarmes visuelles appelant à réaliser telle ou telle tâche clignotent de manière synchronisée avec les battements de cœur du conducteur (i.e. mode synchrone), et 2) un groupe pour lequel leur clignotement est basé sur la fréquence du conducteur multipliée par 5 (i.e., mode asynchrone). Les résultats d'une campagne expérimentale impliquant 15 participants distincts dans les deux modes montrent que le mode synchrone présente des temps de réaction aux alarmes plus long que le mode asynchrone [24]. En effet, dans la première configuration avec deux tâches à réaliser, le temps de réponse moyen en mode synchrone est de 32 secondes et de 26,73 secondes en mode asynchrone. Dans la seconde configuration avec quatre tâches à exécuter, il est de 77,87 secondes en mode synchrone contre 54 secondes en mode asynchrone.

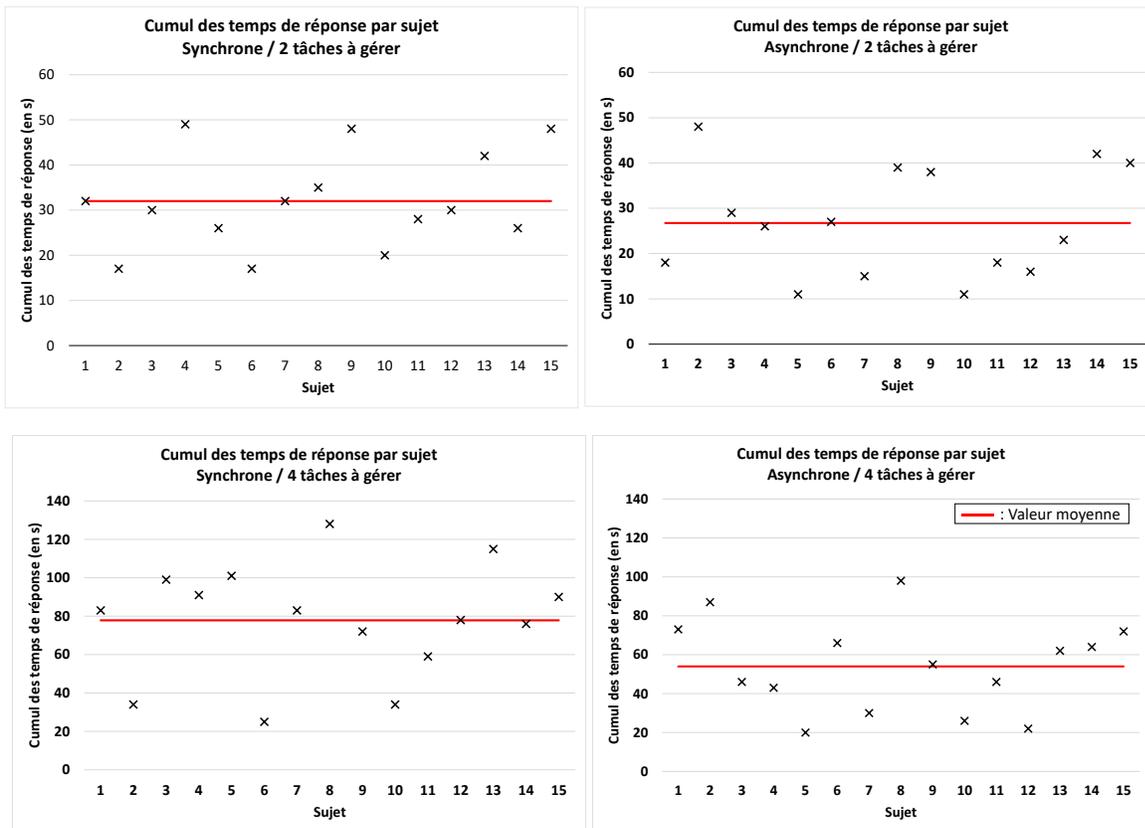


Figure 1. Résultats en modes synchrone et asynchrone, d'après [24]

3 INTERFACE CŒUR-ORDINATEUR POUR L'ETUDE DE L'ATTENTION FOCALISEE

Dans la seconde configuration d'interface cœur-ordinateur, il s'agit de comptabiliser le nombre de pics de température dépassant les 20 degrés d'un système de climatisation défaillant [23]. Cette tâche s'effectue sur 45 secondes. Au cours de cette période, après 20 secondes, une image s'affiche pendant 5 secondes. Avant d'afficher l'image suivante, 5 secondes

s'écoulent. Durant la durée de l'expérimentation, trois images différentes apparaissent en bas de l'écran de visualisation des pics de température, Figure 2. La première image s'affiche en continu. La deuxième image (i.e., image 2) clignote de manière synchronisée ou non avec la fréquence cardiaque du sujet. La troisième (i.e., image 3) clignote et bipe en se synchronisant ou non avec les battements du cœur du participant. Deux groupes de sujets sont testés: un groupe pour lequel les pics et l'affichage des deuxième et troisième images sont synchronisés avec la fréquence cardiaque du participant (i.e., mode synchrone), et un groupe pour lequel les pics et l'affichage des images sont calés avec une fréquence différente de la fréquence cardiaque de l'ensemble des participants, i.e. une fréquence de 100 battements par minute.



Figure 2. Affichage des images.

Les résultats obtenus lors d'une campagne expérimentale impliquant 10 sujets dans chaque mode sont présentés dans la Table 1 en termes de comptage de pics de température et de non-détection des images.

Pics de température – Mode synchrone			Pics de température – Mode asynchrone		
	Erreur de comptage de pics	Nombre d'images non-perçues		Erreur de comptage de pics	Nombre d'images non-perçues
Sujet 1	0	2	Sujet 11	0	0
Sujet 2	0	3	Sujet 12	11	0
Sujet 3	0	3	Sujet 13	0	2
Sujet 4	2	2	Sujet 14	0	3
Sujet 5	9	2	Sujet 15	1	3
Sujet 6	0	0	Sujet 16	15	0
Sujet 7	0	3	Sujet 17	23	0
Sujet 8	0	3	Sujet 18	0	3
Sujet 9	0	3	Sujet 19	20	0
Sujet 10	2	3	Sujet 20	19	2

Table 1. Résultats pour les participants en modes synchrone et asynchrone

D'un point qualitatif, les participants en mode synchrone sont plus performants pour comptabiliser correctement le nombre de pics mais avec des capacités perceptives moindres pour détecter les images que les participants en mode asynchrone. Le test non-paramétrique U de Mann-Whitney effectué en-ligne le site de Statistics Kingdom a été utilisé pour vérifier ces tendances à partir d'un test unilatéral avec deux échantillons indépendants relatifs aux erreurs de comptage et de non-perception des images. Il permet de confirmer que les erreurs de comptage des pics sont significativement moindres en mode synchrone qu'en mode asynchrone ($U=29$, $p\text{-value}= 0.04107$) mais qu'inversement les erreurs de détection des images sont significativement plus élevées en mode synchrone qu'en mode asynchrone ($U= 71.5$, $p\text{-value}= 0.04424$).

4 CONCLUSION

L'humain sera de plus en plus connecté à des outils de suivi de son état de santé ou de son état cognitif lors de la réalisation de tâches. Cet article en est un exemple et s'intéresse à la fiabilité humaine à partir de la synchronie d'occurrence d'événements dynamiques avec la fréquence cardiaque. Celle-ci est surtout utilisée pour mesurer le stress ou la charge de travail mais peut aussi être un indicateur pertinent sur les capacités perceptives humaines lorsqu'il existe une corrélation entre la fréquence d'occurrence de stimuli avec les battements du cœur. A partir d'études existantes [1, 17-20], deux expérimentations sont présentées. La première concerne la conduite de train et implique la réalisation de deux ou quatre tâches en cabine simulée. La seconde consiste à comptabiliser des pics de température et à détecter des images imprévues. Dans les deux protocoles expérimentaux, la fréquence d'occurrence d'événements tels que les alarmes invitant les utilisateurs à réaliser une tâche ou les pics de température à comptabiliser sont ou non calés avec la fréquence cardiaque des participants. Dans le mode synchrone pour lequel le clignotement d'alarmes visuelles est synchronisé avec les battements du cœur, lorsque l'attention est distribuée entre plusieurs tâches, les temps de réponse sont plus longs que dans le mode asynchrone pour lequel il ne l'est pas. De même, dans un contexte d'attention focalisée sur le calcul de pics de température, les erreurs de comptage sont significativement plus importantes et la perception d'images imprévues meilleure en mode asynchrone qu'en mode synchrone, l'occurrence des pics étant synchronisée avec la fréquence cardiaque en mode synchrone. Ces résultats sont encourageants et seront confortés avec de nouvelles applications et expérimentations sur des interfaces cœur-ordinateur pour l'étude de l'impact de la synchronie entre événements dynamiques et battements cardiaques dans des systèmes sociotechniques inclusifs, i.e. capables de s'adapter en temps réel aux caractéristiques de chacun quel que soit le contexte opérationnel, économique, cognitif ou social dans le cadre de partages de tâches entre humains et systèmes techniques tels que ceux décrits dans [25-26].

REFERENCES

- [1] Frédéric Vanderhaegen, Marion Wolff, Régis Mollard, 2023. A heartbeat-based study of attention in the detection of digital alarms from focused and distributed supervisory control systems. *Cognition Technology & Work*, 25, 119–134
- [2] Frédéric Vanderhaegen, 2019. Pedagogical learning supports based on human–systems inclusion applied to rail flow control. *Cognition Technology & Work*, 23, 193–202
- [3] Frédéric Vanderhaegen, Julien Nelson, Marion Wolff, Régis Mollard, 2021. From Human-Systems Integration to Human-Systems Inclusion for Use-Centred Inclusive Manufacturing Control Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 249-254
- [4] Frédéric Vanderhaegen, 1999. APRECIH: a human unreliability analysis method – application to railway system. *Control Engineering Practices*, 7(11), 1395-1403
- [5] Frédéric Vanderhaegen, 2001. A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method – application to railway system. *Reliability Engineering and System Safety*, 71, 1-13
- [6] Frédéric Vanderhaegen, 2010. Human-error-based design of barriers and analysis of their uses. *Cognition Technology & Work*, 12, 133-142
- [7] Edouard M. Hickling, Jane E. Bowie, 2013. Applicability of human reliability assessment methods to human–computer interfaces. *Cognition Technology & Work*, 15(1), 19–27
- [8] Frédéric Vanderhaegen, Victor Jimenez, 2018. The amazing human factors and their dissonances for autonomous Cyber-Physical&Human Systems. First IEEE Conference on Industrial Cyber-Physical Systems, Saint-Petersbourg, Russia, 14-18 May, 2018, pp. 597-602
- [9] Norbert Fürstenau, Thea Radüntz, 2022. Power law model for subjective mental workload and validation through air traffic control human-in-the-loop simulation. *Cognition Technology & Work*, 24, 291–315
- [10] Joost C. F. De Winter, Yke B. Eisma, Christopher D. D. Cabrall, Peter A. Hancock, Neville A. Stanton, 2019. Situation awareness based on eye movements in relation to the task environment. *Cognition Technology & Work*, 21, 99–111
- [11] Mica R. Endsley, 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64
- [12] Sidney Dekker, Erik Hollnagel, 2004. Human factors and folk models. *Cognition Technology & Work*, 6, 79–86
- [13] Oliver Carsten and Frédéric Vanderhaegen. 2015. Situation awareness: Valid or fallacious? *Cognition Technology & Work*, 17(2), 157–158
- [14] Sidney W. A. (Dekker), 2017. The danger of losing situation awareness. *Cognition Technology & Work*, 17(2), 159–161
- [15] Debra G. Jones, Mica R. Endsley, 1996. Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 67(6), 507-512

- [16] Anne Sneddon, Kathryn Mearns, Rhona Flin 2013. Stress, fatigue, situation awareness and safety in offshore drilling crews. *Safety Science*, 56, 88-88
- [17] Frédéric Vanderhaegen, Marion Wolff, Régis Mollard, 2023. Repeatable effects of synchronizing perceptual tasks with heartbeat on perception-driven situation awareness. *Cognitive Systems Research*, 81, 80-92.
- [18] Frédéric Vanderhaegen, Marion Wolff, Régis Mollard, 2020. Non-conscious errors in the control of dynamic events synchronized with heartbeats: A new challenge for human reliability study. *Safety Science*, 129, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104814>
- [19] Frédéric Vanderhaegen, Marion Wolff, Sébastien Ibarboure, Régis Mollard, 2019. Heart-Computer Synchronization Interface to control human-machine symbiosis: a new human availability support for cooperative systems. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 91-96
- [20] Marion Wolff, Frédéric Vanderhaegen, Marion Brethault, Hélène Brisson, Régis Mollard, 2018. Vers une possible contribution à la compréhension de "l'effet tunnel" : une étude exploratoire. *Proceedings of the Ergo'IA 2018 conference*, NY : ACM, Bidart-Biarritz, France, october
- [21] Daniel J. Simons, Christopher F. Chabris, 1999. Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28, 1059-1074
- [22] Frédéric Vanderhaegen, Philippe Richard, 2014. MissRail: a platform dedicated to training and research in railway systems. *Proceedings of the international conference HCII*, 22 - 27 June 2014, Creta Maris, Heraklion, Crete, Greece, pp. 544-549
- [23] Cyprien Defrance, Mathieu Deparpe, Maxime Pamelard, Luo SongZhang, Thibault Toilliez, Henan Zhang, 2021. Réseau de plateformes de simulation, de contrôle et de supervision. Rapport de projet de fin d'étude. Master 1^{ère} année Transport Mobilités Réseaux.
- [24] Cyprien Defrance, Alex Tanghe, 2023. Commande vocale et gestuelle en conduite de systèmes. Rapport de projet de fin d'étude. Master 2^e année Transport Mobilités Réseaux.
- [25] Frédéric Vanderhaegen, 2021. Weak Signal-Oriented Investigation of Ethical Dissonance Applied to Unsuccessful Mobility Experiences Linked to Human-Machine Interactions. *Science & Engineering Ethics*, 27, 2
- [26] Frédéric Vanderhaegen, 2021. Heuristic-based method for conflict discovery of shared control between humans and autonomous systems - A driving automation case study. *Robotics and Autonomous Systems*, 146, 103867