
Evaluation des charges intrinsèque, extrinsèque et pertinente dans une tâche de navigation WEB

Nicolas DEBUE

CrPsyTC - Université libre de Bruxelles
Av. F.D. Roosevelt, 50 – CP 122
1050 Bruxelles, Belgique
nicolas.debue@ulb.ac.be

Cécile van de LEEMPUT

CrPsyTC - Université libre de Bruxelles
cecile.van.de.leemput@ulb.ac.be

RÉSUMÉ

Cette étude s'intéresse à l'utilisation des ressources cognitives dans des tâches de navigation au sein d'un site internet. La recherche vise à observer si le cadre de la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988) permet de rendre compte de l'utilisation des ressources cognitives dans un tel contexte. L'étude a été menée en laboratoire d'utilisabilité auprès de 46 sujets à qui il était demandé de rechercher des informations, au sein d'un site internet dont l'interface était manipulée afin d'augmenter la charge extrinsèque. Les charges ont été mesurées de manière différenciée par l'administration d'une échelle subjective ainsi que globalement, par les temps de réaction (TR) à une double tâche. Les résultats démontrent qu'il est possible de mesurer correctement la charge intrinsèque et extrinsèque dans un tel contexte mais pas la charge pertinente. La pertinence de ce type de mesures est ensuite discutée.

MOTS-CLÉS

Navigation, site web, charge intrinsèque, charge pertinente, charge extrinsèque.

1 INTRODUCTION

1.1. La théorie de la charge cognitive

Depuis des décennies, la communauté scientifique s'intéresse à la problématique de la charge de travail mental en produisant un nombre croissant de théories et de modèles. Sweller (1988 ; 1999) a proposé la théorie de la charge cognitive (TCC) afin de rendre compte de l'utilisation des ressources cognitives impliquées dans une tâche d'apprentissage. Globalement, la TCC postule que le traitement et la mémorisation de l'information reposent sur deux systèmes interdépendants, la mémoire de travail (MDT) qui permet d'opérer des traitements sur l'information et la mémoire à long terme (MLT) qui permet le stockage de celle-ci. La MDT permet également de rappeler les informations stockées en MLT sous forme de schémas (regroupement). La quantité d'information pouvant être traitée en MDT est limitée et le traitement d'information nécessite une certaine part des ressources cognitives disponibles. La TCC propose de distinguer trois types de charges cognitives (Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007 ; Paas & van Merriënboer, 1994) pour rendre compte de l'utilisation de ces ressources.

La charge *intrinsèque* qui est directement liée à la tâche à effectuer et qui est déterminée par la quantité d'éléments à traiter ainsi que par leur degré d'interactivité. Pour une tâche donnée, elle est donc fixe mais peut varier en fonction du niveau de connaissance de l'individu. La charge *extrinsèque* renvoie aux ressources allouées à tout ce qui ne concourt pas directement à l'activité d'apprentissage, c'est-à-dire principalement à la manière dont sera présentée l'information. Elle doit être réduite pour permettre de libérer des ressources utiles en MDT. Enfin, dans la définition originale de la TCC, la charge *pertinente* (ou utile) se réfère à la charge qui est induite par l'acquisition et l'automatisation des schémas en MLT. Cette définition fait aujourd'hui l'objet de nombreux débats dans la littérature. Certains auteurs considèrent qu'elle peut s'apparenter à la concentration nécessaire (Cierniak, Scheiter & Gerjets, 2009) alors que d'autres soutiennent qu'elle représenterait plutôt l'ensemble des traitements cognitifs supplémentaires qui ne contribuent pas directement à la performance à une tâche (Schnotz & Kürschner, 2007). Dans tous les cas, la charge pertinente est donc le reflet de processus supplémentaires qui ne peuvent être mis en œuvre que si les ressources disponibles en MDT sont suffisantes.

1.2. Méthodes de mesure de la charge cognitive

On distingue trois types de méthodes pour aborder les mesures de ces charges cognitives (Brunken, Plass, & Leutner, 2003 ; Chanquoy, *et al.*, 2007 ; Galy, Cariou, & Mélan, 2012 ; Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003). Les mesures physiologiques renvoient à l'évaluation de la charge cognitive en observant la modification d'un paramètre physiologique censé refléter l'accroissement ou la diminution de la charge. Des paramètres comme la variabilité du rythme cardiaque (*e.g.* Backs, 1995), la modification de l'activité cérébrale (*e.g.* Whelan, 2007) ou encore la dilatation de la pupille (Chen & Epps, 2012) ont ainsi été reliés aux variations des charges cognitives. La seconde catégorie se rapporte à l'évaluation de la charge cognitive via la mesure de performance à la tâche, ou au moyen de la performance à une tâche secondaire dans des situations de double tâche. La performance à la tâche secondaire (répondre à un stimulus auditif par exemple) permet de déduire quelle part des ressources cognitives est dévolue à la tâche principale.

Les échelles subjectives permettent également d'aborder la mesure de la charge cognitive en se basant sur le postulat qu'un individu est capable de déterminer précisément quel est le niveau d'effort mental que requiert une activité. Il existe deux types d'échelles, les échelles unidimensionnelles mesurant la charge globale tel que le *Subjective Cognitive Load Measurement* (Paas & Van Merriënboer, 1994 ; Paas, 1992) et les échelles multidimensionnelles tel que le *NASA Task Load index* (Hart & Staveland, 1988). Le NASA-TLX évalue initialement six dimensions (performance, effort mental, frustration, demande de la tâche, demande physique, demande temporelle) mais certains auteurs en ont proposé une adaptation visant à mesurer les niveaux de charges cognitives dans un contexte d'utilisation d'environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH) au moyen de trois dimensions : demande de la tâche, effort et demande liée à la navigation (Cierniak, Scheiter, & Gerjets, 2009; Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2004; Scheiter, Gerjets, & Catrambone, 2006). Pour ces auteurs, chacune des dimensions permettrait d'évaluer un type particulier de charge. La demande de la tâche serait liée à la charge intrinsèque, la demande liée à la navigation à la charge extrinsèque, et l'effort à la charge pertinente.

Ces études soutiennent qu'il est possible d'approcher une mesure différenciée des charges cognitives au moyen de ces échelles, mais elles restent néanmoins cantonnées au domaine des EIAH et non des

interactions hommes-ordinateurs (IHO) en général. Or, comme le montrent Hollender, Hofmann, Deneke et Schmitz (2010), la TCC offre également un cadre pertinent pour l'étude des IHO. En proposant un modèle holistique de l'utilisation des ressources cognitives en contexte d'EIAH, Amadiou et Tricot (2006) distinguent ainsi l'utilisation d'un système d'information (ou d'un hypermédia) comme une source de charge cognitive qui est directement dépendante des caractéristiques du système. Ils mettent ainsi en évidence le fait qu'il est possible et souhaitable d'appliquer le cadre de la TCC à la compréhension du coût cognitif induit par l'utilisation des systèmes d'information.

1.3. Objectifs de l'étude et hypothèses

Notre étude s'intéresse directement aux ressources mentales mobilisées dans des tâches de navigation au sein d'hypermédia et vise à observer si la vision différenciée des charges cognitives proposées par la TCC permet de rendre compte de l'utilisation des ressources cognitives dans un tel contexte. En nous basant sur le modèle « EST » (Évaluation, Sélection, Traitement) de Rouet et Tricot (1998), nous proposons de concevoir la navigation dans un hypermédia comme une tâche de recherche d'informations. Pour ces auteurs, une tâche de recherche d'informations est un processus en trois phases : une phase de sélection de l'information, une phase d'évaluation de cette information par rapport à la représentation du but de la recherche et une phase de traitement de cette information. La difficulté principale de la phase d'évaluation consistant à maintenir intact le but de la recherche en MDT ainsi que la stratégie de sélection utilisée, tout en évaluant si la représentation du contenu ciblé permet l'atteinte (partielle) du but ou des sous-buts.

Comme l'indique Sweller (2010), la catégorisation du type de charge dépend de la définition qui est donnée à la tâche. Dans un contexte d'EIAH, la localisation de l'information dans l'hypermédia pourrait apparaître comme une charge extrinsèque, dans le sens où la tâche sera centrée sur l'apprentissage proprement dit. À l'inverse, cette même activité de localisation d'information pourrait donner lieu à une charge intrinsèque si l'on considère que la recherche d'informations est la tâche qui doit être réalisée. Dans cette perspective, et en nous appuyant sur le modèle « EST », nous proposons d'identifier les charges dans une tâche de navigation au sein d'un site internet de la manière suivante. L'identification et la décomposition du but, le maintien de la stratégie de recherche et de la représentation du contenu constitueraient la charge intrinsèquement liée à la tâche de recherche d'informations. Le traitement de l'interface (menus, onglets, etc.) et la navigation représenterait la charge extrinsèque alors que la compréhension du contenu cible et la formation d'une représentation de ce contenu en MDT induiraient une charge pertinente.

Chanquoy, Tricot et Sweller (2007) ont montré que la charge intrinsèque liée à une tâche dépendait des connaissances antérieures qu'un individu a stockées en MLT sous forme de schémas. Un individu expert de la recherche d'informations sur le web aura créé, stocké et automatisé des schémas d'information concernant les stratégies à utiliser dans de telles situations. Le maintien et l'activation de ces stratégies seront d'autant moins coûteux que l'expertise de l'utilisateur sera conséquente. En contrôlant le niveau des connaissances antérieures et en confrontant les sujets aux mêmes tâches de recherche d'informations, nous faisons l'hypothèse que la charge intrinsèque devrait rester constante quel que soit le niveau de la charge extrinsèque.

Sous réserve que la tâche induise une charge intrinsèque conséquente (cf. effet d'interactivité des éléments) et en partant du postulat que la capacité de la MDT est limitée, une augmentation de la charge extrinsèque devrait conduire à une diminution de la charge pertinente. Si la charge pertinente est le reflet de la compréhension du contenu et de la formation d'une représentation de celui-ci, une baisse de celle-ci devrait mener à une diminution de la performance aux tâches de recherche d'informations.

La théorie de la charge cognitive suggère une relation d'additivité entre les charges, mais aucune quantification de celles-ci n'a jamais été proposée, ce qui conduit à s'interroger sur le niveau de charge globale que représente l'une ou l'autre configuration de la balance des charges. Comme l'ont montré Chevalier, Kicka et Cegarra (2004), la charge cognitive globale (mesurée par les temps de réaction à une double tâche) tend à être plus élevée dans l'utilisation d'un dispositif induisant une charge extrinsèque moins importante. Nous émettons l'hypothèse que l'accroissement de la charge extrinsèque amènerait le sujet à se concentrer uniquement sur la tâche de recherche d'informations et à traiter le contenu dans la seule optique d'appariement entre l'information sélectionnée et l'objectif de la recherche. À l'inverse, une baisse de la charge extrinsèque libérerait des ressources cognitives qui permettraient à l'individu de déployer des traitements cognitifs supplémentaires. Par ailleurs, certaines études suggèrent que la motivation pourrait également accroître les ressources cognitives dévolues à une tâche (Schnotz & Kürschner, 2007). Or, l'utilisation d'un dispositif moins contraignant pourrait également entraîner une augmentation de la motivation des individus qui investiraient davantage d'effort mental dans la tâche. La mise en œuvre de ces traitements cognitifs supplémentaires conduirait à une augmentation de la charge cognitive globale et *in fine*, à des temps de réaction plus élevés.

2 Méthodologie

Le dispositif mis en place permettait de faire varier le niveau de charge extrinsèque liée à la navigation dans un site internet. Deux versions d'un même site ont été créées en les différenciant sur base du (non)respect des critères ergonomiques de Scapin et Bastien (1997). Les deux sites présentaient exactement le même contenu et le même nombre de pages. La charge cognitive était mesurée au moyen d'une échelle subjective ainsi que par la mesure des temps de réaction (TR) à une tâche secondaire de détection de stimuli sonores à intervalles aléatoires, administrés via le logiciel Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008; Chevalier & Kicka, 2006; Chevalier, *et al.*, 2004). Les trois items de l'échelle ont été basés sur ceux de Scheiter *et al.* (2006), adaptés au contexte de la recherche d'informations et mesurés sur une échelle de Likert à 7 points. « Quel est le niveau d'activité physique et mentale que la tâche vous a demandé ? » pour la charge intrinsèque ; « Quel effort la navigation dans le site vous a-t-elle demandé ? » pour la charge extrinsèque ; « Quel niveau de travail mental la compréhension du contenu du site vous a-t-elle demandé ? » pour la charge pertinente.

Les 46 participants (25 femmes et 21 hommes) de l'expérience étaient âgés de 25 ans en moyenne et ont déclaré passer en moyenne 10 à 30 heures par semaine sur internet. Ils étaient répartis aléatoirement entre les deux versions du site spécialement construit pour cette expérience. Après une mesure du temps de réaction de base et une tâche d'essai, les participants devaient effectuer deux tâches de recherche d'informations au sein de la version du site qui leur était assignée. Les charges cognitives, les TR à la double tâche et la performance étaient mesurés pour chacune des tâches.

3 Résultats

Concernant la mesure des charges au moyen de l'échelle subjective, les résultats indiquent que la charge intrinsèque ne diffère pas entre les deux conditions (ergonomique et non ergonomique), tant pour la première tâche ($t(43) = 1,883$; $p > .05$) que pour la seconde tâche ($t(43) = -1,62$; $p > .05$). La charge extrinsèque est significativement plus élevée dans la condition d'utilisation d'une interface non ergonomique. Les sujets déclarent que la navigation dans le site requiert un effort plus important pour la tâche 1 ($t(43) = -2,137$; $p < .05$) et pour la tâche 2 ($t(43) = -2,421$; $p < .05$). En ce qui concerne la charge pertinente, les données indiquent que les sujets déclarent avoir investi davantage d'effort dans la compréhension du contenu dans la condition non ergonomique. Cette différence n'est cependant significative que pour la seconde tâche ($t(44) = -2,473$; $p < .05$). Les corrélations entre les différentes charges indiquent qu'elles sont fortement positivement corrélées entre elles (cf. tableau 1), ce qui s'oppose à notre hypothèse concernant la relation entre la charge extrinsèque et pertinente. L'analyse des moyennes des temps de réaction met en évidence que celles-ci sont significativement plus élevées dans la condition ergonomique ($M = 316,44$) que non ergonomique ($M = 229,65$) avec $t(44) = 2,513$; $p < .05$. Aucun des scores de perceptions des charges ne montre de corrélation avec le temps de réaction, quelle que soit la tâche envisagée.

Tâche 1					Tâche 2				
	TR	CI	CP	CE		TR	CI	CP	CE
TR	1				TR	1			
CI	-.199	1			CI	-.170	1		
CP	-.051	.736**	1		CP	-.119	.896**	1	
CE	-.163	.668**	.833**	1	CE	-.156	.833**	.824**	1

** $p < .01$

TR : Temps de réaction ; CI : Charge intrinsèque ; CP : Charge pertinente ; CE : Charge extrinsèque

Tableau 1. Coefficients de corrélations de Pearson entre les scores de perception des charges cognitives et les temps de réaction

Le test d'indépendance indique que la différence de fréquence des scores moyens de performance aux deux tâches est significative ($\chi^2(4) = 16,03$; $p < .01$). Alors que 82% des sujets trouvent au moins une des deux réponses dans la condition ergonomique, ils ne sont 34% dans l'autre condition (cf. figure 1).

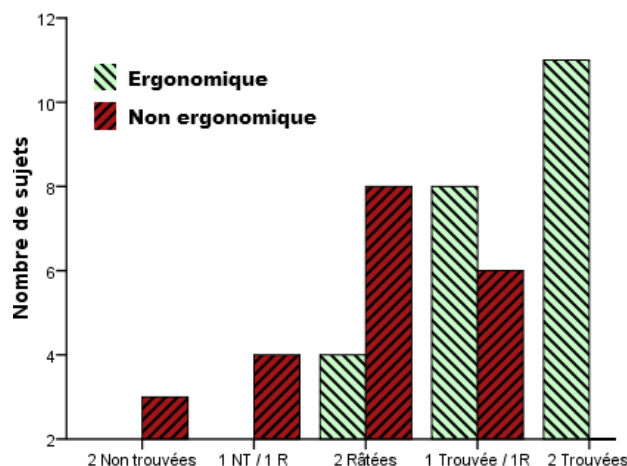


Figure 1. Types de réponses trouvées en fonction de la qualité ergonomique du site

Les résultats indiquent également que les scores de perception des charges sont fortement corrélés à la performance aux tâches, comme l'indiquent les coefficients ρ de Spearman repris sur la figure 2. Les sujets perçoivent les différentes charges comme étant plus faibles lorsqu'ils parviennent à trouver la réponse demandée que quand ils ne trouvent pas la bonne réponse ou abandonnent la tâche de recherche d'informations.

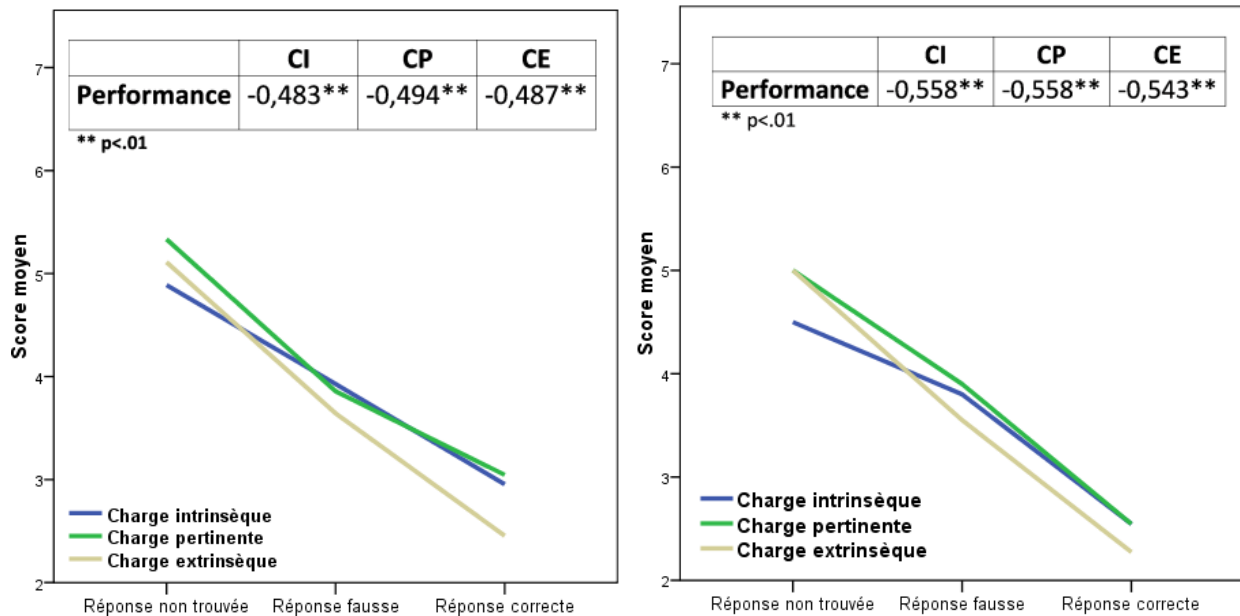


Figure 2. Corrélations entre les scores de perception des charges cognitives et la performance à la tâche 1 (à g.) et 2 (à d.).

4 Discussion

Ces résultats tendent à soutenir un certain nombre de nos hypothèses. Comme nous l'avions supposé, le niveau de charge intrinsèque perçue ne varie pas entre les deux conditions alors que la charge extrinsèque est plus élevée dans la condition non ergonomique, indiquant que les sujets ont déclaré avoir investi davantage de ressources cognitives dans la navigation. Contrairement à nos attentes, la charge pertinente est plus élevée lorsque les sujets naviguent sur le site induisant une charge extrinsèque plus importante, ce qui se traduit également par une corrélation positive entre ces deux charges. Si l'échelle semble avoir été en mesure de différencier les charges intrinsèque et extrinsèque, ces résultats nous poussent néanmoins à douter de sa validité discriminante. Il semblerait que les sujets aient davantage associé la mesure de la charge pertinente à une perception de la difficulté générale de la tâche, ce qui se vérifie par la corrélation importante entre la perception des charges et la performance aux tâches de recherche d'informations. Ces éléments soutiennent les arguments de Kalyuga (2011) qui défend que les échelles multidimensionnelles ne permettent de mesurer que la charge cognitive globale. Cependant, l'absence de corrélation entre la mesure des charges et les temps de réaction nous pousse à douter de cette possibilité.

Pour DeLeeuw et Mayer (2008) et Ayres (Ayres, 2006), les échelles de perception de difficulté renvoient davantage à une mesure de la seule charge intrinsèque. Nous pensons qu'il est possible que les items visant à mesurer les charges intrinsèque et pertinente n'aient en réalité abordé que la mesure de cette première. Comme nous l'avons signalé dans l'introduction, la nature même de la

charge pertinente fait l'objet d'un important débat dans la littérature concernant la charge cognitive. En nous basant sur l'étude de Scheiter *et al.* (2006), nous avons fait l'hypothèse que la charge pertinente correspondait à la compréhension du contenu ainsi qu'à la formation et au maintien d'une représentation de celui-ci en MDT. Il est pourtant possible que la charge pertinente corresponde uniquement aux processus qui ne concourent pas directement à la tâche, tels que la mémorisation implicite du contenu, l'acquisition de schémas concernant la structure du site ou encore l'automatisation de stratégies existantes concernant la navigation web. Dans un article récent, Sweller (2010) défend l'idée qu'en considérant que la charge extrinsèque serait également liée à l'interactivité des éléments (Beckmann, 2010), il serait possible de se passer de la définition même d'une charge pertinente au sein de la théorie de la charge cognitive (TCC). Fort de cette nouvelle conception, il soutient qu'il est possible d'expliquer l'entièreté des effets habituellement prédits par la TCC et met ainsi en exergue la difficulté intrinsèquement liée à une mesure de la charge pertinente.

Globalement, nous rejoignons donc le constat de Kirschner, Ayres et Chandler (2011) et Schnotz et Kürschner (2007) qui mettent en évidence la difficulté d'obtenir des mesures fiables des différentes charges dans les recherches impliquant la théorie de la charge cognitive. Nous pensons néanmoins que ce cadre théorique reste pertinent pour l'étude des interactions hommes-ordinateurs et qu'il est nécessaire de développer de nouvelles mesures permettant de rendre compte des différentes charges. Dans cette perspective, les récents travaux portant sur les liens entre la charge cognitive et les paramètres oculométriques offrent des pistes de réflexion intéressantes (*e.g.* Chen, Epps, Ruiz, & Chen, 2011).

5 Références

- Amadiou, F., & Tricot, A. (2006). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage : deux activités concurrentes ou complémentaires ? *Psychologie Française*, 51(1), 5-23. doi: DOI: 10.1016/j.psfr.2005.12.001
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16(5), 389-400. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.09.001>
- Backs, R. W. (1995). Going Beyond Heart Rate: Autonomic Space and Cardiovascular Assessment of Mental Workload. *The International Journal of Aviation Psychology*, 5(1), 25-48. doi: 10.1207/s15327108ijap0501_3
- Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden - On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. [Article]. *Learning and Instruction*, 20(3), 250-264. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.024
- Brunken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 53-61.
- Ceggara, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods*, 40(4), 988-1000. doi: 10.3758/brm.40.4.988
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive : Théories et applications*. Paris: Armand Colin.
- Chen, S., & Epps, J. (2012). Automatic classification of eye activity for cognitive load measurement with emotion interference. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*(0). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2012.10.021>

- Chen, S., Epps, J., Ruiz, N., & Chen, F. (2011). *Eye activity as a measure of human mental effort in HCI*. Paper presented at the Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces, Palo Alto, CA, USA.
- Chevalier, A., & Kicka, M. (2006). Web designers and web users: Influence of the ergonomic quality of the web site on the information search. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(10), 1031-1048. doi: DOI: 10.1016/j.ijhcs.2006.06.002
- Chevalier, A., Kicka, M., & Cegarra, J. (2004). *Quels sont les effets de la qualité ergonomique d'un site web et de l'expérience des utilisateurs sur la charge cognitive et le temps de navigation ?* Paper presented at the 10ème JETCSIC, Genève, Suisse. Communication orale retrieved from
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, 25(2), 315-324. doi: DOI: 10.1016/j.chb.2008.12.020
- DeLeeuw, K. E., & Mayer, R. E. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 223-234. doi: 0.1002/(sici)1099-0720(199908)13:43.0.co;2-6
- Galy, E., Cariou, M., & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269-275. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.09.023
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing Instructional Examples to Reduce Intrinsic Cognitive Load: Molar versus Modular Presentation of Solution Procedures. *Instructional Science*, 32(1), 33-58. doi: 10.1023/b:truc.0000021809.10236.71
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In A. H. Peter & M. Najmedin (Eds.), *Advances in Psychology* (Vol. Volume 52, pp. 139-183): North-Holland.
- Hollender, N., Hofmann, C., Deneke, M., & Schmitz, B. (2010). Integrating cognitive load theory and concepts of human-computer interaction. *Computers in Human Behavior*, 26(6), 1278-1288. doi: DOI: 10.1016/j.chb.2010.05.031
- Kirschner, P. A., Ayres, P., & Chandler, P. (2011). Contemporary cognitive load theory research: The good, the bad and the ugly. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 99-105. doi: 10.1016/j.chb.2010.06.025
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63 - 71.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351-371. doi: 10.1007/bf02213420
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Rouet, J.-F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. . *Hypertextes et Hypermédiat, N° hors série*, 57-74.
- Scapin, D. L., & Bastien, J.-M. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16(4-5), 220-231.
- Scheiter, K., Gerjets, P., & Catrambone, R. (2006). Making the abstract concrete: Visualizing mathematical solution procedures. *Computers in Human Behavior*, 22(1), 9-25. doi: DOI: 10.1016/j.chb.2005.01.009
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. [Article]. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469-508. doi: 10.1007/s10648-007-9053-4
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving - Effects On Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
- Sweller, J. (1999). *Instructional Design in Technical Areas*. Melbourne: ACER.
- Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, 2(1), 1-12. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2006.11.001>