



HAL
open science

Développement de règles de conception et des mécanismes adaptatifs des interfaces dans le dialogue humain-machine - Application à l'industrie 4.0

Loïck Simon, Philippe Rauffet, Clément Guérin

► To cite this version:

Loïck Simon, Philippe Rauffet, Clément Guérin. Développement de règles de conception et des mécanismes adaptatifs des interfaces dans le dialogue humain-machine - Application à l'industrie 4.0. 11e Colloque EPIQUE: Doctoriales 2021, Jul 2021, Lille, France. hal-03274587

HAL Id: hal-03274587

<https://hal.science/hal-03274587v1>

Submitted on 23 Sep 2021

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.

Doctoriales ARPEGE –RJCE 2021: Utilisation des concepts de transparence dans des interfaces écologiques et adaptatives – Application à l'industrie 4.0

SIMON Loïck

Lab-Sticc, Rue de saint-maudé, 56100, Lorient,

loick.simon@univ-ubs.fr

Directeur de thèse : **RAUFFET Philippe**

Co-Encadrant : **GUÉRIN Clément**

RÉSUMÉ

L'industrie est en pleine révolution avec l'intégration de nouvelles technologies (IOT Internet Of Things, CPS Cyber-Physical System, etc.). Cette industrie 4.0 soulève la problématique de la coopération entre les nouveaux systèmes cyber-physiques et les opérateurs. Le nombre d'informations auxquelles l'opérateur a accès est conséquent et, selon le contexte et la nature des tâches, il peut être nécessaire de rendre plus ou moins transparentes ces informations. Au travers des activités de supervision, de prise de décision et de planification, en production et en maintenance, cette thèse cherche à comprendre et améliorer le dialogue Humain-Machine, par l'utilisation de la transparence. Ces interfaces de dialogue utilisant les concepts de transparence devraient faciliter ces nouvelles coopérations entre les opérateurs et les CPS.

MOTS-CLÉS

Industrie 4.0 ; Interface Ecologique ; Cognitive Work Analysis ; Transparence ; Interface Adaptative

1 INTRODUCTION

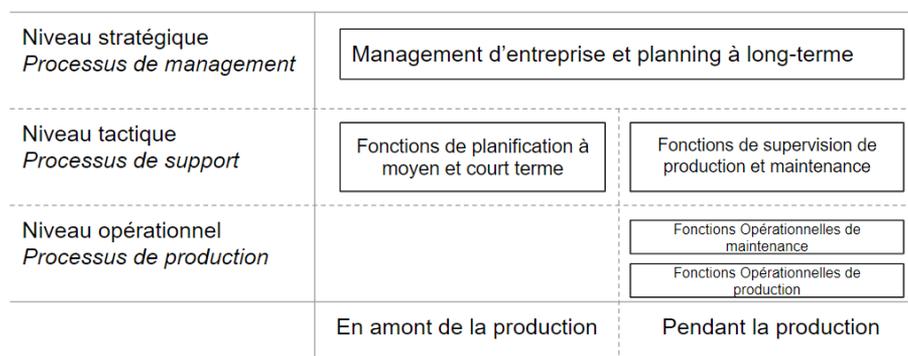
L'industrialisation a débuté avec la capacité de l'humain à tirer profit de la vapeur. Depuis, plusieurs générations d'industries se sont succédées, évoluant d'une production de masse à une production automatisée pour arriver aujourd'hui à la 4ème génération d'industrie. Cette 4ème génération se caractérise par l'implantation massive des Système Cyber-Physiques (CPS), de l'internet des objets (IOT) et par l'utilisation de capteurs permettant de surveiller et monitorer les équipements (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013 ; Culot, Nassiemi, Orzes & Sartor, 2020).

1.1 Contexte et enjeux : les transformations de l'industrie 4.0

1.1.1 L'opérateur dans l'industrie 4.0

Selon Hirsch-Kreinsen (2014) l'industrie 4.0 va changer le rôle de l'opérateur et notamment en ce qui concerne sa coopération avec les CPS. Pour Hoc (2001), le cœur de la coopération Humain-Machine est le COmmon FRame Of Reference (COFOR), qui correspond à un référentiel commun entre l'humain et la machine. Ce référentiel commun est un facteur important dans la coopération (Hoc, 2001). Pour améliorer ce COFOR, il est nécessaire de faire du partage d'information entre les deux parties. Ces coopérations prendront place dans différentes activités de l'industrie (supervision, production et maintenance) (Fig. 1) (Rauffet, Guérin, Chauvin et Martin, 2018). Dû aux capacités limitées de la mémoire de travail (Baddeley & Logie, 1999) notamment dans un monde où les données, comme dans l'industrie 4.0, sont nombreuses (Woods, 2002) une solution pour aider ce partage d'information est nécessaire.

Figure 1 : Cartographie des fonctions de l'industrie (inspirée de Rauffet, Guérin, Chauvin et Martin, 2018)



1.2 Des interfaces écologiques, adaptatives et transparentes : une réponse à ces enjeux

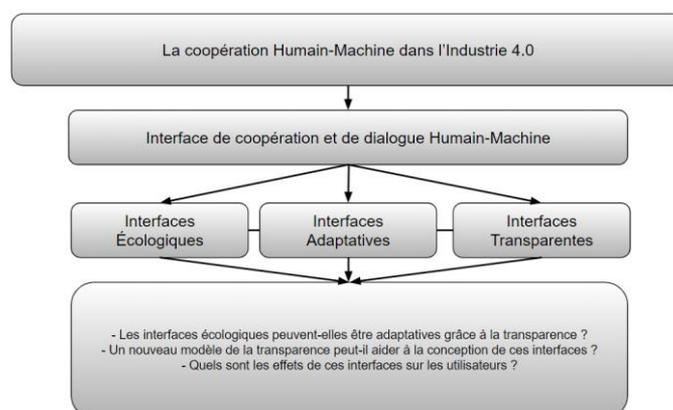
En se référant au critère de Vicente (1999) nous pouvons catégoriser ces fonctions d'industrie comme des systèmes complexes. Or, dans un système complexe, il est difficile pour un opérateur de connaître ses possibilités d'action. Une interface écologique permet de pallier ce problème en rendant visible de façon synthétique les contraintes de l'environnement. Ces contraintes peuvent être identifiées grâce aux outils du CWA (Rasmussen & Vicente, 1989). Ces contraintes peuvent être aussi bien physiques (les lois de la thermodynamique) que sociales (un règlement intérieur). De nombreux domaines utilisent déjà des interfaces écologiques pour supporter le travail des opérateurs (Bennett & Flach, 2019). Selon eux, les interfaces écologiques sont issues des relations (ou mapping) entre les contraintes de l'environnement, les contraintes de l'utilisateur et l'interface. Les contraintes de l'environnement (physiques ou sociales) permettent de connaître les informations à afficher dans l'interface (le content mapping). Les contraintes de l'utilisateur permettent de définir les formes affordantes que ces contraintes doivent avoir dans l'interface (le form mapping). La relation entre ces contraintes et ces formes au sein d'une interface de façon à ce qu'elles soient compatibles entre elles et qu'elles permettent, par l'affordance, à l'utilisateur de connaître facilement ses possibilités d'actions est le semantic mapping.

Une interface adaptative modifie le mode de présentation des informations. Ces différents modes de présentation peuvent être liés à l'environnement (situations, météo, etc.), aux états de l'opérateur (stress, fatigue, etc.) ou aux habitudes d'utilisation de l'opérateur (Sarter, 2007).

La transparence selon Chen et ses collègues (2014) est définie comme « *the descriptive quality of an interface pertaining to its abilities to afford an operator's comprehension about an intelligent agent's intent, performance, future plans, and reasoning process* » (p.2) ». Plusieurs modèles de transparence existent. Le modèle de Chen et ses collègues (2014) s'appuie sur la théorie de la conscience de la situation de Endsley (1995) en trois niveaux (1 : les intentions, 2 : les raisons, 3 : les états futurs). Le modèle de Lyons (2013) propose deux dimensions sur lesquelles peut être transparent un agent autonome. L'agent autonome peut ainsi être transparent sur la dimension robot-TO-human (rTOh) et la dimension robot-OF-human (rOFh). La transparence sur le rTOh concerne ce qui a trait à l'intention de l'agent autonome (intentional model), ses tâches (task model), ses processus (analytical model) et l'environnement (environmental model). La transparence sur le rOFh porte sur la conscience de l'agent autonome sur l'allocation des tâches (teamwork model) et sur les états de l'opérateur (operator model).

Cette thèse tente d'apporter des réponses à plusieurs problématiques (Fig. 2) dont entre autres : Est-il possible d'améliorer le design écologique par l'implantation de règles adaptatives ? La transparence est-elle un levier pour l'adaptativité des interfaces ? Quels sont les effets de la transparence sur l'opérateur ? Les réponses à ces problématiques aideront le domaine scientifique à créer des interfaces en adéquation avec les besoins des utilisateurs et les contraintes d'utilisations.

Figure 2 : Schématisation des questions de recherche

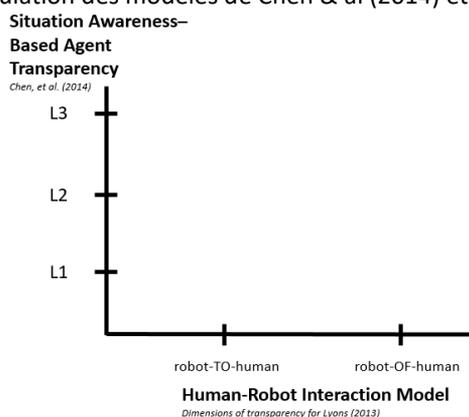


2 CONTEXTES D'APPLICATION ET METHODE

2.1 Humanism

Humanism est un projet ANR portant sur la collaboration humain-cobot (collaborative robot) en milieu industriel. Dans la simulation mise en place, l'opérateur devait à la fois superviser et produire avec ce cobot. Cette simulation avait pour but d'explorer la question de la transparence d'un cobot et de ses effets chez l'opérateur. Une articulation entre deux modèles a été proposée : les modèle SAT de Chen et al (2014) et le modèle d'interaction Humain-Robot de Lyons (2013) (Fig. 3).

Figure 3 : Articulation des modèles de Chen & al (2014) et de Lyons (2013)



L'étude comportait 53 participants, 17 femmes et 36 hommes, ($M = 21,34$ ans, $ET = 1,67$) issus de cursus ingénieur (mécatronique ou génie industriel). Lors de cette étude les participants faisaient équipe avec un cobot et un coéquipier humain. Les participants devaient coopérer avec le cobot (agent autonome) en approuvant ou désapprouvant la véracité de son diagnostic (perception d'être à cours de ressources pour continuer ses tâches). Le coéquipier humain pouvait être à court de ressources ou non (favorable/défavorable). La transparence a été opérationnalisée en suivant l'articulation proposée dans la figure 3 (transparence rTOh au niveau 1 et 2 ; transparence rOFh au niveau 0, 1 « transfert possible » et 1 « transfert impossible »), créant ainsi 6 situations expérimentales répétées 2 fois. Plusieurs variables dépendantes ont été utilisées : la performance des participants ; la conscience de la situation (items issus du SAGAT de Endlsey, 2000) ; la confiance envers l'agent autonome (3 items issus de Jian, Biisantz & Drury, 2000 et Yagoda & Gillan, 2012) ; la charge mentale (ISA de Tattersall & Foord, 1996).

2.2 Seanatic

Le projet Seanatic est un projet ADEME visant à implanter la maintenance prévisionnelle au sein des navires. Pour ce projet plusieurs étapes sont prévues. La première étape est la conception d'une

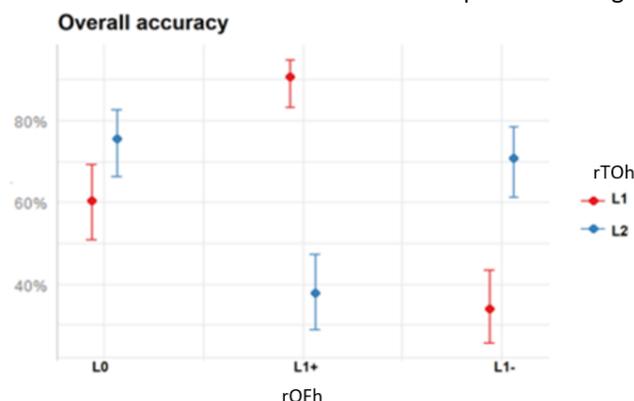
interface écologique pour la maintenance prévisionnelle. La seconde étape est la validation de ces interfaces écologiques par des tests utilisateurs. La troisième étape est l'intégration d'une brique adaptative (utilisant le concept de transparence) et le test de l'interface en milieu simulé grandeur nature. La quatrième étape est le test de ces interfaces adaptatives en milieu naturel. Les résultats de ces expérimentations doivent apporter de nouvelles connaissances sur les aspects liés à la transparence et son utilisation pour intégrer la notion d'adaptabilité dans les interfaces écologiques. De récents travaux sur les algorithmes de maintenance prévisionnelle mettent en avant l'intérêt d'ouvrir la « boîte noire » de ceux-ci, notamment les probabilités qui sont utilisées (Gribbestad, Hassan, Hameed & Sundli, 2021). Cette transparence correspond à la dimension rTOh (plus spécifiquement au modèle analytique). Dans la continuité de ces travaux et du projet Humanism, les modalités de transparence explorées dans le projet Seanatic seront celles du modèle analytique (rTOh), du modèle de l'équipe (rOFh) ainsi que du modèle de l'environnement (rTOh).

3 RÉSULTATS

3.1 Humanism

La performance aux tâches montre un effet modérateur des informations rOFh sur les informations rTOh dans le cadre de la validation d'un diagnostic. Les situations expérimentales {rTOh L2 + rOFh L1 « favorable »} et {rTOh L1 + rOFh L1 « défavorable »} étant reliées à des performance plus faible que les autres. (Fig. 4)

Figure 4 : Effet de l'interaction rTOh :rOFh sur la performance globale



La conscience de la situation n'augmente pas forcément avec la transparence : la transparence rTOh de niveau 2 n'augmente pas la conscience de la situation de niveau 2 alors que la transparence rOFh de niveau 1 « favorable » augmente la conscience de la situation de niveau 2 (Fig. 5, gauche). Concernant la confiance de l'opérateur envers le cobot, seule la transparence rOFh de niveau 1 « favorable » a un effet positif (Fig. 5, droite). Ni la transparence rTOh et rOFh ni leur interaction n'ont eu d'effet sur la charge mentale.

Fig 5 : régression logistique pour la conscience de la situation (gauche) et la confiance (droite)

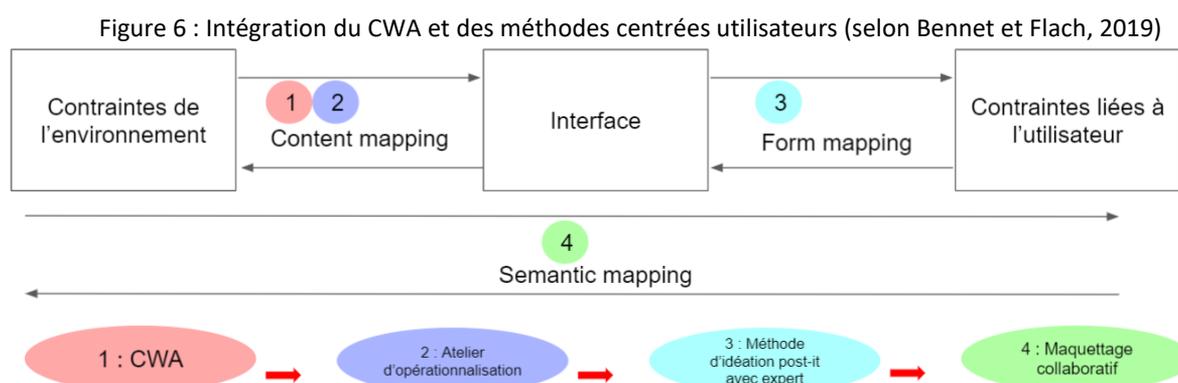
	SA 1 ~ rOFh	SA 2 ~ rTOh * rOFh		Trust1 ~ rOFh	Trust 2 ~ rOFh	Trust 3 ~ rOFh
rTOh (reference = L1)						
L2		-1.27 (0.25)***				
rOFh (reference = L0)			rOFh (reference = L0)			
L1+		1.06 (0.26)***	L1+	0.46 (0.17)**	-0.44 (0.17)**	0.57 (0.17)***
L1-	-0.53 (0.22)*	0.09 (0.25)	L1-	0.32 (0.17)	-0.27 (0.17)	0.29 (0.17)
rOFh : rTOh (reference = L0 : L1)			AIC	7371.98	7217.84	7499.95
L1+ : L2		-1.50 (0.36)***	BIC	8650.17	8482.67	8818.22
L1- : L2		0.17 (0.36)	Log Likelihood	-3398.99	-3324.92	-3453.97
AIC	711.37	1575.53	Deviance	6797.98	6649.84	6907.95
BIC	727.56	1611.16				
Log Likelihood	-351.69	-779.76				
Deviance	703.37	1559.53				

3.2 Seanatic

La première étape du projet Seanatic était la compréhension de l'activité de maintenance en milieu maritime afin de créer une interface écologique. Les analyses du CWA ont été utilisées et notamment les analyses du domaine de travail, de la tâche de contrôle et l'analyse du système organisationnel et des coopérations. En raison du contexte sanitaire aucune méthodologie d'observation n'a pu être mise en place. Pour pallier à ce manque, une analyse documentaire se basant sur des cours (Duchemin, 2017 ; Charvet, 2019), la norme NF EN 13306:V2018 ainsi que de la documentation constructeur (Konsberg : Engine Room MAN B&W 5L90MC – L11) a été réalisée. Plusieurs entretiens ont été menés avec des chefs mécaniciens (M = 50 ans, ET = 9 ans ; Expérience de navigation M = 19 ans, ET = 15 ans) sur trois thèmes :

- 1) L'activité de maintenance (description de l'activité ; outils utilisés ; types d'informations utilisées ; types de communication ; difficultés rencontrées lors de l'activité)
- 2) Intégration de la maintenance prévisionnelle dans l'activité actuelle
- 3) Exigences utilisateurs pour un outil de maintenance prévisionnelle

Ces analyses ont permis d'identifier le « Content Mapping » des futures interfaces (Fig. 6). Nous avons décidé d'utiliser la méthodologie centrée utilisateur afin d'améliorer le « Form Mapping » et le « Semantic Mapping » (Fig. 6). Un atelier d'opérationnalisation en équipe (composé de 2 MCF et 1 thésard) a permis de synthétiser les analyses issues du CWA pour alimenter les deux phases suivantes. Une méthode d'idéation avec des post-its avec des experts (3 enseignants à l'École Nationale Maritime Supérieure, dont 2 anciens chefs mécaniciens) a apporté les informations sur le « Form Mapping ». Pour chacun des éléments identifiés lors de l'atelier d'opérationnalisation d'équipe, il était demandé aux participants la représentation la plus adéquate, amenant au « Form Mapping ». Cette représentation tenait compte des normes en vigueur et a facilité le choix des formes que devait prendre les contraintes pour l'équipe de concepteur. Pour améliorer l'affordance entre les différentes contraintes et leur compatibilité avec l'utilisateur et l'interface (le « Semantic Mapping ») il a été choisi de faire un atelier de maquettage collaboratif. Sur la base des synthèses et des éléments issus de l'atelier d'opérationnalisation et de la méthode d'idéation, les participants de cet atelier ont pu créer l'interface telle qu'ils se la représentaient. Cela a permis de préciser les éléments qui devaient être mis ensemble et confirmer les propositions de présentation issues des étapes précédentes.



Ces analyses ont également permis de dégager des pistes d'investigation pour les mécanismes adaptatifs pouvant être utilisés. L'analyse de la tâche de contrôle a permis de mettre en évidence la non-pertinence de mécanismes adaptatifs liés aux données physiologique des opérateurs. Le travail de maintenance prévisionnelle, essentiellement liée à de la re-planification, se fera dans des contextes sans contraintes temporelles ou cognitive. Ainsi, l'adaptivité des interfaces devra se faire sur la base d'apprentissage des habitudes d'utilisation de l'opérateur et sur la base de la quantité d'informations affichées sur l'écran. Ces deux types de déclencheurs devront ensuite être mis en lien avec les concepts de transparence pour proposer des interface écologiques et adaptatives grâce à l'utilisation des modèles de transparence.

4 RÉFÉRENCES

- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working Memory : The Multiple-Component Model. In A. Miyake & P. Shah (Éds.), *Models of Working Memory* (1^{re} éd., p. 28-61). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.005>
- Bennett, K. B., & Flach, J. (2019). Ecological Interface Design : Thirty-Plus Years of Refinement, Progress, and Potential. *Human Factors*, 61(4), 513-525. <https://doi.org/10.1177/0018720819835990>
- Charvet, F. (2019, septembre). Introduction à la maintenance.
- Chen, J. Y., Procci, K., Boyce, M., Wright, J., Garcia, A., & Barnes, M. (2014). Situation Awareness-Based Agent Transparency (ARL-TR-6905). ARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD HUMAN RESEARCH AND ENGINEERING DIRECTORATE. <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA600351>
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0 : Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>
- Duchemin, G. (2017, juillet). Maintenance des machines et des moteurs.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Endsley, M. R. (2000). Direct measurement of situation awareness : Validity and use of SAGAT. *Situation awareness analysis and measurement*, 10, 147-173.
- Gribbestad, M., Hassan, M. U., A. Hameed, I., & Sundli, K. (2021). Health Monitoring of Air Compressors Using Reconstruction-Based Deep Learning for Anomaly Detection with Increased Transparency. *Entropy*, 23(1), 83. <https://doi.org/10.3390/e23010083>
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit–„Industrie 4.0 “. *WSI-Mitteilungen*, 67(6), 421-429.
- HOC, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(4), 509-540. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454>
- Jian, J.-Y., Bisantz, A. M., & Drury, C. G. (2000). Foundations for an Empirically Determined Scale of Trust in Automated Systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4(1), 53-71.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry : Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie, 4(0).
- Lyons, J. B. (2013, mars 15). Being Transparent about Transparency : A Model for Human-Robot Interaction. 2013 AAAI Spring Symposium Series. 2013 AAAI Spring Symposium Series. <https://www.aaai.org/ocs/index.php/SSS/SSS13/paper/view/5712>
- MAN B&W 5L90MC VLCC L11-V - KONGSBERG DIGITAL. (s. d.). Consulté 18 décembre 2020, à l'adresse <https://www.kongsberg.com/fr/digital/models-and-examples/k-sim-engine-models/man-bw-5l90mc-vlcc/>
- NF EN 13306—Janvier 2018. (s. d.). Consulté 18 décembre 2020, à l'adresse <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-13306/maintenance-terminologie-de-la-maintenance/article/828621/fa185755>
- Rasmussen, J., & Vicente, K. J. (1989). Coping with human errors through system design : Implications for ecological interface design. *International Journal of Man-Machine Studies*, 31(5), 517-534. [https://doi.org/10.1016/0020-7373\(89\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0020-7373(89)90014-X)
- Rauffet, P., Guerin, C., Chauvin, C., & Martin, E. (2018, octobre). Contribution of Industry 4.0 to the emergence of a joint cognitive and physical production system. HFES European Chapter. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01893007>
- Roundtree, K. A., Goodrich, M. A., & Adams, J. A. (2019). Transparency : Transitioning From Human–Machine Systems to Human-Swarm Systems. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 13(3), 171-195. <https://doi.org/10.1177/1555343419842776>
- Sarter, N. (2007). Coping with Complexity Through Adaptive Interface Design. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 493-498.
- TATTERSALL, A. J., & FOORD, P. S. (1996). An experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload. *Ergonomics*, 39(5), 740-748. <https://doi.org/10.1080/00140139608964495>
- Vicente, K. J. (1999). *Cognitive Work Analysis : Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. CRC Press.
- Woods, D., Patterson, E., & Roth, E. (2002). Can We Ever Escape from Data Overload? A Cognitive Systems Diagnosis. *Cognition, Technology & Work*, 4, 22-36. <https://doi.org/10.1007/s101110200002>
- Yagoda, R. E., & Gillan, D. J. (2012). You want me to trust a ROBOT? The development of a human–robot interaction trust scale. *International Journal of Social Robotics*, 4(3), 235-248.