

# *Etude sur le contentement des opérateurs humains face à différents types d'automatisation : application au domaine des transports*

## **Eugénie Avril**

Science de la cognition, Technologie, Ergonomie (SCoTE) - EA7420  
Université de Toulouse, INU Champollion, 81000 Albi (France)  
eugenie.avril@univ-jfc.fr

## **Jordan Navarro**

Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs - EA 3082  
Université des Lumières Lyon 2, 69676 Bron (France)  
jordan.navarro@univ-lyon2.fr

## **Liên Wioland**

INRS, Département Homme au travail  
INRS, 1 rue du Morvan, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy (France)  
lien.wioland@inrs.fr

## **Julien Cegarra**

Science de la cognition, Technologie, Ergonomie (SCoTE) - EA7420  
Université de Toulouse, INU Champollion, 81000 Albi (France)  
julien.cegarra@univ-jfc.fr

**Catégorie de soumission : rencontres doctorales**

---

## **RÉSUMÉ**

Les systèmes automatisés amènent à de nouvelles répartitions des tâches entre l'opérateur humain et la machine. Comprendre la coopération homme-machine, en incluant les potentielles défaillances de ces systèmes est donc devenu un sujet crucial. Dans cette étude, nous nous concentrons sur une des conséquences négatives possibles de cette coopération : le phénomène de contentement. Ce phénomène a été observé de nombreuses fois dans des situations dynamiques dans lesquelles le système automatisé exécute une action afin de soulager l'opérateur dans son activité. Or, dans les tâches statiques (comme la planification des transports de marchandises), les systèmes automatisés servent plutôt à simplifier et à prétraiter les données pour permettre à l'opérateur humain de prendre lui-même une décision. Nous distinguons donc l'automate de l'*exécution* et de la *signalisation*. Plus précisément, le but de cette étude est de comparer le phénomène de contentement selon ces deux types d'automates. Nous avons confronté 96 participants à l'OpenMATB (Open Multi Attribute Task Battery) en variant les types d'automates. Nous avons également manipulé quatre niveaux de fiabilité de l'automate (0%, 56,25%, 87,5%, 100%). Dans toutes ces conditions, nous avons évalué le contentement à travers le taux de détection des défaillances de l'automate. De plus, un *eye tracker* est employé pour mieux comprendre les stratégies des opérateurs notamment concernant le partage attentionnel. Les premiers résultats montrent un effet significatif de la signalisation. La bonne signalisation a entraîné une meilleure performance des participants pour détecter les défaillances de l'automate.

## **MOTS-CLÉS**

Automate, fiabilité, contentement, défaillances, confiance

---

## **1. CONTEXTE DE LA THÈSE**

Cette thèse est financée par l'ANR dans le cadre du projet *Smart Planning* (ANR-16-CE26-0017) et réunit plusieurs partenaires issus de la recherche et de l'industrie. Elle vise l'amélioration de la planification des tournées de transports de marchandises par la mise en œuvre d'un système d'aide à la planification. En effet, l'évolution actuelle amène les industriels des transports routiers à se confronter à de nouvelles exigences, tant au niveau de la concurrence qu'au niveau des enjeux sociaux, environnementaux et sécurité. Cette thèse a pour but d'amener des pistes de réflexion sur la modélisation des différentes informations nécessaires aux planificateurs, mais également, d'élaborer des propositions pour une interface adaptée à la présentation de différents indicateurs (environnementaux, économiques mais également de santé et sécurité). Cette première étude centrée « laboratoire » intervient en amont de plusieurs études appliquées davantage au terrain. Elle a pour objectif de valider des concepts théoriques sur l'automatisation afin de poursuivre sur des études plus près de l'activité réelle des planificateurs.

## **2. INTRODUCTION**

Lorsque l'on parle d'automatisation, chaque personne a une image qui lui vient en tête : que cela soit dans une situation dynamique comme le pilotage d'aéronef ou dans une situation statique comme la planification de transport de marchandises, l'automatisation des actions et des procédures humaines devient de plus en plus répandu. Parasuraman, Sheridan et Wickens (2000) ont défini l'automatisation comme « le remplacement total ou partiel d'une fonction précédemment réalisée par l'opérateur humain » (p. 287). Depuis Fitts (1951), de multiples décompositions en degrés d'automatisation ont été proposées dans la littérature (Sheridan & Verplank, 1978 ; Endsley & Kaber, 1999 ; Sheridan, 2011 ; Parasuraman, Sheridan et Wickens, 2000). Le problème de la répartition des fonctions entre Homme et machine ainsi que du choix du degré d'automatisation attribué à chacune de ces fonctions a émergé dans la littérature en Ergonomie.

Ainsi, l'idée d'activité coopérative a été intégrée avec les travaux de Hoc (2000). Pour cet auteur, la coopération entre homme-machine correspond à une coopération entre deux agents : chaque agent a son objectif mais ceux-ci peuvent entrer en « interférence ». Ces agents vont donc faire en sorte de gérer ces interférences afin de « faciliter leur propre tâche, celle des autres ou une tâche commune » p.11. Hoc (2000, op.cit) a identifié quatre interférences : la précondition, c'est-à-dire lorsque l'activité d'un agent dépend de l'activité de l'autre ; l'interaction, c'est-à-dire lorsque chaque activité de chaque agent a un impact sur l'activité de l'autre ; le contrôle mutuel, c'est à dire lorsque l'agent va réaliser « mentalement » l'activité de l'autre afin de l'évaluer et de voir les erreurs ; et la redondance, lorsque les agents peuvent réaliser une même fonction. Ce dernier a souligné que cette coopération pouvait toutefois dysfonctionner et entraîner des conséquences négatives telles que le contentement. Le phénomène de contentement intervient lorsque l'opérateur humain adopte les propositions du système automatisé sans les remettre en doute.

Dans le cadre de cette thèse, ce phénomène de contentement interviendrait potentiellement lors de l'utilisation du système d'aide à la planification par les planificateurs des transports de marchandises.

## **3. ÉTUDES RELATIVES AU PHENOMENE DE CONTENTEMENT**

L'étude de Parasuraman, Molloy et Singh (1993) sur le contentement fait référence. Une recherche sur Google Scholar indique qu'elle a été citée environ 800 fois. Dans cette étude les auteurs ont manipulé la fiabilité de l'automate afin de mettre en évidence le fait que les actions d'un système automatisé pouvaient entraîner le phénomène de contentement. Ils ont postulé le fait qu'un système

automatisé engendrait une stratégie d'allocation de l'attention inadéquate dûe au fait que le participant avait une confiance élevée dans la fiabilité du système. De même, plus un opérateur fait confiance à l'automate, moins il va le surveiller (Muir & Moray, 1996). Ce phénomène de contentement est donc étroitement lié avec les questions de calibrage de confiance.

L'étude de Parasuraman, Molloy et Singh (op. cit., 1993) a été répliquée par Bagheri et Jamieson (2004). Ils ont également fait varier la fiabilité de l'automate à différents degrés (56,25% ou 87,5%) dans des conditions de fiabilité constantes ou variables. Ces auteurs ont montré que le taux de détection de défaillances de celui-ci était plus faible dans la situation de haute fiabilité constante que dans les autres conditions. Ces auteurs ont souligné l'importance d'un dispositif d'*eye tracker* afin de mieux comprendre les stratégies d'allocation attentionnelle des participants, notamment en complément de la mesure de détection des défaillances. Toutes ces études ont en commun le fait d'avoir utilisé le Multi Attribute Task Battery (Comstock & Arnegard, 1992), un micro-monde<sup>1</sup> de pilotage d'avion.

#### 4. ÉTUDES RELATIVES AUX INTERFACES

La conception des interfaces écologiques (IE) (Vicente & Rasmussen, 1992) envisage une nouvelle facette où l'automate va aider l'opérateur non pas en exécutant des actions, mais en permettant une représentation du problème plus écologique, c'est-à-dire cohérence avec l'expertise des opérateurs. Ainsi, la conception de représentations externes est devenue centrale dans ce nouveau type d'automate (Zhang & Norman, 1994 ; Vicente, 2002).

Dans le cadre des IE, Reising et Sanderson (2002) ont étudié le rôle de la fiabilité des indicateurs. Dans la situation que ces auteurs décrivent, des capteurs servent à recueillir des données. Les auteurs considèrent que la fiabilité de ceux-ci est importante, notamment puisque les informations recueillies vont apparaître sur une interface et donc avoir une répercussion directe. Par exemple, un capteur peut être considéré comme non fiable, s'il fonctionne de manière illogique. Par exemple, des données chiffrées qui se modifieraient tout d'un coup à l'opposé de ce qu'elles étaient jusque-là.

Ainsi, l'intérêt d'interroger ces questions de fiabilité est dû au fait que les informations apparaissant sur les interfaces peuvent parfois être défaillantes. Il faut donc donner les moyens à l'opérateur humain de mieux comprendre les informations apparaissant sur l'interface. De plus, en cas de défaillance, il faut que celui-ci se rende compte de l'erreur et identifie si cette erreur est due aux informations transmises à l'interface (ici les capteurs) ou liée au système physique en lui-même (par exemple, un capteur gelé, mais cela pourrait être lié au logiciel/ à l'interface en elle-même). En fin de compte, le phénomène de contentement pourrait être aggravé par des indicateurs qui se fondent sur des données imparfaites.

Dans le cadre de cette thèse, c'est le domaine de la planification de transport terrestre qui nous intéresse. Dans ce domaine, le planificateur est confronté à une multitude d'informations et l'automate intervient par le biais d'une simplification des données dans l'interface. L'objectif est donc d'obtenir une interface optimisée facilitant la prise d'information et intégrant toutes les informations nécessaires à cette activité. Cette première étude a donc pour but d'interroger la présence du phénomène de contentement dans une situation où l'automate intervient de manière visuelle par la signalisation.

---

<sup>1</sup> Le MATB est un micro-monde, c'est-à-dire une simulation informatisée de tâches réelles qui sert à étudier les processus mentaux des opérateurs de manière plus contrôlée que sur le terrain (Rigas, Carling & Brehmer, 2002).

Notre étude compare deux types d'automate : le premier type est relatif à de l'*exécution* et le second à de la *signalisation*. Ainsi, l'automate de l'*exécution* est représenté dans la tâche de surveillance par le biais d'un curseur débloqué automatiquement par l'action du système automatique. L'automate de la *signalisation* est représenté par le voyant de signalisation « panne » qui s'allume pour indiquer qu'une panne a lieu lorsque le curseur se bloque. Comme Bagheri et Jamieson (op. cit, 2004), nous avons manipulé la fiabilité de l'automate. Quatre conditions de fiabilité ont été manipulées (0% ; 56,25% ; 87,5 % et 100%). Chaque condition comportait un niveau de fiabilité de l'automate signalisation (condition inter-sujets) et quatre niveaux de fiabilité de l'automate résolution/ exécution de l'action (condition intra-sujets).

Notre hypothèse était qu'il y avait un effet du degré de fiabilité de l'automate *signalisation* et du degré de fiabilité de l'automate *exécution* sur le taux de détection d'erreurs.

## 5. MÉTHODE

### 5.1. Participants

96 participants de l'Institut National Jean François Champollion (Albi) ont été sollicités pour réaliser cette expérience. Les participants étaient des étudiants âgés de 18 à 35 ans (69 femmes et 27 hommes).

### 5.2. Matériel et protocole

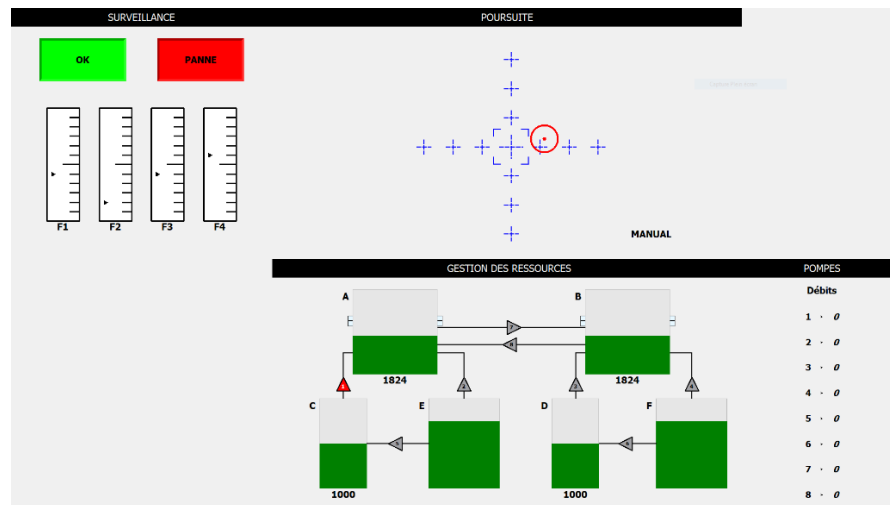
Les participants devaient effectuer une batterie de trois tâches simultanées issues du Multi Attribute Task Battery (MATB). Une version modifiée du MATB, intitulée OpenMATB a été conçue pour intégrer la synchronisation avec l'*eye tracker*. Cette version a l'avantage de permettre la création de situations et scénarios où les niveaux d'automatisation peuvent être mis en œuvre et testés séparément.

Cette batterie était composée de trois tâches :

La première tâche était un exercice de **surveillance**. Cette tâche était constituée de quatre jauges. En situation normale, le curseur fluctuait autour du centre de la colonne. En situation de panne, le curseur fluctuait dans la partie basse ou la partie haute de chaque colonne et le voyant « panne » devenait rouge. Lorsqu'il y avait une panne, le participant devait appuyer sur F1 (si le curseur était bloqué dans la colonne 1), F2 (colonne 2), F3 (colonne 3) et F4 (colonne 4). Dans notre étude, cette tâche était automatisée, c'est-à-dire que le curseur se débloquent automatiquement lorsqu'il y avait une panne. Les défaillances du système automatisé intervenaient dans cette tâche : le curseur pouvait ne pas se débloquent automatiquement (automate de l'exécution) et le voyant panne pouvait ne pas devenir rouge (automate de la signalisation) alors qu'il y avait une panne. Dans ce cas-là, le participant devait reprendre la main en appuyant sur les touches F. Il était prévenu de « possibles défaillances de l'automate, au niveau du déblocage du curseur et/ou du voyant panne ».

La tâche **gestion des ressources** était composée de plusieurs réservoirs. Les deux réservoirs principaux (A et B) devaient toujours contenir autour de 2500 L (valeur optimale à maintenir). Cependant, le liquide se vidait dans ces deux réservoirs et le participant devait activer des pompes pour utiliser les réservoirs de secours C, D, E, F et réapprovisionner les réservoirs principaux A et B qui se vidaient. Les réservoirs de secours E et F étaient illimités en liquide à l'inverse des réservoirs C et D dont le niveau de liquide s'affichait à côté. Les différents réservoirs n'avaient pas le même débit de fluctuation du liquide. Ainsi, les pompes 1 et 3 avaient un débit de 800 L par minute ; les pompes 2, 4, 5 et 6 avaient un débit de 600 L par minute ; les pompes 7 et 8 avaient un débit de 400 L par minute. Lorsque le participant activait une pompe le débit s'affichait à droite (onglet « pompes »). Pour réapprovisionner les réservoirs principaux, les participants devaient utiliser leur clavier. Cette tâche faisait appel au raisonnement du participant.

La tâche de **cible** (poursuite) consistait à maintenir le curseur rond au centre de la zone carrée en utilisant un Joystick.



**Figure 1.** Les trois tâches du MATB : surveillance (en haut et à gauche), cible (en haut et à droite) et gestion des ressources (en bas)

Seule la tâche de surveillance était automatisée. La fiabilité de l'automate correspondait au pourcentage de défaillances détectées et résolues par l'automate sur le nombre total de panne (cf. Bagheri & Jamieson, op. cit.). Il y avait 16 pannes au total par bloc de dix minutes. Quatre niveaux de fiabilité ont été utilisés :

Niveau 1 : Zéro sur seize pannes totales sont détectées et résolues par le système automatique dans chaque bloc de dix minutes. Fiabilité à 0%.

Niveau 2 : Neuf sur seize pannes totales sont détectées et résolues par le système automatique dans chaque bloc de dix minutes. Fiabilité à 56,25%.

Niveau 3 : Quatorze pannes sur seize pannes totales sont détectées et résolues par le système automatique dans chaque bloc de dix minutes. Fiabilité à 87,5%.

Niveau 4 : Seize pannes sur seize pannes totales sont détectées et résolues par le système automatique dans chaque bloc de dix minutes. Fiabilité à 100%.

Chaque participant effectuait une seule condition. Elle était composée des 4 niveaux de la fiabilité de l'automate *exécution* (0% ; 56,25%, 87,5% et 100%) et un seul niveau de l'automate *signalisation* (0% ou 56,25% ou 87,5% ou 100%). Il y avait 24 participants par condition.

Après leur arrivée, les participants ont rempli une feuille de consentement. Ils ont également reçu des explications sur le fonctionnement des trois tâches du MATB. Ils ont commencé par 10 minutes d'entraînement dans lequel la fiabilité de la signalisation était de 100% et celle de l'automate résolution était de 0%. Ensuite, pour le test, les participants ont été informés du fonctionnement de l'automate *exécution* et du fonctionnement de la *signalisation*. Ils ont également été informés de « possibles défaillances » de l'automate et de la signalisation.

### 5.3. Mesures

Nous avons mesuré la performance des participants dans chaque tâche par :

- Dans la tâche de surveillance, le taux de détections d'erreurs par les participants lorsque l'automate ne les gère pas
- Dans la tâche de cible, la proportion de temps passée à l'intérieur de la cible

- c) Dans la tâche de ressources, l'inverse de l'écart moyen entre les valeurs absolues des différences entre les niveaux des réservoirs A et B par rapport à la consigne de 2500 L.

Chaque index de performance a été normalisé entre 0 et 1, 1 correspondant à la performance maximale.

Nous avons également utilisé des questionnaires sur la confiance des participants dans leur capacité à résoudre les tâches avec ou sans automate : « Quelle confiance aviez-vous dans votre capacité à résoudre la tâche de surveillance ? » / « Quelle confiance aviez-vous dans votre capacité à résoudre la tâche de cible ? » / « Quelle confiance aviez-vous dans votre capacité à résoudre la tâche de ressources ? » / « Quelle confiance aviez-vous dans l'automatisation de la tâche de surveillance pour résoudre les pannes ? » / « Quelle confiance aviez-vous dans le voyant panne pour détecter les pannes ? ». L'échelle était codée de 0 à 10, « pas du tout » à « complètement ».

Le NASA TLX a également été utilisé pour évaluer la charge mentale. Le participant devait définir sa charge sur une échelle de 0 à 10 pour chaque catégorie : exigence mentale, exigence physique, exigence temporelle, effort, performance et la frustration.

Nous avons utilisé un Eye Tracker SMI à 1000hz pour enregistrer les fixations et les saccades.

## 6. RESULTATS

### 6.1. Mesures

#### Performance

Les premiers résultats ont été analysés par une anova mixte, utilisant un facteur intra-sujets (signalisation : 0%/56,25%/87,5%/100%) et un facteur inter-sujets (exécution : 0%/56,25%/87,5%/100%). La performance dans la tâche de surveillance correspondait au taux de détection de défaillances du participant (appui ou non sur les touches F1, F2, F3 ou F4).

Concernant l'automate de l'exécution, la moyenne des détections des défaillances était de 84% pour le niveau à 0%, de 83% pour le niveau à 56,25% et de 80% pour le niveau à 87,5% de résolution. De la même façon que Bagheri et Jamieson (2004), l'effet principal de la fiabilité n'est pas significatif. De plus, aucune différence n'a été observée entre les niveaux de fiabilité pour la performance de la tâche de cible et de la tâche de ressources.

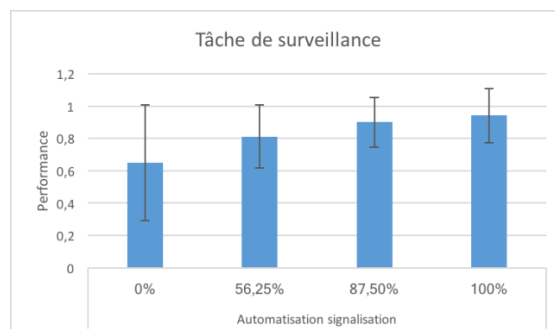


Figure 2. La performance dans la tâche de surveillance selon les niveaux de fiabilité de l'automate signalisation.

En ce qui concerne la signalisation (figure 2), la moyenne des détections des défaillances était de 65% pour le niveau à 0%, de 81% pour le niveau à 56,25%, de 90% pour le niveau à 87,5% de résolution et de 94% pour le niveau à 100%. L'effet principal de l'automate de la signalisation est significatif ( $F(3 ; 92)=19,229, p<0.001$ ). Le niveau de fiabilité de l'automate de la signalisation a donc eu un effet sur le nombre de détections de défaillances de l'automate par les participants.

## 7. CONCLUSION

Ces premiers résultats montrent que l'automate de la signalisation a bien un effet sur le comportement des opérateurs. La bonne signalisation du voyant panne a engendré une meilleure performance des participants pour détecter les défaillances du système automatisé.

Les prochaines analyses, actuellement en cours, à partir des données recueillies par l'Eye Tracker devraient permettre de mieux comprendre les stratégies d'allocation d'attention des participants pour chaque tâche et pour les différents niveaux de fiabilité. Ils permettront donc d'associer la performance à l'allocation attentionnelle et de statuer sur la présence d'un phénomène de contentement. Ce phénomène sera alors rediscuté dans le cadre des situations de planification des transports.

## REFERENCES

Bagheri, N., & Jamieson, G. A. (2004). Considering subjective trust and monitoring behavior in assessing automation-induced "complacency.". *Human performance, situation awareness, and automation: Current research and trends*, 54-59.

Comstock Jr, J. R., & Arnegard, R. J. (1992). The multi-attribute task battery for human operator workload and strategic behavior research.

Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42(3), 462-492.

Fitts, P. M. (1951). *Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic Control System*. Washington (DC), National Research Council.

Hoc, J.M. (2000). La relation homme-machine en situation dynamique. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14, 55-71.

Muir, B. M., & Moray, N. (1996). Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 39(3), 429-460.

Norman, D.A. (1986). Cognitive engineering, in Norman, D.A., Draper, S.W (Eds), *User centered system design, New perspectives on Human-Computer Interaction*, London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 31-61.

Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced 'complacency'. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(1), 1-23.

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286-297.

Rasmussen, J. (1985). The role of hierarchical knowledge representation in decisionmaking and system management. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, (2), 234-243.

Reising, D. C., & Sanderson, P. (2002). Work domain analysis and sensors I: principles and simple example. *International Journal of Human-Computer Studies*, 56(6), 569-596.

Rigas, G., Carling, E., & Brehmer, B. (2002). Reliability and validity of performance measures in microworlds. *Intelligence*, 30, 463-480.

Sheridan, T. B., Verplank, W. L. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. Technical Report, Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. Mass.

Sheridan, T. B. (2011). Adaptive automation, level of automation, allocation authority, supervisory control, and adaptive control: distinctions and modes of adaptation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 41(4), 662-667.

Vicente, K. J., & Rasmussen, J. (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 22(4), 589-606.

Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive science*, 18(1), 87-122.