D'où viennent les schèmes trompeurs des opérateurs dans l'industrie ? Étude dans un micromonde simulant un atelier aéronautique réel.

Marie Hoarau, Camilo Charron, Franck Mars

▶ **To cite this version:**

Marie Hoarau, Camilo Charron, Franck Mars. D'où viennent les schèmes trompeurs des opérateurs dans l'industrie ? Étude dans un micromonde simulant un atelier aéronautique réel.. Ergo'IA 2016, Jul 2016, Bidart/Biarritz, France. pp.Article n°1. hal-01355521

HAL Id: hal-01355521
https://hal.science/hal-01355521

Submitted on 23 Aug 2016

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.

D'OÙ VIENNENT LES SCHÈMES TROMPEURS DES OPÉRATEURS DANS L'INDUSTRIE ? ÉTUDE DANS UN MICROMONDE SIMULANT UN ATELIER AÉRONAUTIQUE RÉEL.

Marie Hoarau
IRCCyN (UMR CNRS 6597),
École Centrale de Nantes,
1 rue de la Noë, 44321 Nantes,
France.
Marie.Hoarau@irccyn.ec-nantes.fr

Camilo Charron
IRCCyN (UMR CNRS 6597),
University of Rennes 2
1 rue de la Noë, 44321 Nantes,
France.
camilo.charron@univ-rennes2.fr

Franck Mars
IRCCyN (UMR CNRS 6597),
CNRS & École Centrale de Nantes,
1 rue de la Noë, 44321 Nantes,
France.
franck.mars@irccyn.ec-nantes.fr

RÉSUMÉ
L'étude présentée ici fait suite à une étude de terrain réalisée dans un atelier d'aéronautique où des opérateurs contrôlent un procédé semi-automatisé d'étirage de cadres métalliques. Des observations et entretiens avaient permis d'identifier un schème trompeur, qui se manifeste par l'utilisation des résultats obtenus sur un cadre afin de paramétrer une machine d'étirage pour un cadre suivant, alors que les propriétés physiques des cadres diffèrent entre eux. L'étude de ce schème s'étant révélée difficile dans l'atelier réel, un micromonde, reprenant les caractéristiques principales de l'atelier, a été développé. Ce nouvel article décrit les résultats obtenus sur ce micromonde. Le micromonde a permis de reproduire l'activité observée dans l'atelier chez douze participants tout-venants : ils ont mis en œuvre le schème trompeur comme les opérateurs de l'atelier. De plus, dans le micromonde, le schème trompeur provoque une diminution des performances mais uniquement chez des participants ayant bénéficié de plus de temps d'entrainement sur le micromonde, les autres participants ayant dans tous les cas des résultats faibles. Les résultats montrent que l'utilisation du micromonde a permis dans ce cas d'étudier un élément cognitif spécifique, ici le schème trompeur, alors qu'il était difficile d'accès dans l'atelier. En outre, ces résultats aboutissent à deux préconisations principales : l'une concerne la nécessité d'une formation spécifique incitant les opérateurs à inhiber le schème trompeur, l'autre concerne le type d'interface à mettre en œuvre dans un assistant au procédé de fabrication.

Mots Clés
Micromonde ; schème trompeur, assistance à l'opérateur,

ABSTRACT
The study presented here follows a former study, lead in a real aeronautical factory where operators control a semi-automated process of metallic frames stretching. The observations and interviews from this first study conducted to the identification of a misleading scheme. This misleading scheme consists in programming a stretching machine according to the results obtained on a precedent frame instead of using the inner frame characteristics. However, since studying this misleading scheme turned out to be complicated in the real factory, a micro-world, reproducing the factory activity was developed. This new article present the results obtained on this micro-world. First, the activity of twelve participants, who had never worked in the factory, was similar to the operator activity as they used the misleading scheme. Moreover, the micro-world showed that the misleading scheme brings a decrease in the performance of participants who were given more time on the micro-world. On the contrary, participant with little training always performed badly, whenever they used the misleading scheme or not. The results showed that the micro-world granted the access to a specific cognitive criterion, the misleading scheme, which was not easily accessible in the real factory. This results lead to two main recommendations: the first one states the importance to give the operator inhibition training against the misleading scheme; the second is with regard to the features an interface helping with the fabrication process should have.

ACM Classification Keywords
H.5.m. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Laboratory experiments. J.4: Social and behavioral sciences

INTRODUCTION

Lors d'une précédente étude [1], visant à faire des préconisations pour un outil d'assistance à un procédé de fabrication, nous avons démontré l'existence de schèmes trompeurs chez les opérateurs d'un atelier d'aéronautique. En effet, suite à l'observation de l'activité de cet atelier d'étirage de cadres métalliques, et à des entretiens auprès des opérateurs, nous avions constaté l'existence de deux représentations antithétiques, et pourtant, concomitantes chez un même opérateur. Ces derniers déclaraient, à la fois, que chaque cadre était différent des autres, et, qu'ils réglaient les programmes d'une machine d'étirage en fonction des résultats obtenus sur un cadre précédent. Deux entretiens avec des chercheurs en physique des matériaux avaient conduit à la conclusion que la dernière proposition était incorrecte.

Nous avions alors déduit qu'il s'agissait là d'un schème trompeur. Un schème est une organisation invariante de l'activité dans une classe de situations données [2]. En l'absence de possibilités pour l'opérateur d'obtenir des informations complètes sur le réel (ex. il est impossible de mesurer toutes les propriétés physiques des cadres sans les détériorer), les schèmes trompeurs servent à combler des lacunes dans la compréhension de la situation, par des croyances hypothétiques. Soit (a) ces croyances proviennent d'expériences antérieures à l'activité professionnelle qui se sont révélées pertinentes aux yeux de l'opérateur (origine ontogénétique), soit (b) elles peuvent être issues de fausses déductions acquises au fil de la pratique (origine professionnelle). Or certaines situations favorisent la mise en œuvre par l'individu de représentations erronées ou partiellement justes [3]. Ces schèmes trompeurs, activés alors qu'ils ne le devraient pas, mis en œuvre alors qu'ils devraient être inhibés, se retrouvent tout au long du développement, y compris chez l'adulte [4]. Ces schèmes trompeurs constituent des représentations erronées qui induisent des actions contre-productives susceptibles de fortement dégrader les performances.

Dans cet atelier, l'étude du schème trompeur et de ses conséquences sur la production sont difficiles à estimer et à étudier pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il n'y a qu'un nombre limité d'opérateurs qui ont accès au poste d'étirage ce qui limite les possibilités d'observation. De plus, il est difficile de maîtriser la qualité des cadres arrivant dans l'atelier et donc de procéder à des essais contrôlés. Enfin, les actions autorisées à l'opérateur sont restreintes par les conditions de travail (par exemple, l'accès à la modification du programme est interdit à certains opérateurs).

En conséquence, nous avons décidé d'étudier cette situation de travail *via* un micromonde. Il s'agit d'une simulation informatique simplifiée d'un atelier réel qui peut faciliter l'étude d'environnements dynamiques, pourvu qu'elle soit suffisamment réaliste aux yeux de l'utilisateur. Ce micromonde a été développé à partir des éléments recueillis lors de l'analyse de l'activité des opérateurs [1], analyse réalisée conformément au protocole décrit dans le cadre de la conception d'interfaces écologiques [5]. En effet, utiliser les éléments recueillis lors de l'analyse de l'activité permet de créer un micromonde plus fidèle et réaliste [6].

Ce micromonde s'est donc intégré dans la démarche d'ergonomie que nous avons choisie. Il doit permettre, en évitant de perturber le processus de production et en limitant les pertes inhérentes à une démarche de recherche, d'approfondir un sujet précis. Ce paradigme expérimental n'est pas nouveau, mais grâce aux nouvelles technologies accessibles et à leur développement, il peut être intéressant de rappeler de quelle façon il peut servir la recherche et le travail d'ergonome. Ici, il doit nous permettre d'évaluer les effets du schème trompeur et de valider et de compléter des recommandations concernant une interface d'assistance aux procédés fabrications qui avaient été faites suites à l'étude de terrain.

MÉTHODE

Participants

Les participants à cette étude sont douze étudiants et actifs recrutés via les listes de diffusions de l'École Centrale de Nantes. Ils ont entre 21 et 34 ans, (m=26.92, SD=4,08).

Ces participants sont répartis en deux groupes expérimentaux : les six premiers participants sont laissés en totale autonomie, les six autres sont entrainés. Une description précise des différences entre ces deux groupes est présentée dans la partie concernant le protocole expérimental. En outre nous avons contrôlé deux facteurs pouvant avoir un effet sur les résultats obtenus : les connaissances antérieures concernant la physique des poutres et les habitudes de jeux vidéo des participants.

Présentation du micromonde

Le micromonde est une simulation simplifiée de l'atelier réel. Il s'agit ici d'un monde virtuel en trois dimensions dans lequelle les participants peuvent, *via* la souris ou le clavier, se déplacer et interagir avec les outils ou les machines. Dans le micromonde, comme dans l'atelier réel, les opérateurs doivent incurver et étirer des poutres métalliques initialement rectilignes. Ils doivent pour cela utiliser une machine d'étirage (voir Figure 1) dont ils peuvent modifier plusieurs paramètres : la vitesse,

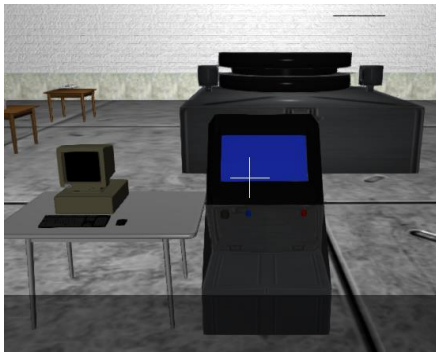

Figure 1 : poste de contrôle et machine d'étirage dans le micromonde.

l'allongement, l'enroulement. Ainsi, après avoir cliqué sur le poste de contrôle de la machine, ils peuvent entrer les valeurs qu'ils souhaitent avec le pavé numérique. Ce processus s'appelle l'étirage. Il se déroule en deux temps, la première et la deuxième passe, séparées par une étape de modification thermique : la trempe.

Les éléments communs à l'atelier réel et au micromonde sont présentés dans le Tableau 1.

À l'issus de chaque phase d'étirage, les participants doivent, contrôler l'angle d'enroulement, la longueur du cadre, la rectitude et la planéité. Ces deux derniers éléments sont relatifs à la forme du cadre vu en coupe : il a une forme de I ou de U, il doit garder cette forme en fin d'étirage. Pour ce faire, les opérateurs doivent utiliser des outils (chenilles et cales) qui, dans le micromonde sont adaptés aux cadres : les résultats seront bons sauf si le participant se trompe de référence ou les oublie.

En ce qui concerne l'angle et la longueur du cadre, le participant peut les contrôler grâce au programme de la machine d'étirage qu'il faut adapter aux caractéristiques internes du cadre. Ces caractéristiques internes des cadres sont le module de Young et la limite d'élasticité du cadre. Pour chaque cadre le module de Young est inconnu mais il est fixe. La limite d'élasticité est connue mais varie au cours du temps après la trempe. Pour limiter cette variation, le participant peut mettre le cadre dans une chambre froide, ce qui stoppe l'évolution de cette caractéristique.

Le Tableau 2 résume les effets de chaque élément sur les résultats.

Le module de Young est différent pour chaque cadre. Cependant, en fonction du scénario, la différence est plus ou moins importante soit par rapport au cadre de référence, soit entre chaque cadre. Pour cette étude, six scénarios ont été implémentés.

Le scénario 1 constitue un scénario de prise en main du micromonde : les cadres sont tels qu'attendus par les programmes de base et leurs modules de Young sont très proches les uns des autres. Utiliser les programmes par défaut, et ne pas laisser les cadres en dehors du frigo, permet d'obtenir un cadre dans les tolérances et proche des valeurs cibles.

Le scénario 2 est un scénario facile. Les cadres ne sont pas tels qu'attendus dans le programme par défaut, mais les modules de Young sont proches les uns des autres. Il est possible d'utiliser un même programme pour tous les cadres et d'obtenir un résultat dans les tolérances, cependant, il y aura des écarts plus ou moins importants par rapport à la valeur cible si le programme n'est pas ajusté finement.

Éléments extraits de l'analyse de l'activité en atelier	**Caractéristiques du micromonde**
Impossibilité de connaitre les caractéristiques internes des cadres (module de Young et limite d'élasticité).	Accès limité à l'information
Chaque cadre à des caractéristiques internes différentes qui vont modifier le résultat de l'activité.	Sources d'aléas multiples
La modification de l'état interne du cadre après trempe est limitée au changement de limite d'élasticité (contrairement à l'atelier) Les aléas causés par la variabilité dans l'écartement des branches restent dans les tolérances sauf en cas d'oubli ou d'erreur (contrairement à l'atelier).	Sources d'aléas limitées
Le participant a le droit de modifier les paramètres du programme (ce qui n'est pas le cas des opérateurs dans l'usine).	Possibilité de contrôler le processus d'étirage
Le participant a la possibilité d'évaluer le résultat de son activité en mesurant différentes dimensions du cadre étiré	Possibilité de contrôler le résultat de son activité

Tableau 1 : caractéristiques du micromonde

Éléments du programme	**Caractéristiques du cadre liées**	**Mesures / Critères d'évaluation**	**Actions et effets sur les résultats**
Cales Chenilles	Écartement des branches	Rectitude Planéité	Oublis, erreurs provoquent un rebut pour rectitude et planéité
Programme d'allongement	Module de Young Limite d'élasticité Temps après trempe	Longueur	Trop grands ou petits peuvent provoquent le rebut pour la longueur
Programme d'enroulement	Module de Young Limite d'élasticité Temps après trempe	Angle	Trop grands ou petits provoquent le rebut pour l'angle
Vitesse	Défauts internes	Aucune	Vitesse trop grande en deuxième passe peut provoquer une rupture du cadre

Tableau 2 : actions, effets sur les performances et mesures possibles

Le scénario 3 est semblable au scénario 2. Il s'agit d'un scénario permettant aux participants de s'entrainer en traitant des valeurs différentes du scénario 2.

Le scénario 4 est un scénario difficile. Les modules de Young cadres sont éloignés de ce qui est attendu par le programme par défaut et ils sont également éloignés les uns des autres. Ainsi l'utilisation d'un seul programme pour tous les cadres ne permettra pas d'obtenir des cadres dans les tolérances.

Le scénario 5 est semblable aux scénarios 2 et 3 modulo la présence de deux lots de cadres différents. Ainsi les valeurs de module de Young sont éloignées de ce qui est attendu par la machine mais ils sont proches les uns des autres dans un même lot. Un programme par lot permet d'obtenir des cadres dans les tolérances mais avec des écarts aux valeurs cibles.

Enfin, le scénario 6 est semblable au scénario 4 mais les valeurs de module de Young ne sont pas les mêmes. Les cadres rencontrés sont donc nouveaux.

Protocole expérimental

Les participants sont séparés en deux groupes qui différent tant en fonction des scénarios qu'ils rencontrent que par l'accompagnement auquel ils ont droit.

Les participants du groupe « autonome » sont laissés seuls devant le compagnon virtuel après une présentation de l'environnement et de la tâche par un diaporama. Ils réalisent les scénarios 1, 2, 5 et 6.

Les participants du groupe « entrainé » réalisent tous les scénarios. Ils sont, de plus, accompagnés lors des quatre premiers scénarios. En plus de recevoir un retour expliquant les résultats qu'ils obtiennent lors de l'exécution de la tâche, ils sont sensibilisés aux différences qui existent entre les cadres et au fait qu'il est trompeur de se fier au résultat du cadre précédent pour régler la machine. En particulier, le scénario 4 doit leur permettre d'éprouver les limites du schème trompeur. Cependant, ils restent libres de leurs actions, ils ne reçoivent pas d'injonctions. Lors des scénarios 5 et 6, ces participants ne sont plus accompagnés ni observés, comme les participants du groupe « autonome ».

Enfin les deux groupes remplissent un questionnaire avant le premier scénario et voient le même diaporama de présentation. Ils réalisent tous un exercice visant à déterminer de quelle façon ils procèdent à l'issu des scénarios 2 et 6. Enfin, comme les scénarios sont assez longs à réaliser (environ 1h chacun), les passations sont divisées en séance de deux scénarios chacune. Le groupe « autonome » réalise donc deux séances de deux scénarios, soit environ 4h, alors que le groupe « entrainé » en réalise 3, soit environ 6h.

La Figure 2 résume le déroulement des séances et le protocole expérimental.

HYPOTHÈSES

Le schème trompeur observé dans l'atelier devrait se manifester dans le micromonde. En effet, nous retrouvons les mêmes éléments qui peuvent le provoquer : les cadres sont présentés par lot, il n'y a qu'un seul programme de base par type de cadre.

La formation proposée aux participants du groupe « entrainé » devrait leur permettre de ne pas mettre en œuvre le schème trompeur.

Enfin, le schème trompeur devrait avoir un effet négatif sur les performances dans le micromonde lors du scénario 6.

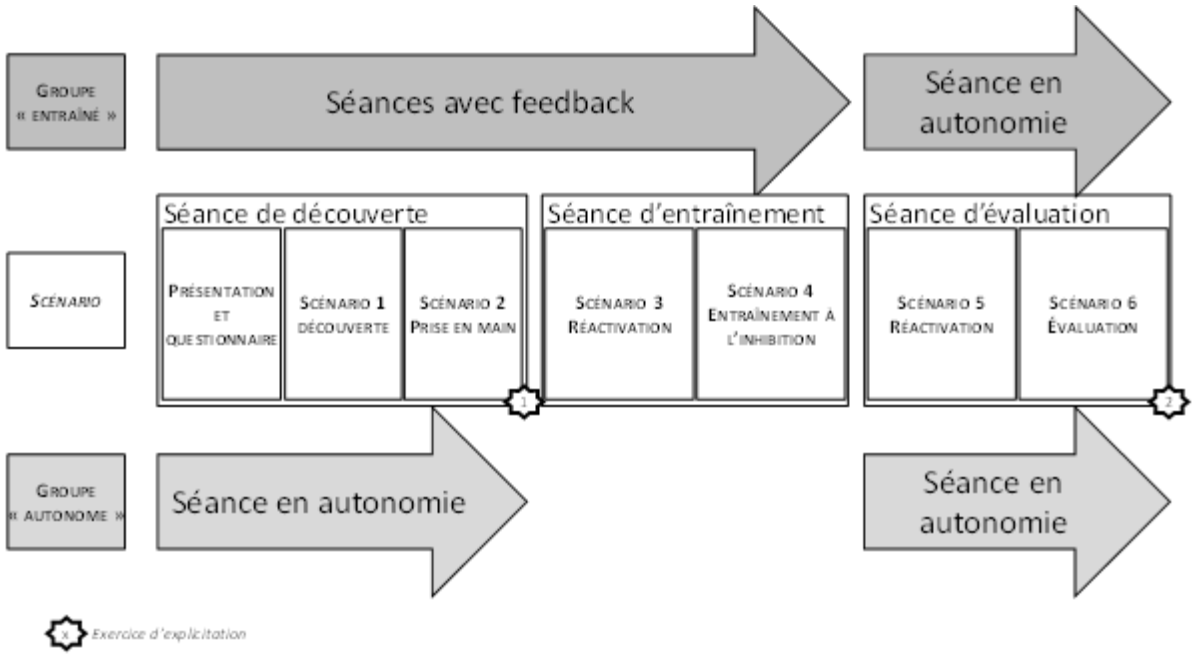

Figure 2 : représentation schématique du protocole expérimental

RÉSULTATS

Les résultats présentés concernent uniquement le scénario 6. En effet, le scénario 6, comme le scénario 5, est passé dans les mêmes conditions par tous les participants, on peut donc comparer les résultats obtenus. Enfin, le scénario 6, avec le scénario 4, est celui qui permet de voir se manifester le schème trompeur. En effet, dans les autres scénarios, les cadres étant très proches, le schème trompeur ne provoquerait pas de différence de comportement chez les participants le mettant en œuvre et chez ceux qui ne le mette pas en œuvre. En revanche, les cadres étant différents dans le scénario 6, le schème trompeur devrait se manifester par une façon de régler la machine particulière.

Détection du schème trompeur dans le micromonde

Lorsqu'il est mis en œuvre, le schème trompeur se manifeste de la façon suivante : le participant étire un premier cadre, vérifie le résultat et modifie le programme d'étirage pour le cadre suivant. Statistiquement, il est représenté par un modèle permettant de prédire les paramètres d'étirage en deuxième passe en fonction de la dernière mesure prise sur le cadre précédant.

S'il ne met pas en œuvre le schème trompeur, le participant peut utiliser un schème pertinent. Celui-ci consiste à modifier les paramètres d'étirage en deuxième passe en fonction des résultats obtenus lors de la première passe pour le même cadre. Statistiquement, ce schème est représenté par un modèle liant les paramètres d'étirage en deuxième passe aux résultats obtenus pour le même cadre à l'issu de la première passe.

Parfois, certains participants mettent en œuvre les deux schèmes lors du scénario : soit ils commencent avec le schème trompeur et terminent avec le schème pertinent quand le premier devient inefficace, soit ils regroupent les cadres en fonction du résultat du premier étirage. Ils peuvent ainsi ajuster le programme en fonction du résultat du premier étirage et en fonction du résultat du cadre précédant ayant des caractéristiques proches. Statistiquement, ces stratégies sont représentées par des modèles qui prédisent le programme d'étirage de deuxième passe en fonction du résultat du cadre précédent et du résultat du premier étirage.

Enfin, le participant peut ne pas réguler son activité, ou la réguler à partir d'éléments non identifiés. Statistiquement, cela correspond au modèle nul qui ne considère aucun paramètre permettant de prédire le programme d'étirage.

Ces modèles statistiques ont été établis, pour chaque participant, à partir de tableaux issus des enregistrements générés par le micromonde et présentant pour chaque cadre étiré durant le scénario 6 plusieurs éléments : le programme utilisé en passe 1, en passe 2, la dernière mesure prise sur le même cadre et la dernière mesure prise sur un autre cadre.

Au final, pour chaque participant quatre modèles linéaires généralisés différents sont établis : le modèle nul, le modèle du schème trompeur, le modèle du schème pertinent et le modèle des deux schèmes. La loi utilisée pour ces modèles est une loi gamma. Ces modèles sont réalisés une fois pour l'angle et une fois pour la longueur, les participants ne mettant pas forcément en œuvre le même schème pour chacun de ces critères. Cependant, nous ne présentons ici que les résultats concernant la longueur. En effet, les résultats concernant l'angle sont plus aléatoires et difficiles à analyser, le modèle nul étant souvent choisi. Des observations détaillées des programmes montrent que certains participants choisissent de ne pas traiter cette variable.

Enfin, on détermine le schème utilisé par chaque participant grâce au critère d'information bayésien (en anglais Bayesian Information Criterion ou BIC) : le modèle choisi est, pour chaque participant, celui dont le BIC est le plus petit. Le Tableau 3 montre le nombre de schème de chaque catégorie par groupe expérimental, pour le critère de performance « longueur ».

Différence d'apparition du schème trompeur dans les groupes expérimentaux

Afin de déterminer si le schème trompeur apparaissait de façon différente dans les groupes expérimentaux, nous avons créé deux nouveaux modèles statistiques. Ceux-ci visent à déterminer si oui ou non le schème trompeur apparait différemment dans chacun des groupes expérimentaux, la loi utilisée pour ces modèles linéaires généralisés est donc une loi binomiale. Ici, le modèle « nul » (M0) considère que l'on ne peut pas prédire l'apparition du schème trompeur en fonction du groupe expérimental, le modèle alternatif (M1) considère que si et qu'il y a dont une différence entre nos deux groupes.

La comparaison des modèles avec le BIC montre ici que le schème trompeur seul n'apparait pas de la même façon dans les deux groupes expérimentaux en ce qui concerne la longueur (BIC_{M0} = 7,882, BIC_{M1} = 7,192).

Le schème trompeur apparait donc moins chez les participants du groupe « entrainé », d'après le tableau 3.

Cependant, on ne peut pas conclure à sa disparition. En effet, il existe encore chez ces participants mais de façon simultanée au schème pertinent. En effet le modèle des deux schèmes apparait chez deux participants, ceux-ci ont donc soit commencé à l'utiliser puis ils ont changé de schème, soit ils ont regroupé les cadres afin de pouvoir appliquer le schème trompeur tout en prenant en compte le résultat du premier étirage.

	Résultats pour la longueur			
Groupe expérimental	**Modèle nul**	**Schème trompeur**	**Schème pertinent**	**Les deux schèmes**
autonome	1	2	1	2
entrainé	1	0	3	2

Tableau 3 : nombre de participants par modèle statistique pour la longueur en fonction du groupe expérimental

Lien entre performances et schème trompeur

Afin d'établir précisément le lien entre performance et schème trompeur, nous avons d'abord déterminé, pour chaque cadre, s'il était étiré avec le schème pertinent ou avec le schème trompeur. En particulier, pour les participants utilisant les deux schèmes, nous avons cherché à distinguer l'utilisation de l'un puis l'autre ou l'utilisation de la stratégie concernant à regrouper les cadres.

Nous présentons ici les résultats obtenus en ce qui concerne la longueur comme motif de rebut et en terme de distance à la longueur cible. Ce dernier critère correspond à la précision des participants dans la tâche.

Longueur comme motif de rebut

Plusieurs modèles linéaires généralisés ont été établis afin de déterminer le ou les facteurs permettant de prédire le résultat pour ce critère.

Ces modèles et les BIC associés sont présentés dans le Tableau 5. Le premier modèle considéré est le modèle nul, qui stipule qu'il n'y a aucun effet. Le modèle M1 considère qu'il y a un effet croisé du groupe expérimental et du schème trompeur. Le modèle M2 considère qu'il y a un effet du schème trompeur seul. Le modèle M3 considère qu'il y a un effet du groupe expérimental seul. Le modèle M4 considère qu'il y a un effet du schème trompeur mais uniquement pour les participants du groupe « entrainé ». Ainsi, dans ce modèle les participants du groupe « autonome » ne se distinguent pas qu'ils aient ou non le schème trompeur. En revanche, les participants du groupe « entrainé » se distinguent en fonction du schème qu'ils ont utilisé. Enfin, le modèle 5 considère qu'il y a un effet du schème trompeur mais uniquement pour les participants du groupe « autonome ».

Le modèle retenu considère donc que le schème trompeur a un effet mais uniquement pour les participants du groupe entrainé.

Le Tableau 4 montre que les participants du groupe « entrainé » qui utilisent le schème trompeur rebutent 7 cadres sur 13 alors qu'en absence du schème trompeur, ils n'en rebutent que 4 sur 35. En revanche, les participants du groupe « autonome », rebutent 11 cadres sur 27 en présence du schème trompeur et 11 sur 21 en l'absence de ce dernier, soit environ 46 % de leurs cadres. Ainsi, les participants du groupe « entrainé » ont de bonnes performances lorsqu'ils n'utilisent pas le schème trompeur et de mauvaises performances lorsqu'ils l'utilisent. Les participants du groupe « autonome » ont de mauvaises performances quel que soit le schème utilisé.

Distance à la longueur cible

L'analyse des BIC pour le critère de performance « distance à la longueur cible », garde l'interaction entre le schème trompeur et le groupe expérimental (BICM0 = -409,734 ; BICM1 = -423,750). Les résultats montrent qu'en l'absence du schème trompeur, les participants du groupe « entraîné » sont proches de la valeur cible. Ils sont donc très précis. Par contre, ils sont plus éloignés de la valeur cible lorsque le schème trompeur et présent. Inversement, les participants du groupe « autonome » sont plus proches de la valeur cible, donc plus précis, quand le schème trompeur est présent, comme on peut le voir sur la Figure 3, sans pour autant rattraper les participants du

	Absence du schème trompeur		**Présence du schème trompeur**	
	autonomes	**entrainés**	**autonomes**	**entrainés**
Non rebutés	10	31	16	6
Rebutés	11	4	11	7

Tableau 4 : distribution du nombre de cadres rebutés ou non pour la longueur par groupe expérimental en fonction de la présence ou de l'absence du schème trompeur

Nom du modèle	Hypothèse (mathématique)	Nombre de paramètres	Hypothèse (expression littérale)	BIC
M_0	$\pi_{1=}\ \pi_{2=}\ \pi_{3=}\ \pi_{4=}\ \pi$	1	Modèle nul : aucun paramètre n'a d'effet	33.174
M_1	$\pi_{1\neq}\ \pi_{2\neq}\ \pi_{3\neq}\ \pi_4$	4	Modèle complet : tous les paramètres ont un effet	31.701
M_2	$\pi_{12=}\ \pi_{12\neq}\ \pi_{34=}\ \pi_{34}$	2	Effet du schème trompeur seul	34.324
M_3	$\pi_{13=}\ \pi_{13\neq}\ \pi_{24=}\pi_{24}$	2	Effet du groupe seul	32.070
M_4	$\pi_{13=}\ \pi_{13\neq}\ \pi_{2\neq}\pi_4$	3	Effet du schème uniquement pour le groupe entrainé	27.782*
M_5	$\pi_{1\neq}\ \pi_{3\neq}\ \pi_{24\ =}\ \pi_{24}$	3	Effet du schème pour le groupe autonome	35.989

Tableau 5 : liste des modèles testés et BIC associés

Note : π_1 = probabilité de voir le cadre rebuté chez les participants du groupe « autonome » n'ayant pas le schème trompeur, π_2 = probabilité de voir le cadre rebuté chez les participants du groupe « entraîné » n'ayant pas le schème trompeur, $\pi 3$ = probabilité de voir le cadre rebuté chez les participants du groupe « autonome » ayant le schème trompeur, $\pi 4$ = probabilité de voir le cadre rebuté chez les participants du groupe « entrainé » ayant le schème trompeur. Les probabilités ayant deux chiffres en indices sont obtenues en considérant que les deux groupes sont confondus. Par exemple, pour π_{12} on considère que les participants n'ayant pas le schème trompeur sont identiques qu'ils appartiennent au groupe « autonome » ou « entrainé ».

Les probabilités ne sont pas connues elles sont estimées à partir des données par la méthode du maximum de vraisemblance

* : modèle gardé.

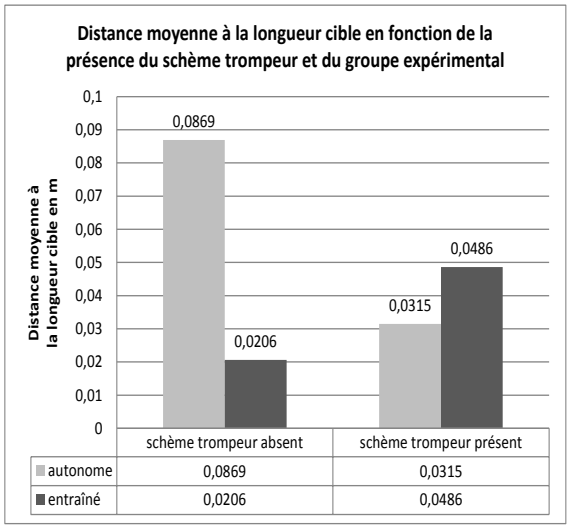

Figure 3 : distance moyenne à la longueur cible en fonction de la présence du schème trompeur et du groupe expérimental

groupe « entrainé » qui n'utilisent pas le schème trompeur.

DISCUSSION

Le schème trompeur apparait bien chez les participants du micromonde lors du scenario 6, ce qui laisse entendre que ce micromonde permet une comparaison de l'activité des opérateurs réels et des participants à cette étude. En particulier, le micromonde tel qu'il a été conçu permet d'étudier l'effet théorique du schème trompeur sur les performances.

Un second résultat intéressant est celui de l'effet de la formation que nous avons élaborée sur le schème trompeur. Cette formation succincte permet de limiter l'apparition de ce schème trompeur. Cependant, on ne peut pas considérer qu'elle l'élimine totalement. En effet, certains des participants qui ont été sensibilisés au schème trompeur le mettent en œuvre sur quelques cadres avant de constater son inefficacité et de changer de stratégie. D'autres l'utilisent de façon détournée, en regroupant les cadres.

Plusieurs hypothèses peuvent apporter des éléments de réponses expliquant ce phénomène.

La première hypothèse concerne le coût cognitif engagé lors de l'utilisation de ce schème trompeur. En effet, si le participant utilise ce schème trompeur tout en sachant, car il l'a appris lors d'une formation, qu'il n'est pas toujours efficace, il est fort probable que ce schème trompeur est peu coûteux à mettre en œuvre pour ces participants.

En référence au modèle du contrôle cognitif [7], il peut être coûteux pour un individu de devoir anticiper, ou de traiter de façon interne les données sur lesquelles on travaille. En revanche, externaliser certaines informations, ou travailler de façon plus réactive est en général moins coûteux. Or, ici, lorsque les participants utilisent le schème trompeur, ils externalisent l'information. En effet, ils n'essayent pas d'anticiper, ou de calculer le résultat de leur action, ils se contentent d'observer le résultat obtenu. En revanche, mettre en œuvre le schème pertinent nécessite pour le participant d'anticiper un résultat potentiel à partir des informations disponibles. Cela peut donc représenter un coût cognitif important, en particulier si les calculs permettant d'anticiper les résultats sont complexes. Dans ce cadre, externaliser les calculs nécessaires, en donnant par exemple un outil de simulation permettant d'aider le participant à anticiper les résultats obtenus devrait diminuer le coût cognitif inhérent à l'utilisation du schème pertinent. Il en résulterait une moindre utilisation du schème trompeur. En effet, pour Pascual-Leone [8], lors d'une situation problème, l'individu doit allouer des ressources cognitives aux différents schèmes pouvant l'aider à résoudre la situation. Il fait ensuite le tri parmi eux. Il doit parfois également allouer des ressources à l'inhibition de certains d'entre eux. Selon ce modèle, diminuer le coût associé à l'utilisation du schème pertinent devrait donc favoriser son utilisation chez les participants et limiter l'utilisation du schème trompeur.

La seconde hypothèse est que le schème trompeur, tout comme une heuristique de décision, permet dans certaines situations de résoudre le problème posé. Il est donc valide de l'utiliser le plus souvent sans que cela n'ait d'effets négatifs sur les résultats. Et chaque utilisation fructueuse de ce schème trompeur va le renforcer. Dans ce cas, la simple présentation d'une simulation permettant d'anticiper les résultats à moindre coût, même si elle cohérente avec le schème pertinent, risque de ne pas suffire. Il faudra donc travailler explicitement l'inhibition du schème trompeur [4].

Le dernier résultat intéressant obtenu concerne les effets du schème trompeur en lui-même. En effet, dans le micromonde, il a un effet négatif sur les performances, mais uniquement chez les participants du groupe « entrainé ». On peut expliquer ce résultat car les participants du groupe « autonome » ont des résultats faibles quel que soit le schème qu'ils utilisent. En revanche, les participants du groupe « entrainé » sont capables d'obtenir de bons résultats lorsqu'ils ne mobilisent pas le schème trompeur. En effet, il semble que ces derniers aient réussi à développer des règles, d'après la définition de la taxonomie de Rasmussen [9]. C'est-à-dire qu'ils sont capables d'associer une mesure obtenue à un réglage précis de la machine. En effet, ces participants rebutent moins de cadres à cause de la longueur, mais ils sont également plus précis, c'est-à-dire plus proches de la longueur cible. Les participants du groupe « autonome » n'ont pas eu le temps nécessaire pour développer de telles règles.

Cependant, si les participants du groupe « entrainé » possèdent ces règles, l'utilisation du schème trompeur empêche de les utiliser correctement. En effet, le paramètre d'ajustement qu'ils utilisent, *i*.e. le résultat du

cadre précédant, rend l'application de la bonne règle caduque en présence du schème trompeur. Au contraire, utiliser la même règle à partir des résultats du cadre en cours est la seule façon d'obtenir un bon résultat dans le scénario 6.

CONCLUSIONS

L'utilisation du micromonde nous a permis d'étudier de façon plus détaillée le schème trompeur que l'étude de l'atelier réel.

En outre, l'étude présentée dans cet article a consolidé des recommandations, issues de l'observation du terrain d'étude, quant au développement d'une interface graphique d'assistance au procédé de fabrication qui sera mise en œuvre dans l'atelier. En effet, au vu des résultats obtenus, il semble effectivement important de limiter l'utilisation du schème trompeur. Pour ce faire, l'interface de l'assistant devra transmettre une représentation complète de l'activité comme soutenu dans le cadre de la conception d'interface écologique [10]. Elle soutiendrait ainsi différents niveaux d'activité chez l'opérateur : tant les règles qu'il utilise que sa représentation de la tâche. Cependant, une formation initiale, intégrant un volet visant à inhiber le schème trompeur [4], devra être mise en œuvre avant l'utilisation d'une telle interface.

Enfin, le micromonde pourra à nouveau être utilisé afin de tester virtuellement les effets d'une telle interface sur le schème trompeur avant les tests et le déploiement effectif dans l'atelier. Ainsi, l'utilisation du micromonde s'est ici inscrite dans notre démarche d'ergonomie.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. Hoarau, C. Charron, and F. Mars, "Activity Analysis of Expert and Novice Operators in a Semi-Automated Manufacturing Process," in *Proceedings of the 2014 European Conference on Cognitive Ergonomics*, 2014, p. 19.

[2] G. Vergnaud, "La théorie des champs conceptuels," *Rech. En Didact. Mathématiques*, vol. 10, no. 2.3, pp. 133–169, 1991.

[3] J. Pascual-Leone, J. Johnson, and A. Agostino, "Mental Attention, Multiplicative Structures, and the Causal Problems of Cognitive Development," in *The Developmental Relations among Mind, Brain and Education*, M. Ferrari and L. Vuletic, Eds. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010, pp. 49–82.

[4] S. Moutier, N. Angeard, and O. Houdé, "Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm (English)," *Think Reason*, vol. 8, no. 3, pp. 205–224, cover date 2002.

[5] K. B. Bennett and J. Flach, *Display and interface design: subtle science, exact art*. Boca Raton ; London: CRC Press, 2011.

[6] A. Hilliard, "Applying Work Domain Analysis to Scope Micro-or Scaled World Simulator Design: A Petrochemical Domain Case Study.," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2012, vol. 56, pp. 378–382.

[7] J.-M. Hoc and R. Amalberti, "Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations," *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–55, 2007.

[8] J. Pascual-Leone and R. R. Irwin, "Noncognitive factors in high-road/low-road learning: I. Modes of abstraction in adulthood," *J. Adult Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 73–89, 1994.

[9] J. Rasmussen, "Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models," *Syst. Man Cybern. IEEE Trans. On*, no. 3, pp. 257–266, 1983.

[10] J. M. Flach, F. Tanabe, K. Monta, K. J. Vicente, and J. Rasmussen, "An ecological approach to interface design," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 1998, vol. 42, pp. 295–299.