
Effets de l'expertise dans la détection et l'analyse de défauts dans le domaine de la maintenance de matériel industriel complexe issu d'un secteur à risque

Marius Gouthéraud, Jean-Michel Boucheix, Véronique Draï-Zerbib, Alessandro Carlini,
Manon, Ansart, Stéphane Argon & Michel Paindavoine

Université Bourgogne Franche-Comté LEAD CNRS UMR5022 Institut Marey I3M 64 rue de Sully 21000 Dijon,
Marius.Goutheraud@u-bourgogne.fr, Jean-Michel.Boucheix@u-bourgogne.fr, Veronique.Drai-Zerbib@u-bourgogne.fr, Stephane.Argon@gmail.com, Alessandro.Carlini@u-bourgogne.fr,
Manon.Ansart@u-bourgogne.fr, Michel.Paindavoine@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ :

De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine de l'inspection visuelle et la détection de défauts pour étudier les mécanismes cognitifs sous-jacents. Cependant peu d'études se sont concentrées précisément sur l'impact de l'expertise visuelle et ses applications dans des secteurs à risques. Notre étude a pour but de comprendre comment les techniciens experts d'un domaine explorent visuellement du matériel industriel caractéristique d'un secteur à risque¹, afin d'améliorer la compréhension des effets de l'expertise dans ce secteur. Cette démarche permettrait d'améliorer la formation et d'optimiser des postes de travail concernés. Notre étude montre une différence significative entre experts et novices dans la reconnaissance et la détection de la présence (ou non) d'un défaut. Cependant la différence de parcours oculaire entre experts et novices n'est que marginalement significative. Ces résultats suggèrent un effet marginal de l'expertise sur l'exploration visuelle d'image remarquable mais différent de celui décrit dans la littérature.

MOTS-CLES

Ergonomie Cognitive ; Détection de défauts ; Prise de décision ; Expertise ; Analyse du travail

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'Etude

Les systèmes dits « à risques » sont des systèmes dont les conséquences en termes d'incidents ou d'erreurs, pour l'opérateur et pour son environnement, sont impossibles à appréhender du fait de leur ampleur (Amalberti, 1996). Ces systèmes nécessitent donc une surveillance extrême et des évolutions technologiques pour réduire les risques au minimum. Ces mesures et précautions, coordonnées avec l'évolution des technologies, ont poussé ces secteurs vers une forte réduction du nombre d'erreurs de manière générale, aussi bien dans le pilotage d'avion que l'exploitation de l'énergie atomique par exemple. La détection de défaut (i.e. fissure, brûlure, colmatage), est une tâche cruciale dans ces secteurs à risques, et plusieurs études ont investigué les facteurs psychologiques pouvant impacter cette tâche.

1.2. Exploration visuelle de défauts

Les précédentes études sur la détection de défauts alertent sur des risques d'omissions de ces anomalies, allant de 20 à 30% en fonction des individus (Leufkens & al., 2011). Plusieurs études ont été menées visant à identifier les facteurs impactant la détection afin de réduire le nombre d'omissions. Par exemple : le type, la rareté de l'anomalie à observer, la saillance visuelle peuvent entraîner une variation dans la détection visuelle (Wolfe & Horowitz 2005-2017 ; Megaw, 1979).

Plusieurs modèles de l'exploration de défauts ont été développés (i.e. Drury & Chi, 1995), mettant en avant des stratégies variables d'inspection en fonction des caractéristiques des individus.

L'expertise, définie comme la « supériorité des procédures et des performances des experts sur les novices dans un domaine » par Chase et Simon (1973), a également été identifiée comme facteur déterminant dans la compréhension de l'inspection visuelle dans les secteurs à risques. Afin de comprendre les effets de l'expertise, Gegenfurtner et al. (2011) ont publié une méta-analyse regroupant les études d'oculométrie comparant experts et novices dans des tâches d'inspection visuelle. Cette étude fait le constat d'un temps d'inspection visuelle ainsi que des fixations plus longues mais moins nombreuses chez les experts par rapport aux novices sur les zones pertinentes.

En synthèse de ces études, Gegenfurtner et al. (2022) ont proposé une théorie cognitive de l'expertise visuelle, qui développe la façon dont l'expert prélève et traite l'information. Selon cette théorie, l'expert perçoit l'information à partir de l'environnement, tout en intégrant des informations contenues en mémoire à long terme. Dans des tâches d'inspection visuelle, l'expert possède un modèle mental de l'élément à inspecter. Ainsi lors de l'exploration visuelle de cet élément (ou image) il le traitera et inspectera plus rapidement et efficacement en raison des connaissances stockées en mémoire. Ces connaissances vont agir directement sur la représentation de l'élément et donc sur sa facilité à détecter des anomalies, ainsi que sur la façon de prendre de l'information visuellement, en modifiant son parcours oculaire de l'élément par exemple.

Cette théorie semble fournir une explication pertinente et exhaustive des effets de l'expertise sur l'inspection visuelle. Nous avons choisi de vérifier son application dans le domaine de l'inspection visuelle assistée technologiquement. Les études présentées précédemment n'ont pas abordé la question de l'expertise lors d'inspection d'images via le recueil de données avec une technologie récente sur le type de matériel ciblé. C'est ce que propose notre étude. La compréhension des facteurs impactant l'inspection de ces images permettrait d'identifier les besoins, risques et moyens d'amélioration des conditions de travail des techniciens, ce qui constitue une orientation technologique et scientifique indispensable dans les secteurs à risques.

Finalement, à la suite de cette revue nous pouvons formuler la problématique suivante : des différences dans l'efficacité, la représentation de l'image inspectée, ainsi que dans le parcours et les mouvements oculaires sont-elles observables entre novices et experts comme dépeintes dans la bibliographie lors de l'inspection visuelle de défauts sur du matériel industriel dit « à risque » ? Les facteurs relevés dans la bibliographie impactent-ils cette inspection ?

2 MÉTHODE

2.1 Participants

Les 8 participants experts exercent actuellement dans une entreprise employant des techniciens dans un secteur à risque modernisé. Ces experts ont en moyenne 12 ans d'expérience et de pratique dans le domaine et ont suivi une formation adéquate pour exercer en tant que techniciens. Concernant nos sujets novices, les 24 participants sont des étudiants et actifs sans connaissances sur le secteur à risque concerné.

2.2 Matériel

Soixante-trois images réelles représentant des composants industriels (vingt-huit avec défaut, trente-cinq sans) ont été présentées sur écran d'ordinateur (15 pouces, 1920x1080). Les participants ont visualisé ces images sur un ordinateur portable équipé d'un oculomètre Tobii pro-nano, enregistrant les mouvements oculaires avec une fréquence de 60 Hz, et fonctionnant avec les logiciels Tobii Pro Lab et Tobii Pro Eye Tracker Manager.

2.3 Procédure et variables contrôlées

L'expérience s'est déroulée directement sur le site de travail des techniciens pour les sujets experts, et au laboratoire pour les sujets novices. Les deux populations ont signé un formulaire de consentement au préalable de l'étude. Ensuite ils ont renseigné un questionnaire socio-démographique. Un entraînement à la détection a tout d'abord été réalisé, avec une présentation pour les 5 types de défauts possibles. À la suite de cela, pour les deux populations, une soixantaine d'images comportant ou non des défauts ont été présentées. Les estimations orales résultant de l'inspection ont été consignées dans un questionnaire comprenant trois questions relatives à chaque image : la pièce représentée sur l'image comporte-t-elle un défaut ? des zooms/angles de caméra complémentaires sont-ils nécessaires ? s'il y a défaut quel est le type du défaut détecté ?). On enregistrait dans le même temps les mouvements oculaires des sujets lors de la présentation de ces images (après calibration). Une fois la classification achevée, nous cessions l'enregistrement oculaire. Les participants n'ont eu aucune pression ou limite temporelle durant l'ensemble de l'expérience.

L'ordre de présentation des images est randomisé. L'exactitude du type de défaut sur chaque image, leur taille et donc la délimitation des zones d'intérêt (AOI) est contrôlée via les observations fournies par les techniciens sur ces mêmes images. Nous avons choisi de présenter le taux de reconnaissance des défauts sur l'élément inspecté, le nombre et les durées (en ms) de fixations visuelles, le temps avant la première fixation sur le défaut (en ms). Ces données sont des indicateurs fiables d'une inspection visuelle experte selon la méta-analyse de Gegenfurtner et al. (2011).

3 RÉSULTATS

Les résultats de notre étude sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous, comparant 24 novices à 8 experts. Les AOIs ont été délimitées sur chaque image réelle. Elles encadrent l'emplacement des défauts à détecter (pour les images comportant des défauts). Les données oculaires sont enregistrées lorsque le participant concentre son regard sur une zone comportant une anomalie, à chaque fois dans une AOI. Nous avons utilisé des tests non paramétriques (test de Mann-Whitney) pour constater des différences pour chaque variable.

Tableau 1 : Moyennes (μ) et écarts-types (σ) des données recueillies (temps de fixation et temps avant la première fixation en ms, diamètre pupillaire en mm, nombre de fixations en Σ) en fonction de l'expertise. Les colonnes 1 et 2 présentent des données recueillies sur toutes les images, tandis que les colonnes 3, 4 et 5 présentent des données recueillies lorsque les sujets regardaient les zones comportant un défaut (AOI).

	Données sur l'ensemble des images				Données recueillies sur AOI					
	Temps de fixations		Nombre de fixations		Temps de fixations (AOI)		Nombre de fixations (AOI)		Temps avant la 1 ^{ère} fixation (AOI)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Experts	302	67,59	61,63	25,2	424,81	159	12,17	6,7	4066,13	1962
Novices	286	42,71	61,03	22,7	364,46	67,7	7,3	1,9	3677,76	1275

Tableau 2 : Moyennes (μ) et écarts-types (σ) des données recueillies (taux de reconnaissance en %, nombre de saccades en Σ) en fonction de l'expertise. La colonne 4 présente des données recueillies sur toutes les images, tandis que la colonne 5 présente des données recueillies lors du regard du sujet sur les AOI uniquement.

Taux	Résultats questionnaires (performance)						∀ images		AOI	
	Rejets corrects		Détection correcte		Fausse alarmes		Nombre de saccades		Nombre de saccades (AOI)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Experts	90,95	4,21	87,5	5,42	7,62	4,3	53,41	25,5	5,26	3,3
Novices	50,13	15,24	77,60	11,36	48,96	18,68	50,6	18,9	2,65	0,9

Ces résultats indiquent une différence significative dans les performances entre experts et novices (détection correcte : $U = 30.50$, $p < .05$, $r = .538$; fausse alarme : $U = 2.5$, $p < .001$, $r = 0.962$; rejet correct :

U = 0, $p < .001$, $r = 1$), avec une différence marginale dans le parcours oculaire (nombre de saccades sur AOI : $U = 47.5$, $p = .037$, $r = 0.505$; nombre de fixations sur AOI : $U = 51$, $p = .053$, $r = .469$).

4 DISCUSSION

En résumé, nous observons de meilleures performances dans la reconnaissance de présence ($p < .05$) ou d'absence de défauts ($p < .01$) (experts > novices), ainsi qu'un plus grand nombre de fausses alarmes chez les novices ($p < .01$). Concernant les données oculaires, les experts ont effectué un nombre supérieur de saccades ($p < .05$) sur les zones comportant des défauts, ce qui vient contredire les prédictions de la théorie de l'expertise visuelle (Gegenfurtner et al., 2022). Ces résultats suggèrent ainsi un effet de l'expertise sur l'exploration visuelle d'images de composants industriels à risques.

Pour conclure, ces résultats suggèrent un effet de l'expertise sur l'analyse d'images présentant des composants mécaniques, à la fois dans les parcours oculaires, ainsi que dans la détection de présence ou d'absence de défauts. L'expertise a montré un effet marginal sur le nombre de fixations et significatif sur le nombre de saccades sur les AOI, contrairement aux données recueillies en dehors de l'AOI. Ces résultats nous suggèrent donc que les experts procèdent à une analyse plus élaborée et basée sur leurs connaissances, puisque leurs performances de détection sont meilleures et que leur parcours oculaire diffère sur les zones comportant des défauts sans que ce soit le cas de manière générale.

Ainsi, malgré un entraînement aux différents types de défauts, on peut supposer que les novices effectuent toujours des opérations ascendantes, dans une tâche proche d'une catégorisation. Les résultats suggèrent que les experts s'appuient en partie sur leurs connaissances pour inspecter et procéder à l'analyse visuelle d'images, et que ces connaissances leur permettent de traiter une anomalie de façon plus approfondie et localisée. En raison de la rareté et de la spécificité des experts nécessaire à cette étude, nous n'avons malheureusement pas pu réunir une forte population experte. Néanmoins, nous planifions des passations supplémentaires pour plus de significativité.

5 BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R. (1996). La conduite de systèmes à risques. Coll. *Le Travail Humain*. PUF, Paris, 24

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, 4(1), 55-81. Kundel, H. L., & Nodine, C. F. (1975). Interpreting chest radiographs without visual search. *Radiology*, 116(3), 527-532.

Drury, C. G., & Chi, C. F. (1995). A test of economic models of stopping policy in visual search. *IIE transactions*, 27(3), 382-393.

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational psychology review*, 23(4), 523-552.

Gegenfurtner, A., Gruber, H., Holzberger, D., Keskin, Ö., Lehtinen, E., Seidel, T., Stürmer, K., & Säljö, R. (2022). Towards a cognitive theory of visual expertise: Methods of inquiry. In C. Damşa, A. Rajala, G. Ritella, & J. Brouwer (Eds.), *Re-theorizing learning and research methods in learning research*. Routledge

Leufkens, A. M., Van Oijen, M. G. H., Vleggaar, F. P., & Siersema, P. D. (2012). Factors influencing the miss rate of polyps in a back-to-back colonoscopy study. *Endoscopy*, 44(05), 470-475.

Megaw, E. D. (1979). Factors affecting visual inspection accuracy. *Applied ergonomics*, 10(1), 27-32.

Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., & Kenner, N. M. (2005). Rare items often missed in visual searches. *Nature*, 435(7041), 439-440.

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 1-8.

En raison du caractère confidentiel de ce projet, nous ne pouvons divulguer ni le type de matériel industriel à risque investigué, ni la technologie employée pour le recueil, ni les entreprises participant à cette étude.