
L'avantage du matériel visuel indiciel dans la documentation de maintenance aéronautique

David Robin

CLLE-LTC, Université de Toulouse 2, 5 allées Antonio Machado 31058 Toulouse Cedex 9
david.robin@univ-tlse2.fr

André Tricot

CLLE-LTC, Université de Toulouse 2, 5 allées Antonio Machado 31058 Toulouse Cedex 9
andre.tricot@univ-tlse2.fr

Pascale Hugues

CTO IW SP IS – Multimodal services, EADS Innovation Works 18, rue Marius Terce 31000 Saint Martin du Touch
Pascale.Hugues@eads.net

Herimanana Zafiharimalala

CLLE-LTC, Université de Toulouse 2, 5 allées Antonio Machado 31058 Toulouse Cedex 9
Herimanana.Zafiharimalala@univ-tlse2.fr

Catégorie de soumission : communication longue

RÉSUMÉ

L'objectif de cette expérimentation est d'analyser si les modalités de présentation des informations visuelles agissent sur la réalisation de différentes tâches liées à la maintenance aéronautique. Il s'agit de comprendre dans quelle mesure et de quelle nature les changements de présentation ont un impact sur leurs utilisations par des novices. Parmi les formes de représentation, nous avons voulu précisément étudier les effets induits par une amélioration de l'indicialité du document visuel en comparant du matériel 2D réaliste avec son équivalent photographique. La série de tâches demandées semble indiquer que cette propriété agit sur la distanciation de l'utilisateur vis-à-vis des instructions écrites et sur l'estimation des efforts mentaux demandés.

MOTS-CLÉS

documentation de maintenance aéronautique – matériel visuel – indicialité – 2D réaliste vs. Photographie

1 INTRODUCTION

L'ergonomie des documents qui décrivent les procédures à suivre pour garantir le bon fonctionnement d'un avion est un enjeu crucial pour les constructeurs aéronautiques. Une erreur de maintenance entraîne non seulement d'importants retards dans un trafic aérien en expansion et des coûts financiers extrêmement élevés, mais aussi des accidents dramatiques, parfois plusieurs mois après l'intervention. Cette étude participe à la recherche sur l'ergonomie de ces documents procéduraux, en explorant particulièrement la transmission des informations contenues dans les illustrations techniques. Elle se situe résolument dans le cadre posé par Bétrancourt et Tversky (2000) pour lesquelles « *l'efficacité d'une illustration dépend du type de contenu à transmettre, du niveau d'interactivité, de l'objectif de l'illustration, de son design et de la variabilité interindividuelle* ». Cette recherche se trouve donc à l'intersection de trois domaines de connaissances :

- une analyse ergonomique du contexte professionnel de cette utilisation a d'abord permis de dégager les contraintes de l'épreuve, l'activité du technicien et ses stratégies d'utilisation du document ;
- une revue de travaux empiriques en psychologie cognitive a ensuite recensé les effets et principes d'amélioration de la compréhension de documents multimédias ;
- enfin, sur un plan sémiotique, les choix de présentation de l'information visuelle se traduisent par des expressions signifiantes différentes que nous avons systématisées par des potentialités : le document visuel peut être plus ou moins ressemblant, sonorisé, mobile, etc.

Le croisement de ces trois routes nous a permis d'élaborer les protocoles expérimentaux destinés à évaluer l'utilisation de ce matériel visuel spécifique.

2 CONTEXTE DE L'ETUDE

La tâche de maintenance aéronautique est l'ensemble des opérations nécessaires à accomplir afin que l'avion remplisse sa fonction de transport dans les conditions de sécurité optimales. Qu'il s'agisse d'une tâche préparatoire ou de réalisation, elle comprend des moments de récupération d'information à différencier des temps d'exécutions techniques (Zafiharimalala, 2009). Pour réaliser ces tâches, le technicien trouve les informations légales dans un document de type procédural. L'utilisation de ce document est fortement marquée par des contraintes organisationnelles (pression temporelle, accès au matériel...), environnementales (travail à l'extérieur, bruits, poussières) ou encore de postes (accès au matériel, poids, complexité des équipements etc.). Cependant, une série d'études réalisées sur les rapports d'incidents impliquant la maintenance montrent que la cause première de ces incidents est d'abord un défaut informationnel (71 % contre seulement 56% pour une occurrence imprévue) (Lattanzio, Pattanka & Kanki, 2008). Recherchant la source de ces dysfonctionnements, l'analyse montre que la déficience du document est tout aussi importante que la responsabilité de l'opérateur (46% contre 54%). Hobbs (2008) identifie les actions individuelles à l'origine de ces incidents : 1) L'opérateur n'a pas conscience de la mauvaise procédure réalisée. 2) Il admet ne pas avoir la connaissance nécessaire pour réaliser la tâche demandée. 3) Il choisit délibérément de ne pas respecter la procédure décrite par la documentation. 80% des techniciens interrogés affirment s'en être éloignés au moins une fois l'année précédente (Hobbs & Williamson, 2002). L'amélioration de la documentation doit ainsi se situer dans la réduction de ces trois sources accidentogènes.

Cette documentation partage les caractéristiques des autres textes procéduraux : une fragmentation de l'action établie sous forme de buts à atteindre, un mode de lecture spécifique (lire pour faire n'est pas lire pour comprendre), et une pluralité des codes et formats de présentation de l'information. Si la majeure partie des informations est encore délivrée sous forme écrite, les images utilisées bénéficient désormais des possibilités offertes par les avancées technologiques : sophistiquées, elles proposent une grande variété de présentations (schémas, diagrammes, photos, vidéos, animations 3D, voire le mélange de ceux-ci). Ces illustrations techniques peuvent avoir plusieurs fonctions (identification de pièces, prise d'information spatiale, modélisation de connaissances, etc.) et une bonne communication entre document et utilisateur passe donc par le choix du matériel visuel le plus approprié à chacune de ces missions. Or, les modes de classement habituels limitent singulièrement les investigations pour savoir en quoi une illustration favorise ou non une activité : les critères de classification retenus sont parfois extérieurs aux représentations (fonctionnalités, contenus ou supports matériels) ; les segmentations tranchées ne sont plus pertinentes quand les procédés numériques permettent d'obtenir des formes hybrides ; ces taxonomies centrées sur l'image « fixe », intègrent difficilement les animations et les autres modalités de transmission d'information (sons, aspects kinesthésiques...). Nous proposons donc de sortir de ces systèmes en décrivant chaque illustration par une série de propriétés graduées : iconicité, sonorisation, textualité, dynamisme, multiplicité, opacité, mobilité, taille, etc. Parmi celles-ci, nous nous sommes focalisés sur l'une des plus méconnues, l'indicialité.

Dans la terminologie élaborée par Peirce (1979), *l'indice* est un signe non conventionnel (par opposition au *symbole* qui est arbitraire), fondé sur un rapport de contiguïté avec la réalité signifiée, et non sur un rapport d'analogie avec son référent (comme c'est le cas avec *l'icone*). Cités souvent en exemples, la fumée et l'empreinte sont les indices respectifs du feu et de l'animal qui est passé. L'indice, par son contact avec l'élément dénoté, apparaît comme le degré premier du signe quand le symbole en est la forme la plus abstraite, l'icone assurant le passage de l'un à l'autre (Joly, 1994). L'indicialité permet ainsi de distinguer certains documents visuels sur un autre plan que celui de la ressemblance : photographies, vidéos et les images dites « scientifiques » ont une indicialité très élevée dans la mesure où elles résultent d'une captation automatisée d'un phénomène ou d'un instantané ; en revanche, les dessins techniques et les images de synthèse sont construits par une activité humaine de représentation, ils ne sont pas l'enregistrement de ce qu'ils représentent et nous les plaçons donc en bas de cette échelle. L'indicialité et l'iconicité apparaissent très souvent amalgamées sous la notion de *réalisme* bien que ces propriétés recoupent des concepts différents. Un document visuel peut être indiciel sans être iconique (ressemblant), comme c'est le cas avec un relevé sismographique (forte indicialité mais faible iconicité). A l'opposé, une peinture dite « hyperréaliste » propose un mimétisme troublant mais elle est une reconstitution et non un enregistrement de son contenu (forte iconicité mais faible indicialité). La question du réalisme mélange ainsi souvent des effets de ressemblance (iconicité) aux effets de réels (indicialité), lesquels sont liés à la croyance du spectateur que ce qu'il voit existe quelque part, (le « *ça a été* » de Barthes, 1980 ; Aumont, 1990). Mais si l'impression iconique de ressemblance a déjà et souvent été testée (Robin & al, 2011), l'indicialité par elle-même est fort peu questionnée, au moment même où la traçabilité numérique des documents et les applications de la réalité augmentée réactualisent cette

problématique. Ainsi, lorsque des études d'opinion (Zafiharimalala, 2009) montrent que les techniciens de maintenance experts souhaitent justement l'ajout de photos et vidéos, un manque de résultats empiriques ne permet pas d'étayer cette demande car cette propriété n'est pas suffisamment isolée pour en connaître les potentialités exclusives.

3 EXPERIMENTATION

3.1 Hypothèses

L'objectif de cette expérimentation est de tester l'effet de l'indicialité du document visuel (c'est-à-dire sa capacité à être la trace perceptible de l'objet qu'il représente) en comparant un matériel 2D réaliste à son équivalent photographique pour différentes fonctions du document issues de tâches du domaine de la maintenance aéronautique. A la suite de Barthes (1980), la littérature sémiotique affirme qu'une illustration de forte indicialité sera surtout pertinente lorsqu'il s'agit de prouver ; le lien avec le référent permet ainsi une attestation de véracité, d'authenticité plus forte des informations transmises et les images enregistrées sont donc utiles pour des tâches de diagnostic car elles déclenchent de facto une interprétation déductive. Mais il ne semble pas qu'il y ait de bénéfices à recourir à cette propriété pour améliorer la réalisation d'autres tâches et nous avons donc fait l'hypothèse que les performances entre les deux versions d'un même contenu seraient similaires pour les tâches de recherche d'information ou de présentation de procédure. Nous attendons en revanche une meilleure évaluation subjective pour le matériel photographique.

3.2 Participants & conditions

A la demande de notre commanditaire, la population de cette expérience est restreinte aux novices du domaine. Deux groupes sont constitués parmi les étudiants en deuxième année BTS aéronautique du Lycée St Exupéry de Blagnac (31). La capacité visuospatiale de chaque individu est évaluée (DAT5) puis les 30 participants sont répartis dans deux groupes afin que les niveaux moyens de chaque groupe soit équivalents (tableau 1). Nous avons aussi évalué, par un questionnaire, la fréquence avec laquelle les participants se servent d'images pour communiquer, selon le type d'image et le support technologique sur lesquels ils s'appuient. En effet, si un participant envoie régulièrement des clichés avec son portable pour informer ses proches ou s'il se fabrique régulièrement des schémas pour résumer des savoirs, ses compétences peuvent entraîner une meilleure compréhension des contenus délivrés par un matériel visuel. Cette pratique iconographique peut être observée comme une forme d'expertise liée aux capacités visuospatiales : plus les capacités visuospatiales sont hautes, plus il est facile d'utiliser le mode visuel pour transmettre des informations et plus les pratiques iconographiques sont favorisées ; réciproquement, une pratique régulière voire systématique permet d'améliorer le score à des tests de mesure de la capacité visuospatiale (Darras, 2001 ; Greenfield 2001 ; Martin-Gutierrez, 2010).

<i>(groupe)</i>	<i>faible indicialité (2D)</i>	<i>forte indicialité (photo)</i>
Nombre de participants	15	15
Âge moyen du groupe	19 ans 8 mois	19 ans
Score moyen Capacité visuospatiale (sur 30)	19,67 (5,49)	19,50 (5,99)
Fréquence des pratiques médiatiques (%)	41,60 (8,00)	40,22 (8,66)

Tableau 1 - Répartition des groupes expérimentaux

Les conditions de passations sont celles d'un environnement neutre, non intrusif. Nous aurions pu imaginer un protocole avec un accès plus difficile à l'information (par exemple en jouant sur la luminosité des lieux, ou en le rendant plus ou moins bruyant) ou imposer des contraintes temporelles aux utilisateurs. Cependant l'utilisation des documents de maintenance, si elle peut effectivement rencontrer ces situations dégradées sur tarmac ou en hangar, se fait majoritairement dans des bureaux et nous nous limiterons à cette occurrence. Les passations se sont déroulées au lycée afin de disposer d'un local spécifique et du matériel nécessaire pour les deux procédures.

3.3 Matériels

Nous avons cherché à respecter au mieux le contexte de l'étude en privilégiant des tâches pertinentes sur des documents authentiques. Le contenu informatif est l'adaptation de documents issus de la base de données d'Airbus et utilisée quotidiennement par les techniciens de maintenance. Le matériel 2D (faible indicialité) a été conçu par réutilisation de documents 3D existants dans cette base de données, ou bien créé pour les besoins de l'expérience, à partir des pièces techniques physiques. Les photos (forte indicialité) ont été prises directement à partir des pièces.

Procédures et questions sont exactement identiques pour les deux groupes d'étudiants, seule change la présentation de l'information visuelle, les contenus et signifiants intra-iconiques (comme l'échelle des plans, les angles de prise de vue, etc.) étant les plus proches possibles. Ainsi, si la présentation visuelle paraît proche avec des différences graphiques estompées, leur origine permet de distinguer deux niveaux d'indicialité différents. Il s'agit bien d'évaluer l'aspect « trace » du matériel et non son degré de ressemblance perceptive.

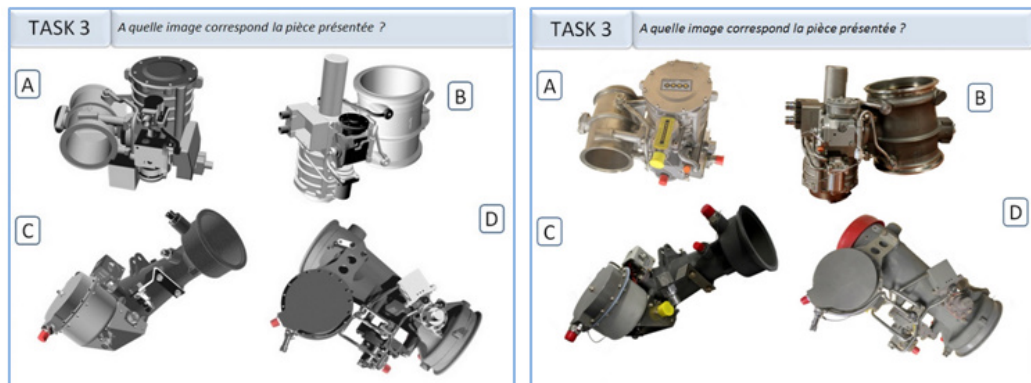


Figure 1 - Les deux versions du matériel visuel proposé pour la tâche 3 (2D et photo).

3.4 Tâches

Pour des raisons légales et pratiques (durée de la tâche, accès au matériel), de véritables tâches de maintenance *in situ* ne pouvaient être envisagées. Après avoir effectué deux premières tâches (non détaillées ici) de prises d'information, on remet une véritable vanne (*Flow control valve*) dans les mains du participant afin qu'il la reconnaisse parmi 4 représentations de vannes sur le même écran (T₃) (figure 1). Il doit ensuite retrouver un élément retiré de la vanne réelle en comparant avec une illustration où l'élément est présent (T₄) (figure 2).

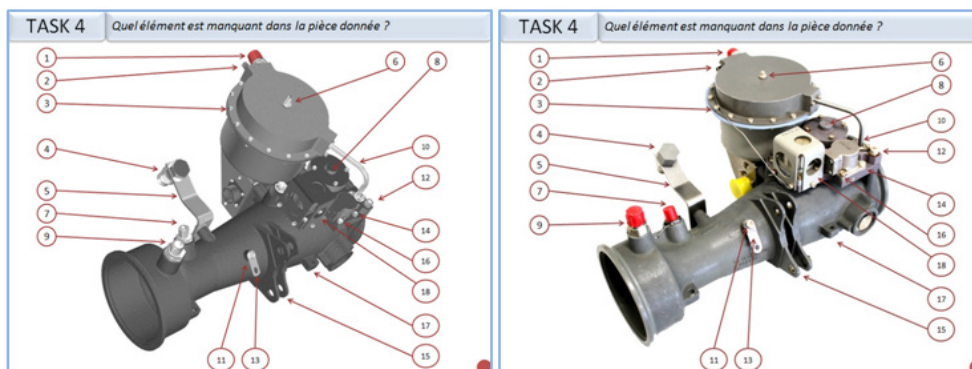


Figure 2 - Les deux versions du matériel visuel proposé pour la tâche 4 (2D et photo).

Les tâches suivantes sont encore des prises d'information qui ne seront pas développées dans ce document. Puis arrive la tâche principale du protocole, la réalisation d'une procédure (T₇ & T₉) qui s'effectue sur une trappe de l'A380 préparée. Le participant doit réaliser (T₇) le démontage (la dépose) puis réinstaller (la pose), du support du mécanisme de la poignée de la trappe. Pour forcer la lecture du document, la procédure écrite fixe précisément les ordres de dépose et repose des vis du support. Attendant au texte, deux images servent à localiser les vis mentionnées (figure 3). L'utilisateur est ensuite occupé

pendant près de 5 minutes, puis de nouveau soumis à la même procédure (T₉). L'intérêt de cette reconduite est de vérifier les effets des différences de matériel visuel sur l'apprentissage de procédures.

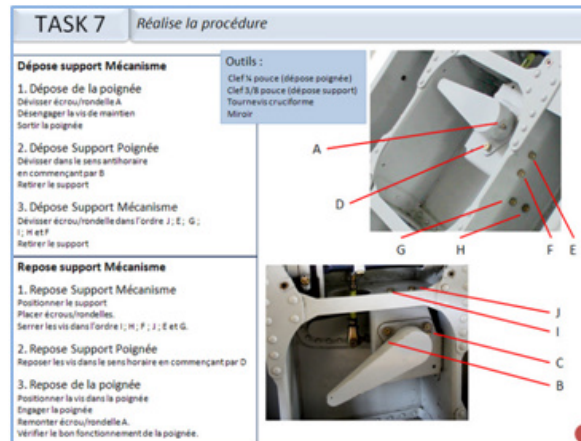


Figure 3 – Matériel visuel (version photographique) pour la procédure (T7 et T9)

3.5 Instruments de recueils des données

Pour les données quantitatives comme la durée ou le nombre de visionnements, nous avons utilisé le logiciel TIP-EXE élaboré par Ganier et Querrec (2008). Conçu afin d'évaluer précisément les documents procéduraux, son principe est simple : les informations textuelles ou visuelles apparaissent floutées selon des zones fixées par l'expérimentateur. Pour les rendre nettes, il faut cliquer dessus ; l'illustration redevient trouble dès que l'on relâche le bouton droit de la souris. Le logiciel calcule la durée précise (ms) pendant laquelle l'utilisateur a regardé attentivement chaque zone (temps de lecture). Pour les données qualitatives, les participants répondent sur un formulaire imprimé. Des typologies des erreurs obtenues pour chaque tâche ainsi qu'une grille d'analyse de la double procédure, ont été construites au cours de pré-tests.

Sur ce même formulaire figurent également des échelles afin que l'utilisateur évalue en toute subjectivité l'effort fourni, selon la méthodologie Nasa TLX. Le temps consacré à cette évaluation n'est pas comptabilisé dans la durée de la tâche elle-même. Enfin, pour visualiser le comportement utilisateur pendant la dépose-repose, on établit un graphique de ses retours au document (en plaçant en ordonnées les étapes de la procédure et en abscisses le nombre ordinal de relecture).

3.6 Résultats

L'ensemble du protocole dure en moyenne 65 minutes dont 25 pour la seule première procédure (T₇).

- **Reconnaissance globale (T₃)**

Indicialité	Faible (2D)	Forte (Photo)
Durée de la tâche (s)	57 (18)	64 (20)
Durée de la lecture (s)	22 (15)	23 (12)
Vanne A	2 (2)	2 (1)
Vanne B	4 (6)	1 (1)
Vanne C (réponse correcte)	10 (7)	11 (7)
Vanne D (modèle proche)	7 (6)	8 (8)
Nombre de réponses correctes	15	15

Tableau 2 - Résultats pour la tâche d'identification globale (T₃)

Si on excepte le temps d'exécution lequel est un peu plus court avec la 2D, les temps de lectures sont globalement extrêmement proches. Les participants ont rapidement éliminés les vannes A et B (voir figure 1), puis départagé les vannes C (la bonne réponse) et D, un modèle proche. Le temps de lecture sur C correspond à la vérification par alignement des deux représentations mentales, celle de l'illustration et

celle de la pièce réelle manipulée. Tous les participants ayant réussi et de façon très similaires, l'indicialité ne semble pas avoir d'effet pour cette tâche.

- **Reconnaissance des éléments (T₄)**

Indicialité	Faible (2D)	Forte (Photo)
Durée de la tâche (s)	58 (22)	63 (28)
Durée de la lecture (s)	37 (22)	35 (23)
Nombre de réponses correctes	15	15

Tableau 3 – Résultats pour la tâche d'identification ponctuelle (T₄)

Là encore, à succès équivalents, la différence entre les deux groupes dans la durée de la tâche (au léger bénéfice de la 2D) ne se traduit pas par une différence significative des temps de lecture. Pour autant, l'utilisation de la photo a semblé moins exigeante aux participants (en termes de travail mental, d'effort ou de sentiment de réussite), comme le montre la figure suivante.

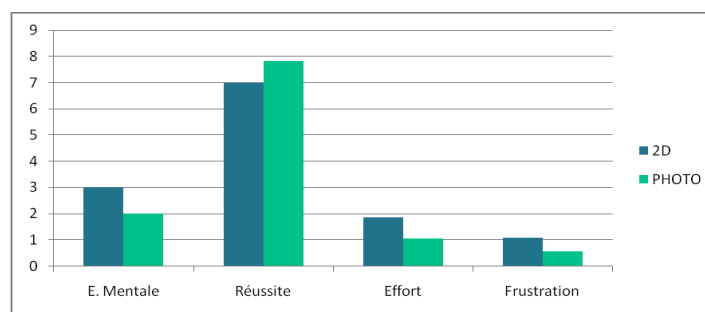


Figure 4 – Évaluation de la charge cognitive par les utilisateurs sur 4 critères après les tâches d'identification.

- **Suivi de procédures (T₇ & T₉)**

Les durées moyennes des premières et secondes déposes ne montrent pas d'écarts significatifs entre les deux matériels (tableau 4), la durée conséquente de la tâche ayant aplani les éventuelles différences. La reproduction de la procédure se traduit par un gain de temps appréciable d'environ 30%, quelle que soit la version proposée, correspondant à un effet fort d'apprentissage. Celui-ci peut expliquer que l'écart de temps de lecture des illustrations (28s) se réduise considérablement lors de la seconde procédure (2s). On notera que les durées moyennes d'exécution de la partie repose donne un avantage dans un premier temps pour le groupe photo, puis dans un deuxième temps pour le groupe 2D.

Indicialité	T ₇		T ₉	
	Faible (2D)	Forte (Photo)	Faible (2D)	Forte (Photo)
Durée d'exécution de la tâche complète (min)	24 (5)	23 (8)	16 (3) (-34%)	16 (6) (-28%)
Temps de préparation (s)	96 (61)	94 (70)	47 (33)	58 (36)
Durée d'exécution de la dépose (min)	11 (5)	10 (5)	6,5 (3)	4,7 (4)
Durée d'exécution de la repose (min)	14 (8)	12,7 (6)	9,3 (3)	11,6 (5)
Temps de lecture des illustrations (s)	103 (30)	75 (38)	21 (11)	19 (12)

Tableau 4 – Résultats quantitatifs pour les tâches de suivi de procédures (T₇ and T₉)

La principale différence entre les groupes se trouve au niveau qualitatif (tableau 5). Aucun participant du groupe 2D n'a suivi la procédure entière telle qu'elle était écrite, y compris la deuxième fois. Après avoir catégorisé les erreurs rencontrées, il apparaît que le matériel photographique a apporté d'abord une meilleure aide pour la localisation des éléments : seulement deux erreurs de repérage contre douze pour le groupe 2D lors de la première dépose par exemple. Pour cette première procédure, l'analyse statistique

montre un effet de la version du document sur ce nombre d'erreurs de repérage, que ce soit lors de la dépose ($t(28)=2,66, p=.007$) ou de la repose ($t(28)=3,05, p=.002$).

Mais les participants du groupe photo ont dans le même temps commis un plus grand nombre d'erreurs d'ordre d'intervention pendant la première dépose (26 contre 20 pour l'autre groupe). Parmi celles-ci, la confusion dans le sens de serrage des trois vis du petit support triangulaire prouve une lecture défaillante des consignes écrites associées. Pour ces erreurs d'ordre, l'écart entre les deux groupes est moins important pour la phase de repose et l'on peut donc penser que pour les opérations de démontage, les opérateurs se soient davantage fiés à l'affordance du dispositif qu'aux instructions. La reconduite de la procédure fait diminuer le nombre de ces erreurs d'ordre pour les deux groupes pour la phase de dépose, mais le nombre de mauvais enchaînements des instructions demeure cependant élevé. En ramenant ces erreurs d'ordre au nombre de procédures respectées, on peut découvrir que si les participants avec photo se sont dans l'ensemble moins trompés, lorsqu'ils se sont trompés, ils ont commis davantage d'erreurs : par exemple, pour la 1^{ère} repose, le rapport est de 2 erreurs d'ordre par individu pour le groupe photo contre 1,67 avec le matériel moins indiciel ; pour la seconde dépose, ce rapport descend à 1,9 pour le groupe photo contre 1,21 pour le groupe 2D. Cela semble indiquer qu'une variable interindividuelle s'est davantage manifestée avec ce groupe et que son effet s'estompe rapidement.

		T7		T9	
Indicialité		Faible (2D)	Forte (Photo)	Faible (2D)	Forte (Photo)
Nb de procédures	entièrement suivies	0	1	0	4
	déposes respectées	2	4	5	6
	reposes respectées	3	4	1	5
Nb total d'erreurs de repérage	dépose	12	2	5	2
	repose	6	0	8	4
Nb total d'erreurs d'ordre	dépose	20	26	11	12
	repose	20	22	17	19

Tableau 5 – Résultats qualitatifs pour les tâches de suivi de procédures (T₇ and T₉)

L'analyse des retours au document va dans le même sens, avec des moments et des fréquences de retours plus hétérogènes pour le matériel photographique. Nous proposons une visualisation de l'activité dans la figure suivante pour la première repose. En ordonnées, nous avons décomposé la procédure en dix étapes ; le nombre de retours sur le document correspond aux abscisses. Comme on peut le voir dans l'éparpillement des tracés, les deux groupes ont adopté des comportements différents. Si l'activité du premier groupe est relativement homogène, un nombre important d'utilisateurs avec matériel photographique a agi sans lire les instructions (les tracés verticaux) et leurs dispersions indiquent une grande liberté envers le document.

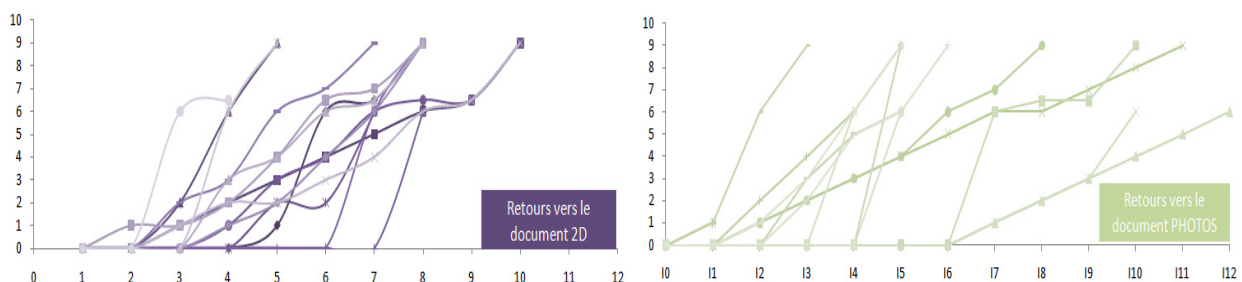


Figure 5 – visualisation des retours sur document pour la première repose (T₇)

Dans cette confrontation entre 2D et photographies, les appréciations relevées sont en faveur de ces dernières et plus particulièrement dans les mesures de ressenti de frustrations, d'effort ($t(28)=1,86, p=.037$), ou d'exigence mentale ($t(28)=1,99, p=.049$), mesures importantes pour déterminer le degré d'acceptabilité d'un matériel.

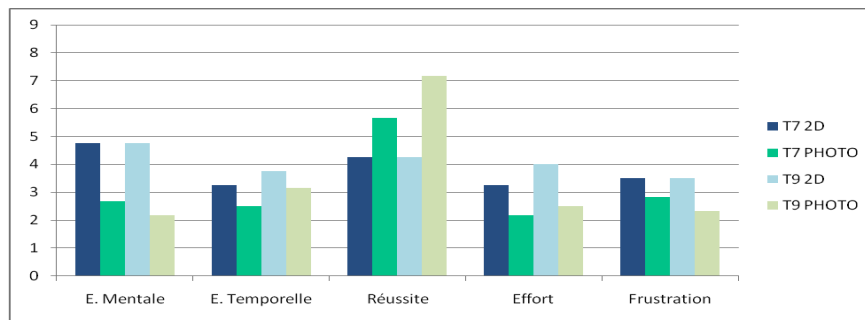


Figure 6 - Évaluation de la charge cognitive par les utilisateurs sur 5 critères après les deux procédures (T₇ & T₉).

4 DISCUSSION

En raison de la faible densité des travaux empiriques sur la question, nous n'attendions pas de différences majeures entre des groupes comparables de novices, soumis à différentes tâches liées à la maintenance avec du matériel visuel plus ou moins indiciel. Si les performances sont proches pour les tâches d'identification, nous avons observé d'importants contrastes de résultats dans la conduite de procédure (dépose – repose) : paradoxalement, avec le matériel photographique ont été constatés à la fois davantage de respects de la procédure et d'erreurs de réalisation de celle-ci. Avec cette version, les utilisateurs ont semblé moins guidés par le document et libres de s'en affranchir. Pour les moins novices (ceux qui avaient l'habitude d'utiliser un tournevis), cela s'est traduit par un avantage en termes de performances, mais cela a pénalisé les autres. Pour le matériel le plus indiciel, cette liberté par rapport à la procédure s'ajoute à un meilleur sentiment de réussite ainsi qu'à des ressentis constants de moindre exigence mentale, d'effort et de frustration. Dès lors, on peut comprendre les bonnes opinions dont bénéficient les supports de forte indicialité (vidéo et photo) auprès des experts. Cependant, la même expérience montre que ce matériel indiciel n'est pas adapté aux novices en maintenance aéronautique : Non seulement il n'a pas permis à l'opérateur de prendre conscience de mauvaises procédures réalisées, mais il a en plus paru inciter l'opérateur à s'éloigner des instructions écrites et légales. Si l'indicialité apparaît bien comme une propriété agissante de la représentation, la pertinence de son étude pourrait prendre une importance notable avec l'essor d'applications utilisant les technologies de réalité augmentée.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Aumont, J. (1990), *L'image*, Nathan, Paris, 1990.
- Barthes, R. (1980), *La chambre claire, notes sur la photographie*. Paris. Cahiers du Cinéma, Gallimard, Le Seuil.
- Bétrancourt, M., & Tversky, B. (2002). Effect of computer Animation on users' performance: a review, *Le travail Humain* 63(4), pp 311-330
- Ganier, F., & Querrec, R. (2008). TIP-EXE; Editeur d'expériences et d'évaluations de documents procéduraux. *Conférence internationale : "De la France au Québec : l'écriture dans tous ses états"*, Poitiers, Janvier 2008, pp. 40-42.
- Hobbs A. (2008). *An Overview of human factors in aviation maintenance*, ATSB Safty Report, Aviation Research and Analysis Report AR 2008-055, 2008.
- Hobbs A., & Williamson A. (2002). Skills, rules and knowledge in aircraft maintenance: errors in context, *Ergonomics*, 2002, 45(4), pp290 – 308.
- Joly, M. (1994), *L'image et les signes*, Nathan, Paris, 1994.
- Lattanzio, D., Patankar, K., & Kanki B. (2008), « Procedural error in Maintenance: a review of research and methods », *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008.
- Peirce, C.S. (1979), *Écrits sur le signe*, Seuil, Paris, 1979
- Robin, D., Tricot, A., Hugues, P., Zafiharimalala, H., (2011), « La ressemblance a encore frappé ! Effets de l'iconicité sur des tâches d'apprentissage en maintenance aéronautique », actes de la conférence EIAH 2011, Université de Mons, Mons, 2011.
- Zafiharimalala, H. (2009). Vers une prise en compte de l'utilisateur dans la conception de documents en maintenance aéronautique. *Actes PeCUSI09*, Toulouse, mai 2009.