
La ressemblance a encore frappé ! Effets de l'iconicité sur des tâches d'apprentissage en maintenance aéronautique

David Robin* **, Pascale Hugues, André Tricot*, Herimana Zafiharimalala* ****

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

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

RÉSUMÉ. L'objectif général de cette expérimentation est d'observer si les modalités de présentations 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'iconicité du document visuel. Une plus grande iconicité va se traduire par une plus grande ressemblance, par un effet de « réalisme » accentué. Concrètement nous opposons des illustrations schématiques à leurs équivalents en 2D. La série de tâches demandées confirme que cet ajout de détails visuels se traduit par une baisse des performances pour les activités exigeantes au niveau cognitif qui n'est pas contre-balançée par une meilleure acceptabilité.

MOTS-CLÉS : maintenance aéronautique – ergonomie du document – matériel visuel - iconicité

1. Introduction

Dans le domaine du multimédia pour l'apprentissage, on a renoncé depuis longtemps à se demander si l'image était un bon support en général. Depuis 10 ans, on se demande plutôt quelle image, avec quel niveau d'interactivité, est efficace pour transmettre quel contenu à quels individus [BETRANCOURT & TVERSKY 00]. Pourtant, même en posant la question de cette manière, de nombreux résultats empiriques demeurent incohérents et les revues de la littérature dans le domaine peinent à dégager des tendances claires [CRISP & SWEIRY 03], qui pourraient être utiles, aux concepteurs de supports pédagogiques. L'objectif de la présente recherche, tout en restant dans le « cadre » de Bétrancourt et Tversky est d'y ajouter une dimension : les caractéristiques sémiotiques de l'image. Nous nous focaliserons en particulier sur la première d'entre elles : l'iconicité.

Les images utilisées dans les supports pour l'apprentissage bénéficient des possibilités offertes par les avancées technologiques : Elles sont plus sophistiquées, gardent la mémoire de leur fabrication, et proposent une grande variété de présentations : schémas, diagrammes, photos, vidéos, animations 3D, voire le mélange de ceux-ci. Or, pour savoir en quoi une illustration favorise l'apprentissage, il faut pouvoir dire précisément ce qui dans l'illustration agit, afin que cette propriété agissante puisse être, selon les objectifs d'usages définis, mise en valeur ou réduite. Les modes de classement hérités des taxonomies biologistes (genre, sous-genre, espèce) limitent singulièrement ces investigations : les critères de classification retenus sont extérieurs aux représentations (fonctionnalités, contenus ou supports matériels) et ne permettent pas de comparaison éditoriale ; les segmentations tranchées ne sont plus pertinentes quand les procédés numériques permettent d'obtenir des formes hybrides : à la traditionnelle opposition entre dessins et photos a succédé un glissando d'objets visuels recourant aux deux techniques (trucage en postproduction ou réalité augmentée par exemple) ; les taxonomies centrées sur l'image « fixe », intègrent difficilement les animations et les autres modalités de transmission d'information (sons, aspects kinesthésiques...) ; l'illustration enfin y apparaît comme un objet définitif, figé et l'action de l'utilisateur du document et la modification de la représentation n'est pas envisagée. Afin de pouvoir faire la comparaison entre deux illustrations, nous proposons de sortir de ces systèmes en décrivant chaque illustration par une série de propriétés graduées. Ces propriétés, parce qu'elles influent sur la transmission d'information, vont devenir les variables pour l'expérimentation.

2. Iconicité : pour quoi est-ce utile d'avoir une image réaliste ?

La question de l'iconicité divise les tenants d'un réalisme conventionnel (les représentations réalistes obéissent à des codes qui varient culturellement, sont arbitraires et résultent d'apprentissages) et les partisans « naturalistes » (les représentations isomorphes sont intuitives ou rapidement apprises quels que soient les individus, elles relèvent du niveau psycho-perceptif) [AUMONT 90]. C'est pourquoi [ECO 92] propose de définir cette propriété non pas comme la similarité entre l'image et son référent, mais plutôt comme un rapport d'analogies entre la représentation et le modèle perceptif de ce référent. [MOLES & ROHMER 80] ont décrit une échelle d'iconicité pour classer les objets visuels en fonction du degré d'analogie perceptive, laquelle a été adaptée aux illustrations pédagogiques par [PERAYA & NYSSSEN 95] ou [BLANC & MOSER 01]. Dans notre contexte d'étude, les images mathématiques sont exclues et l'iconicité se manifeste par des effets de forme – une

image est plus ou moins schématisée -, de volume, de texture ou de couleurs qui rendent l'illustration plus proche de la perception du monde physique.

Les études empiriques qui proposent, à contenus et tâches équivalents, des comparaisons entre des illustrations schématiques et réalistes donnent des indications de pertinence de l'iconicité. Cependant, en les mêlant à d'autres propriétés, comme l'animation, on en masque les effets propres [HÖFFLER & LEUTNER 07]. De l'analyse des effets constatés, il ressort que l'image très ressemblante sera judicieuse si son usage est limité à la monstration (action de montrer quelque chose à quelqu'un) [IMHOF 09] et à la séduction, ce qui se traduit par une confiance dans l'image, surtout pour les non-experts (effet *naïve realism* [SMALLMAN & St JOHN 05]). Les modèles théoriques de la charge cognitive [SWELLER 99] comme celui de [MAYER 01] permettent pourtant de prédire que les effets de la forte iconicité sont négatifs sur les performances qui nécessitent un traitement cognitif conséquent. L'analyse des travaux existants plaide en effet pour une simplification des illustrations (c'est-à-dire une iconicité moindre). Celle-ci, sous la double forme d'un guidage attentionnel et d'une réduction de la complexité spatiale, favorise alors la prise d'information (améliore le *profil de perceptabilité* pour les documents dynamiques [LOWE & BOUCHEIX 08]), et donne les meilleurs résultats en termes de mémorisation (*coherence principle* chez [MAYER & MORENO 03]). Mais, comme l'indique [BETRANCOURT 03], si un graphisme réaliste peut apparaître plus motivant pour l'utilisateur au premier abord, il sera difficile à traiter et donc rapidement abandonné. Revers de la médaille, les images de faible iconicité risquent d'être mal interprétées par des novices, comme cela arrive avec les pictogrammes hors contexte [TIJUS 05]. Ainsi, notre hypothèse générale est que l'effet de l'iconicité dépend des processus cognitifs impliqués par la tâche, tâche qui correspond à la fonction de l'image.

3. Contexte de l'étude : la documentation support à la réalisation de procédures en maintenance aéronautique

3.1. La tâche de maintenance aéronautique dépend d'une information procédurale

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. Une erreur de maintenance entraîne non seulement d'importants retards dans un trafic aérien en expansion et des coûts financiers extrêmement importants, mais aussi des accidents dramatiques, parfois plusieurs mois après l'intervention. Qu'il s'agisse d'une tâche préparatoire ou de réalisation (exécution de l'ordre d'intervention), elle comprend des moments de récupération d'information à différencier des temps d'exécutions techniques [ZAFIHARIMALALA 09] et pour [HOBBS 08], le technicien de maintenance a désormais plus souvent un stylo qu'un tournevis dans la main.

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 sémantiques 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 08]. 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 identifie six actions individuelles à l'origine de ces incidents que l'on peut réduire à trois groupes : 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. Hobbs différencie alors les contournements usuels et ceux pris dans des cas particuliers. 80% des techniciens interrogés reconnaissent s'en être éloignés au moins une fois l'année précédente [HOBBS & WILLIAMSON 02]. L'amélioration de la documentation doit ainsi se situer dans la réduction de ces trois sources accidentelles : en permettant à l'utilisateur de vérifier correctement l'adéquation entre sa réalisation technique et la procédure proposée ; en fournissant les éléments de connaissance nécessaires ; en amenant l'opérateur à utiliser et avoir confiance dans la documentation. Ce dernier point pose clairement la question de l'acceptabilité, de l'appropriation à la fois des procédures et de leur support de diffusion. En résumé, dans le domaine de la maintenance aéronautique, la conception d'une documentation de qualité et perçue comme telle représente un enjeu majeur.

3.2. Les fonctions du matériel visuel dans la documentation aéronautique

Cette documentation de maintenance aéronautique partage les caractéristiques des 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, une part non négligeable est donnée en utilisant des illustrations schématiques ou photographiques. Chez Airbus, la 3D est venue compléter cet arsenal iconographique lors de la mise en service de l'A380 en 2005.

Dans la mesure où nous voulons mettre en relation des types de représentations d'objets avec des activités qui se distinguent par leur fonction, il nous faut isoler la nature de ce matériel visuel du rôle que celui-ci joue pour l'utilisateur [DESNOYER 08]. Parce qu'il s'est avéré impossible de trouver une taxonomie des images techniques adaptée à notre étude, nous utilisons la combinaison de deux propositions issues d'autres domaines : d'une part, les fonctions rencontrées dans toutes les situations de communication décrites par [JAKOBSON 62] ; d'autre part, les fonctions recensées par [PERAYA & NYSSSEN 95] pour les illustrations à caractère pédagogique puisque l'utilisation d'instruction relève d'une forme particulière de cet usage. Comme le montre le tableau 1, on peut ainsi déterminer 12 fonctions qui ne s'excluent pas les unes des autres et se répartissent en trois grandes familles : donner à voir quelque chose (fonction *Référentielle*) ; entraîner une réponse de l'utilisateur (fonction *Conative*) ; maintenir le contact pour la communication soit effective (fonction *Phatique*).

La bonne réalisation d'une tâche de maintenance aéronautique résulte donc de la bonne compréhension d'informations qui peuvent résider dans la partie imagée d'un document multimédia procédural. Ces illustrations techniques peuvent avoir plusieurs missions et une bonne communication entre le document et son utilisateur passe par le choix du matériel visuel le plus approprié à chacune de ces missions. Cette communication est d'autant plus délicate que l'utilisateur est novice du domaine. Or, lorsque l'on les interroge, les techniciens expérimentés demandent majoritairement des illustrations plus réalistes, plus ressemblantes. Nous allons vérifier empiriquement si ce souhait de haute iconicité est compatible avec différentes utilisations du matériel visuel par des novices.

Table 1 : Inventaire des fonctions du matériel visuel dans la documentation de maintenance.

4. Expérimentation

FONCTIONS (d'après [JAKOBSON 62 ; PERAYA 97])	
RÉFÉRENTIELLE	1. MONTRER présenter (synthétiser), décrire (montrer les composants) ; stéréotyper (donner à voir un objet comme représentant d'une classe) ; se substituer à la réalité.
	2. INCARNER rendre visible ; rendre concret.
	3. INFORMER fournir des informations qualitatives, spatiales, contextuelles, covariantes ou temporelles.
	4. PROUVER attester ; convaincre
CONATIVE	5. PRODUIRE déclencher des émotions
	6. MODÉLISER créer des représentations mentales; ajuster les connaissances, mémoriser
	7. ACTIVER diriger gestes, postures, état.
	8. DIVERTIR influencer l'attention
PHATIQUE	9. SIGNALER améliorer la lecture et la navigation dans le document
	10. EMBELLIR Séduire
	11. ASSOCIER créer des liens entre les utilisateurs
MÉTALINGUISTIQUE	12. FOURNIR permettre la compréhension de l'objet imagé lui-même

L'objectif de cette expérimentation est de tester l'effet de l'iconicité du document visuel (c'est-à-dire sa capacité à être ressemblant avec la perception de l'objet qu'il représente) selon différentes fonctions du document (montrer, informer, modéliser, activer) dans des tâches du domaine de la maintenance aéronautique. Pour évaluer le seul impact de l'iconicité, les autres propriétés de la 3D sont volontairement réduites (ni indicialité, ni dynamisme, ni contrôle, ni informations sonores etc.).

4.1. Hypothèses

Une haute iconicité entraîne un coût cognitif plus important, puisqu'elle entraîne une augmentation du nombre d'informations à traiter. Nous faisons donc les hypothèses qu'une plus grande iconicité va entraîner une augmentation du temps de lecture du document visuel (H_1), une plus grande difficulté à créer (H_2) et maintenir (H_3) une représentation mentale opérative, de moins bonnes performances dans la réalisation de procédure (H_4), mais aussi une plus grande facilité à identifier un objet physique globalement (H_5), mais non ces composants (H_6). En revanche, cette plus grande iconicité va être jugée plus positivement par les participants (H_7).

4.2. Participants

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. La capacité visuospatiale de chaque individu est évaluée (DAT5) puis les participants sont répartis dans deux groupes afin que les niveaux moyens de chaque groupe soit équivalents (Table 2). 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 01; GREENFIELD 01 ; MARTIN-GUTIERREZ 10].

<i>Matériel visuel (groupe)</i>	<i>faible iconicité (schéma)</i>	<i>forte iconicité (2D)</i>
Nombre de participants	15	15
Âge moyen du groupe	19 ans 8 mois	19 ans 8 mois
Score moyen Capacité visuospatiale (sur 30)	19,47	19,67
Fréquence des pratiques médiatiques (%)	37,56	41,60

Table 2 : Répartition des groupes expérimentaux

4.3. Dispositifs et matériels

Pour des raisons légales et pratiques (durée de la tâche, accès au matériel), de véritables tâches de maintenance in situ ne pouvaient être envisagées. Nous avons cependant cherché à respecter au mieux le contexte en privilégiant des tâches pertinentes sur des documents authentiques. Le matériel schématique est issu de la base de données élaborée par Airbus (Airn@v) et utilisée quotidiennement par les techniciens de maintenance. Le matériel 2D a été conçu par l'équipe EADS IW – SPIS (Suresnes) par réutilisation de documents 3D existants dans cette base de donnée, ou bien créé pour les besoins de l'expérience, à partir des pièces techniques physiques.

4.4. Tâches

L'expérimentation est organisée en une série de neuf tâches liées aux fonctionnalités du matériel visuel rencontrées en maintenance aéronautique. Les procédures et les questions sont exactement identiques pour les deux groupes d'étudiants ; seule change la présentation de l'information visuelle, les contenus et signifiants intra-iconiques (échelle des plans, angles de prise de vue, etc.) étant les plus proches possibles.

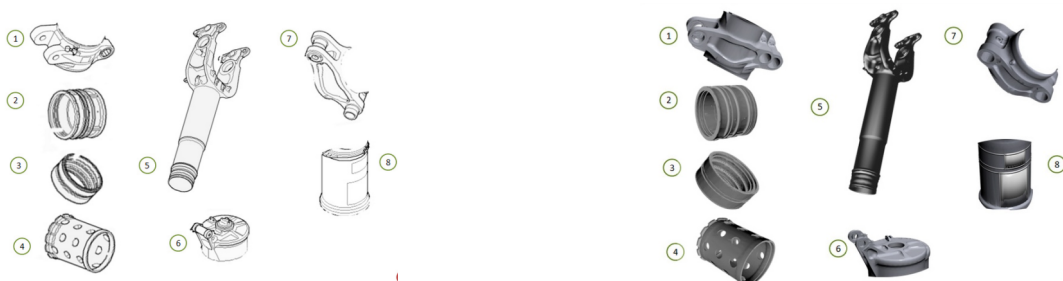


Figure 1 : les deux versions du matériel visuel proposé pour la tâche 2 (schéma et 2D).

Dans la première tâche (T_1), le participant doit reconstituer une pièce appartenant au train d'atterrissage de l'A380 en mettant dans l'ordre les éléments qui la composent. Le modèle de la pièce est présenté. Dans la seconde tâche (T_2), il lui est demandé la même chose, sans modèle, les éléments étant présentés dans un ordre différent, certains d'entre eux ayant

pivoté (voir fig. 1). Quelques minutes plus tard, après plusieurs autres tâches, la même consigne est proposée (T_6), les éléments ayant été de nouveau dispersés.

Entre temps, on aura remis 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 (T_3). Puis il doit retrouver un élément retiré de la vanne en comparant avec une illustration (figure 2) où l'élément est présent (T_4). Les tâches suivantes (T_5 et T_5^2) sont encore des prises d'information qui ne seront pas détaillées ici.

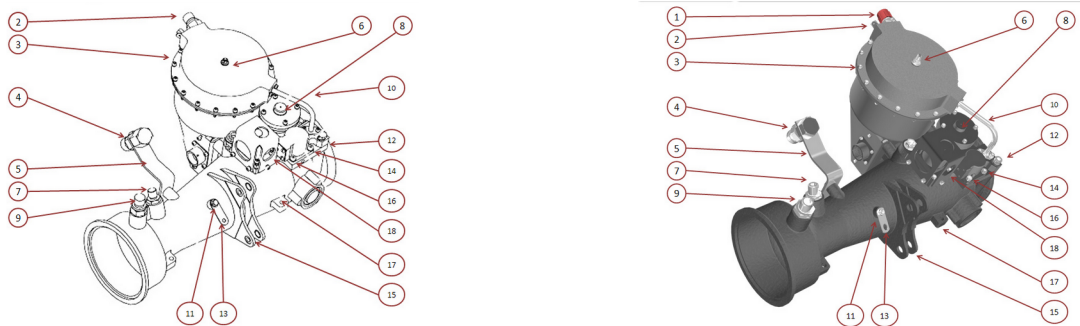


Figure 2 : les deux versions du matériel visuel proposé pour la tâche 4 (schéma et 2D).

La tâche de procédure (T_7 & T_9), le plat de résistance du protocole, s'effectue sur une trappe de l'A380 préparée. Le participant doit réaliser (T_7) le démontage (la dépose) puis réinstaller (la repose), 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. L'utilisateur est ensuite occupé pendant près de 5 minutes (T_8 : visionnement d'une animation de maintenance suivi de quatre questions fermées de compréhension), puis de nouveau soumis à la même procédure (T_9). L'intérêt de cette reconduite est de vérifier les effets des différences de matériel visuel sur l'apprentissage de procédures.

L'ensemble du protocole dure en moyenne 65 minutes dont 25 pour la première procédure (T_7). Les passations se sont déroulées au lycée afin de disposer d'un local spécifique et du matériel nécessaire pour les deux procédures.

4.5. Instruments de recueils des données

Pour les données quantitatives comme la durée ou le nombre de visionnements, nous avons utilisé le logiciel TIP-EXE [GANIER & QUERREC 08]. 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 où les consignes sont également rappelées.

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 des typologies des erreurs obtenues pour chaque tâche ainsi qu'une grille d'analyse fine de la double procédure, ont été construites au cours de pré-tests.

5. Résultats

5.1. Prise d'information, mémorisation et maintien (T_1 , T_2 , T_6)

Iconicité	T_1 (avec modèle)		T_2 (1 ^{er} rappel)		T_6 (2 ^e rappel)	
	faible	forte	faible	forte	faible	forte
Durée de la tâche	177,79 (61,26)	223,27 (96,83)	107,44 (73,46)	116,61 (52,50)	100,61 (66,50)	87,83 (32,97)
Durée de la lecture	16,3 (11,80)	23,26 (17,76)	16,06 (11,38)	34,85 (30,74)	19,05 (17,81)	16,46 (15,86)
Durée de lecture du modèle	56,01 (26,59)	71,40 (47,71)	-	-	-	-
Nb de réponses correctes	8	0	6	1	5	0
Maintien de la réponse précédente	-	-	7	3	7	4
Evaluations de la charge (/ 9)						
Exigence mentale	-	-	5,00	4,87	4,53	4,60
Sentiment de réussite	-	-	5,93	4,47	5,80	4,67
Effort	-	-	3,00	3,73	2,60	3,27
Frustration	-	-	2,13	2,73	1,67	2,60

Table 2 : Moyennes (écart-types) des performances et évaluation de la charge cognitive pour les tâches 1, 2 et 6

Les participants de la version faible iconicité ont majoritairement reconstitué la pièce de référence et 5 d'entre eux sont encore capables de le faire lors du second rappel. En revanche les utilisateurs de la version forte iconicité ont massivement échoué dans cette tâche, même avec modèle. Ils se trompent, non pas parce qu'ils ont fabriqués une représentation mentale erronée, mais parce qu'ils n'en ont pas fabriquée, comme le montre le maintien de l'ordre des éléments entre les tâches T_1 et T_2 d'une part (seulement 3 contre 8 pour les schémas) et T_2 et T_6 d'autre part (4 contre 8). La gamme des erreurs rencontrées est également plus grande avec le matériel plus réaliste. Si les durées de lecture des documents sont également plus importantes lors de la création (ou plutôt tentative de création) de la représentation mentale (entre T_1 et T_2), les performances de mesures s'inversent au second rappel au bénéfice de la forte iconicité. Ce succès du matériel 2D ne se retrouve pas forcément lorsque l'on compare les ressentis des utilisateurs puisque les scores d'exigence mentale sont relativement comparables. Les autres critères sont en faveur pour les schémas, lors des deux rappels. La comparaison des moyennes (test T échantillon indépendant) montre que la version du matériel a impacté la durée totale de lecture en T_2 ($t(28) = -2,20$, $p = .018$) mais non les autres durées, et également le sentiment de réussite en T_2 ($t(28) = 2,10$, $p = .022$).

5.2. Reconnaître une pièce technique donnée (T_3)

Tâche facile, les seules erreurs observées se trouvent dans le camp schématique. La comparaison des durées indique également un temps de prise d'information supérieur pour la version schématique. Plus précisément c'est la discrimination de pièces plus ressemblantes (C et D), qui a coûté du temps au premier groupe (table 3).

Iconicité	faible	forte
Durée de la tâche	59,48 (31,66)	56,92 (17,69)
Durée de la lecture	26,92 (24,70)	21,53 (14,94)
Durée de visionnement de la pièce C (réponse correcte)	11,54 (11,88)	9,80 (7,27)
Durée de visionnement de la pièce D (pièce proche)	11,23 (14,15)	6,91 (5,88)
Nb de réponses correctes	13	15

Table 3 : Moyennes (écart-types) des performances pour la tâche 3

5.3. Reconnaître un élément de la pièce (T_4)

A temps de lectures observés presque identiques, la manipulation de la pièce entraîne une durée de la tâche plus importante du côté schématique. En somme si le schéma est compris plus rapidement, l'alignement avec la pièce réelle demande un temps de manipulation plus important. On notera que les mesures subjectives des deux versions sont proches, la 2D donnant cependant un sentiment d'effort moindre (1,87 contre 2,60). Comme pour la tâche précédente, l'analyse simple statistique ne donne cependant pas de relation significative entre la seule iconicité et les performances produites.

Iconicité	Faible	Fort
Durée de la tâche	70,93 (29,33)	57,58 (22,03)
Durée de la lecture	37,00 (13,11)	36,94 (21,90)
Réponses correctes	13	15
Evaluations de la charge (scores sur 9)		
Exigence mentale	3,10	3,00
Sentiment de réussite	7,25	7,00
Effort	2,60	1,87
Frustration	1,05	1,07

Table 4 : Moyennes (écart-types) des performances et évaluations de la charge pour la tâche 4

5.4. Réalisation de procédure (T_7 & T_9)

La reproduction de la procédure se traduit par un gain de temps appréciable, quelle que soit la version proposée de près d'un tiers pour les deux phases (table 5). Mais si les deux versions sont comparables en termes de durées d'exécution, les temps de lecture sont légèrement inférieurs pour la 2D. Le respect des procédures (dépose comme repose, premier comme deuxième essai) tourne une nouvelle fois à l'avantage des schémas. Les participants avec la 2D ont fait davantage d'erreurs de repérage pour la première partie de la procédure les deux fois (34 contre 30% d'abord ; 31% contre 23%). L'écart entre les deux versions est encore plus important pour le suivi des instructions pour le réassemblage en défaveur du plus iconique (60% contre 20% !).

Iconicité	T_7 (1^{er} essai)		T_9 (2^{ème} essai)	
	Faible	Fort	Faible	Fort
Durée de la tâche (min)	22,63 (3,78)	23,35 (4,32)	15,58 (2,88)	15,55 (2,75)
Durée de la lecture (min)	5,03 (1,62)	3,83 (1,06)	1,80 (0,92)	5,54 (16,01)
Durée de lecture des illustrations (min)	1,80 (0,84)	1,66 (0,49)	0,59 (0,26)	0,33 (0,18)
Respect procédure Dépose	20%	13,3%	40%	33,3%
Repose	60%	20%	46,7%	6,7%

Part des erreurs de repérage	Dépose	30%	34,4%	23%	31,2%
	Repose	20%	23%	19,6%	10%
Nombre de retours sur le document :					
	Dépose	8,13 (2,39)	6,00 (2,73)	4,43 (1,65)	3,87 (1,88)
	Repose	7,93 (2,15)	6,13 (2,47)	5,46 (2,33)	4,27 (3,53)
Évaluations subjectives (scores sur 9)					
	Exigence mentale	3,73	4,33	3,13	3,73
	Exigence physique	2,87	2,73	4,47	3,67
	Exigence temporelle	3,13	2,93	3,00	2,87
	Sentiment de réussite	5,80	4,53	7,00	5,73
	Effort	2,27	3,33	1,93	3,27
	Frustration	2,53	2,87	2,13	2,60

Table 4 : Moyennes (écart-types) des performances et évaluations de la charge pour les tâches 5 et 7

Quel que soit le matériel visuel donné, on assiste à un mouvement croisé : les consignes de dépose sont plus respectées la deuxième fois alors qu'inversement, l'ordre de montage est moins suivi. Une typologie des modes opératoires de cette phase de Repose montre une plus grande variété des modes avec le matériel 2D (les utilisateurs « schématisant » demeurent davantage linéaire : une action élémentaire, une lecture, une action, une lecture etc.). On peut s'en assurer en comparant le nombre de retours vers le document nécessaires pour accomplir la tâche, les utilisateurs de 2D revenant moins souvent lire et prendre des informations. La comparaison des moyennes montre d'ailleurs une relation significative entre l'iconicité des documents et, pour la première procédure, les nombres de retours au document tant pour la dépose ($t(28)=2,28$; $p=.015$) que pour la repose ($t(28)=2,13$; $p=.046$), ainsi que pour les vérifications sans lecture (coup d'œil) en dépose ($t(28)=-2,11$; $p=.022$). Qualitativement, le nombre d'erreur dans le suivi de la procédure en repose est aussi corrélé pour les deux réalisations ($t_7(28)=-2,01$; $p=.022$ et $t_9(28)=-1,76$; $p=.045$).

6. Discussion et conclusion

Posant la question de savoir si les représentations ont par elles-mêmes un impact sur les performances des utilisateurs, nous avons été amenés à séparer ce qui dans l'image elle-même peut jouer sur ces performances et la fonction pédagogique de ce document visuel. Parmi ces propriétés sémiotiques, nous nous sommes plus particulièrement interrogés sur la pertinence d'une forte iconicité pour 4 fonctionnalités fréquentes en maintenance aéronautique, notre domaine d'application : la monstration des objets physiques, la délivrance d'informations, la création de représentations mentales et de gestes techniques. Notre expérimentation semble confirmer dans ce contexte spécifique, les hypothèses émises dans un cadre plus général d'apprentissage, à savoir que la ressemblance dans l'illustration technique constitue plutôt un désavantage sinon un luxe pour les opérateurs novices :

- Fonction d'information : le matériel de plus grande iconicité a effectivement entraîné un temps de lecture du document plus important (H_1) et davantage d'erreurs.
- Fonction de modélisation : une forte iconicité a rendu très difficile la création (H_2) et le maintien (H_3) d'une représentation mentale opérative.
- Fonction procédurale : les performances quantitatives et surtout qualitatives démontrent que la haute iconicité a eu un impact négatif (H_4).
- Fonction de monstration : le matériel de forte iconicité a été plus économe en temps tout en générant moins d'erreurs, que cela soit sur l'objet en entier (H_5) mais aussi sur ses composants (H_6 non confirmée).
- Enfin, la comparaison des recueils subjectifs ne montre pas une préférence déterminante quant à l'utilisation d'images ressemblantes par les novices, les schémas étant

même souvent considérés comme moins exigeants (H_7 non confirmée), sauf dans la tâche de monstration.

Nos résultats confirment que l'activité des opérateurs dépend d'une répartition des ressources cognitives affectée par la tâche demandée et la présentation de l'information nécessaire pour y parvenir. Ils prolongent les travaux de Mayer et Sweller sur l'utilisation de multimédia pédagogique en établissant qu'à contenus équivalents, c'est l'adéquation entre l'expression de ces contenus et leurs utilisations (la tâche) qui détermine les effets favorables ou non du matériel visuel. Ainsi, pour le matériel schématique, une partie du traitement de l'information nécessaire à des activités cognitives importantes a été prise en charge lors de la création du matériel par le concepteur. La réduction des traits de ressemblances superflus au regard de la tâche, a permis à l'utilisateur de s'économiser et de déployer ses ressources cognitives sur la réalisation de ces tâches. En revanche, pour la tâche d'identification, l'utilisateur doit combler les vides pour aligner la représentation avec son référent et restituer les traits manquants, ce qui correspond à une charge cognitive supplémentaire pour cette activité. Cette soustraction de l'encombrement visuel est sans doute à classer parmi les effets de guidage relevés par [SWELLER 99] destinés aux novices dans le cadre d'une activité exigeante cognitivement (*interactivity effect*) et il n'est pas dit que les effets favorables (pour la reconnaissance) ou défavorables (pour les autres fonctions) se retrouvent avec une population experte du domaine. Par ailleurs, il est possible que ces effets liés à l'iconicité puissent s'ajouter ou, au contraire, annuler les effets résultants d'autres propriétés des matériels 3D (dynamisme, interactivité) que nous avons volontairement mis en sommeil ici. On voit donc l'intérêt de cibler au mieux pour la création de supports pédagogiques, non seulement le public auquel il est destiné et le rôle principal qui lui est confié, mais aussi de considérer sur le plan de l'expression, le matériel visuel comme une combinaison active de propriétés agissantes à prendre en considération.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Laurent Juillac et les enseignants du Lycée St Exupéry à Blagnac pour leur disponibilité.

6.1. Bibliographie

- [AUMONT 90] *L'image*, Nathan. coll. Nathan université, série « cinéma et image ». Paris. 1990
- [BETRANCOURT 03] Bétrancourt, M., « Outil ou gadget ? Les promesses non tenues des animations multimédia », TECFA, Genève
- [BETRANCOURT & TVERSKY 00] Bétrancourt, M., Tversky, B., « Effect of computer Animation on users' performance: a review », *Le travail Humain* 63(4), pp 311-330
- [BLANC & MOSES 01] Blanc, J-P., Moser, P., « Scénario 4 : Étude de l'image dans l'enseignement scientifique », scénario pédagogique, novembre 2001
- [CRISP & SWEIRY 03] Crisp., V., Sweiry, E., « Can a picture ruin a thousand word ? », *Research and Evaluation Division*, UCLES, 2003
- [DARRAS 01] Darras, B., « Les formes du savoir et l'éducation à l'image », *Recherche en communication*, n°16 (« Interfaces sémiotiques et cognitions »), pp. 153-166
- [DESNOYERS 08] Desnoyers, L., « Les images de la communication scientifique : d'une approche ergonomique à un essai de taxonomie », *Nouveaux Actes Sémantiques*, 2008.
- [ECO 92] Eco, U. *La production des signes*, Paris, Biblio Essais, 1992.
- [GANIER & QUERREC 08] Ganier, F., Querrec, R., « 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.

- [GREENFIELD 01] Greenfield, P., « Du rôle des jeux vidéo dans l'évolution des sciences cognitives », *Médiamorphoses* n°3, 2001, pp. 51-62
- [HOBBS 08] Hobbs A., An Overview of human factors in aviation maintenance, ATSB Safty Report, Aviation Research and Analysis Report AR 2008-055, 2008.
- [HOBBS WILLIAMSON 02] Hobbs A., Williamson A., « Skills, rules and knowledge in aircraft maintenance : errors in context », *Ergonomics*, 2002, 45(4), pp290 - 308
- [HÖFFLER & LEUTNER 07] Höffler, T., Leutner D., « Instructional animation versus static pictures : a meta-analysis », *Learning and instructions* 17, 2007, pp 722-738
- [IMHOF 09] Imhof, B., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Realism in dynamic, static-sequential, and static-simultaneous visualizations during knowledge acquisition on locomotion patterns. In N. A. Taatgen, & H. van Rijn (Eds.), *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2962-2967). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- [JAKOBSON 62] Jakobson, R., *Essai de Linguistique Générale*. Éd. de Minuit.
- [LATTANZIO 08] Lattanzio, D., Patankar, K., Kank,i B. « Procedural error in Maintenance : a reiew of research and methods », *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008.
- [LOWE & BOUCHEIX 08] Lowe, R.K., Boucheix., J.-M., « Learning from animed diagrams : how are mental models built ? », in G. Stapleton, J.Howse &J. Lee (Eds), *Theory and applications of diagrams* (pp 266-281). Berlin: Springer.
- [MARTIN-GUTIERREZ 10] Martin-Gutierrez. J., Saorn, J-L., Contero M., Alcaniz, M ;, Perez-Lopez, D., Ortega., M.,« Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students», *Computers & Graphics* 34, 2010, pp 77-91
- [MAYER 01] Mayer, R., *Multimedia Learning*, New-York, Cambridge University Press, 2001.
- [MAYER & MORENO 03] Mayer, R. , Moreno, R., « Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning », *Educational Psychologist*, vol. 38, pp 43-52.
- [MOLES & ROHMER 80] Moles, A , Rohmer, E., *L'image, communication fonctionnelle* , Casterman, 1980.
- [PERAYA & NYSSSEN 95] Peraya, D., Nyssen, M.C., « Pour une théorie des paratextes: une étude comparée des manuels de biologie et d'économie », *Cahiers de la Section des Sciences de l'Éducation*, N° 78. Genève, Université de Genève, pp.67-69
- [SMALLMAN & St JOHN 05] Smallman, H., St John, M., « Naïve realism : misplaced faith in realism displays », *Ergonomics in Design*, 13 (3), 2005, pp 6-13.
- [SWELLER 99] Sweller, J., *Instructional Design in technical area*, Camberwell, Acer Press, 1999.
- [TIJUS 05] Tijus, Ch., Barcenilla, J., Cambon de Lavalette, B., Lambinet, L., Lacaste, A., « Conception, compréhension et usages de l'information iconique véhiculée par les pictogrammes » in Alamargot, D., Terrier, P., Cellier, J-M., *Production , comprhésion des écrits techniques au travail*, Toulouse, Octarès, 2005.
- [TRICOT 07] Tricot A., *Apprentissage et documents numériques*, Paris, Ed. Belin, 2007.
- [ZAFIHARIMALALA 09] Zafiharimalala, H., « Vers une prise en compte de l'utilisateur dans la conception de documents en maintenance aéronautique », *Actes PeCUSI09*, Toulouse, mai 2009.