

Etude oculométrique multidisciplinaire appliquée au contrôle aérien

Anne Claire Descalle¹

Anne-claire.Descalle@imag.fr

Brigitte Meillon²

Brigitte.Meillon@imag.fr

Camille Roux¹

Camille.Roux@imag.fr

Nadine Mandran²

Nadine.Mandran@imag.fr

Anne Pellegrin Mille¹

Anne.Pellegrin-mille@imag.fr

Audrey Vidal¹

Audrey.Vidal@imag.fr

1. Floralis – filiale Université Joseph Fourier
2, avenue de Vignate 38610 Gières

2. Laboratoire CLIPS IMAG
BP 53 38041 Grenoble cedex 9

RESUME

Cet article décrit les aspects multidisciplinaires (ergonomie, informatique, statistique) mis en œuvre par l'équipe Multicom du laboratoire CLIPS IMAG de Grenoble, dans le cadre d'un contrat industriel concernant une étude oculométrique dans le contrôle aérien. Cette étude comprend le choix technique d'un eye tracker capable de capturer les mouvements oculaires sur plusieurs écrans, la définition du protocole expérimental, la passation des expérimentations, le développement d'outils logiciels de replay et de traitements des données, et l'analyse des données produites ainsi que leur interprétation.

MOTS CLES : ergonomie cognitive, oculométrie, eye tracker, utilisabilité, contrôle aérien, logiciel, capture de comportement.

ABSTRACT

This paper describes the multidisciplinary aspects (usability, computer science, statistics) implemented by the Multicom team of the CLIPS IMAG laboratory in Grenoble. This study takes place within the framework of an industrial contract concerning a complete eye tracking study for air traffic management. It involves the choice of an eye tracker able to record the ocular movements on several screens, the definition of the experimental plan, the design of software tools dedicated for the replay and the data processing, and the analysis of the data.

KEYWORDS : cognitive science, eye tracking, usability, air traffic management, behavior capture.

INTRODUCTION

Cet article présente une étude réalisée dans le cadre du projet européen Gate To Gate, et commanditée par la

DSNA (Direction des Services de la Navigation Aérienne), partenaire du projet. La participation de notre équipe concernait une étude oculométrique, permettant de participer à la validation de nouveaux outils électroniques destinés aux contrôleurs aériens.

La technique de l'Eye Tracking propose de capturer en temps réel le parcours du regard de l'utilisateur, celui-ci reflétant les opérations cognitives internes de l'individu. Il s'agit ainsi de repérer les fixations (pause du regard) et les saccades (sauts du regard vers un centre d'intérêt) que l'utilisateur élabore lorsqu'il inspecte du matériel visuel (texte, image, document multimédia...). L'enregistrement des mouvements oculaires est considéré à l'heure actuelle comme une technique expérimentale prometteuse pour fournir des indicateurs pertinents sur l'utilisabilité des interfaces. La technique, non intrusive, permet de pister en temps réel la qualité de la prise d'information, les déplacements attentionnels, les difficultés et les stratégies cognitives des utilisateurs [1].

L'originalité de cette étude a porté sur la synergie des compétences de l'équipe en informatique, statistique et ergonomie. En effet, de nombreuses étapes sont nécessaires, depuis la production des données brutes de l'eye tracker, jusqu'à l'interprétation des résultats.

Des experts de ces 3 disciplines ont collaboré de manière étroite pour élaborer :

- Les méthodes d'analyse
- Les indicateurs oculaires nécessaires à l'atteinte des objectifs formulés ci-dessous
- Le type et le format des données à produire pour l'analyse

Nous présentons tout d'abord les objectifs de l'étude, puis le contexte expérimental dans lequel se situe notre intervention, la génération et la validation des données

nécessaires aux analyses, et enfin les réponses méthodologiques et techniques retenues en fonction des hypothèses formulées.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude présentée s'inscrit dans le cadre du projet européen Gate To Gate concernant la gestion du contrôle aérien

Contexte du projet Gate To Gate

Ce projet, concernant le contrôle aérien, a démarré en avril 2002 et se terminera en octobre 2006. Le consortium « Gate To Gate » inclut Eurocontrol, 5 fournisseurs de simulations de trafic aérien, 6 partenaires industriels, un centre de recherche, et trois entreprises d'ingénierie et conseil. Ce projet vise à spécifier et à valider par des simulations une nouvelle génération du système de gestion du trafic aérien européen. Au sein de ce projet, la DSNA est plus particulièrement responsable de la gestion des arrivées.

Description du poste de contrôle

Classiquement, le poste de travail d'un contrôleur aérien est composé de 3 outils principaux. Un écran radar permet au contrôleur de surveiller ses avions. Un tableau de strips papier sur lequel le contrôleur écrit les ordres donnés et les informations relatives à ces avions. Le 3^{ème} outil, l'AMAN (Arrival Manager, appelé encore Maestro ou séquenceur) aide les contrôleurs à séquencer leurs avions selon leur ordre d'atterrissage.

Dans le contexte du projet, la DSNA a développé un outil pour remplacer les strips papiers par des strips électroniques pour les contrôleurs des secteurs terminaux. Cet outil, le Vertidigi, offre en plus d'autres fonctionnalités, telle qu'une vue verticale du secteur ainsi qu'une aide au séquençage et à la régulation du trafic telle que le fait classiquement le Maestro.



Figure 1 Environnement de travail avec le nouvel outil

Hypothèses DSNA

Les hypothèses formulées par la DSNA concernent le bénéfice attendu, apporté par les nouveaux outils dédiés à la coordination et à la gestion des flux d'arrivées.

Les objectifs de Multicom

Parmi les objectifs fixés par la DSNA, Multicom a couvert ceux auxquels la technique de l'eye tracking permettait de répondre. Ces objectifs ont été regroupés selon trois critères ergonomiques : utilisabilité, opérabilité et sécurité. Pour chacun des objectifs, des hypothèses

ont été posées ainsi que les indicateurs oculaires permettant d'y répondre.

Utilisabilité

L'évaluation de l'utilisabilité de l'environnement électronique par le biais de la technique eye tracking permettait d'étudier, d'une part, si la nouvelle fonctionnalité de séquençage et de régulation du trafic améliorerait la gestion de la séquence, et si elle était également facile à comprendre, et d'autre part, si les informations présentes sur le Vertidigi étaient faciles à traiter par les utilisateurs.

Opérabilité

Dans le cadre de l'étude eye tracking, le concept d'opérabilité consistait en l'évaluation de l'impact de l'utilisation d'une nouvelle fonctionnalité de séquençage et de régulation du trafic sur l'activité de contrôle. Il s'agissait de vérifier, dans un premier temps, si le traitement de la séquence était au moins équivalent dans l'environnement « baseline » (avec Strips papier) qu'avec l'outil électronique « Vertidigi ». Dans un deuxième temps, il fallait également estimer l'impact de l'environnement électronique sur la charge de travail du contrôleur aérien, ce qui revenait à établir si l'environnement électronique ne dégradait pas la charge de travail des contrôleurs.

Sécurité

En ce qui concerne cette notion, il fallait évaluer l'impact de l'environnement électronique sur la sécurité du contrôle aérien. En d'autres termes, cela consistait à estimer si l'environnement électronique permettait l'anticipation et l'amélioration de la détection de conflits lors de la tâche de contrôle.

Activités générales du contrôleur

Avant de répondre aux objectifs ci-dessus, nous avons comme but d'analyser l'activité générale du contrôleur dans différents contextes (avec strips papier, avec Vertidigi et Aman, avec Vertidigi sans Aman mais avec la nouvelle fonctionnalité de séquençage). Cela a permis d'observer des différences dans la tâche de contrôle face au changement d'environnement de travail.

CONTEXTE EXPERIMENTAL

Afin d'évaluer le dispositif Vertidigi et ses différentes fonctionnalités, la DSNA a réalisé une session d'expérimentations en simulation. La simulation portait sur la reconstitution de plusieurs postes de contrôle gérant l'ensemble des arrivées d'avions sur Paris. Pour augmenter le réalisme de la simulation, des pilotes assuraient le dialogue avec les contrôleurs et exécutaient leurs ordres. La simulation de l'espace aérien et sa gestion étaient assurés par un système informatique complexe réalisé par les ingénieurs de la DSNA.

Contraintes liées au contexte de simulation

Les enregistrements avec l'eye tracker ont donc été réalisés au sein de ces expérimentations visant à des objectifs plus vastes que ceux auxquels nous devons répondre, ce qui a entraîné pour nous un certain nombre de contraintes non négligeables.

Les dates, le lieu, le planning et le recrutement des sujets ont été effectués par la DSNA. Le planning des expérimentations était serré, les contrôleurs devaient réaliser un certain nombre d'exercices par jour, et il n'a pas été possible de faire des exercices spécialement pour l'eye tracker. Entre les exercices, nous avions peu de temps pour calibrer environnements et sujets. De même, le planning offrait peu de solutions de « rattrapage » en cas de problème d'enregistrement ou autre.

Les enregistrements se sont déroulés du 18 au 20 octobre 2005, dans la salle de simulation du CENA à Athis-Mons. Les simulations étaient réalisées avec le matériel de la DSNA (écrans, UC, etc.), il ne nous était pas possible d'interagir avec celui-ci, ni d'y afficher des repères visuels. Il nous a donc fallu choisir du matériel utilisable « indépendamment » du système de simulation.

Choix de l'eye tracker

Une des difficultés techniques consistait à trouver un eye tracker capable d'enregistrer les mouvements oculaires sur plusieurs écrans, et qui laisse une liberté de mouvement au contrôleur dans sa tâche. Nous avons finalement opté pour l'ASL 6000, système comprenant :

- Un système optique formé de 2 caméras, l'une filmant l'œil du sujet, et l'autre la scène qu'il regarde, monté sur un bandeau réglable.
- Un système de suivi du mouvement de la tête, qui permet de détecter l'écran regardé par le sujet et d'y associer les données fournies par le système optique.



Figure 2 Eye tracker ASL 6000

A la fin d'un enregistrement, le logiciel fournit donc un fichier de données brutes, formé de la séquence des points de fixation (Time code, coordonnées des points dans le repère de l'écran, numéro de « plan » ou écran).

Ce système s'est révélé en général satisfaisant. On peut toutefois noter que les phases de calibration ont été assez délicates, d'une part à cause de la faible marge de manœuvre horaire dont nous disposions, et d'autre part à

cause de la disposition presque horizontale d'un des écrans.

Déroulement des expérimentations

Notre plan expérimental aussi a été contraint. Etant donné le nombre de personnes requises et la logistique à mettre en place pour les simulations, seuls 2 contrôleurs étaient disponibles pour les enregistrements à l'eye tracker. Ces 2 sujets étaient assignés à la surveillance du secteur RT (arrivée à Paris par l'ouest).

3 environnements de travail ont été étudiés à l'eye tracker :

- un environnement traditionnel servant de condition contrôle, avec radar, strips papier et Maestro
- un environnement avec radar, Vertidigi sans l'aide au séquençement et Maestro
- un environnement avec radar et Vertidigi seulement, où les fonctionnalités d'aide au séquençement du Maestro étaient présentes (mais sous formes différentes) sur le Vertidigi.

Les expériences duraient 1 heure en temps de simulation (ce temps pouvait être arrêté, puis reprendre, etc.). Au cours de cette heure, seules 50 minutes ont été prises en compte pour l'analyse. Chaque sujet a fait le même exercice de simulation dans chacune des 3 conditions. Un sujet a exécuté 2 exercices différents et a donc été enregistré 6 fois à l'oculomètre. Au final, 9 enregistrements ont été réalisés, 3 dans chacune des conditions.

GENERATION ET VALIDATION DES DONNEES

Une fois les enregistrements oculaires effectués, une phase de validation de ces données et de génération de données pertinentes pour l'analyse a été mise en place.

Nécessité de synchronisation temporelle et spatiale

Les systèmes d'enregistrement des données oculaires et de simulation du trafic aérien étant indépendants, il était indispensable de prévoir une synchronisation temporelle a posteriori, pour pouvoir ensuite affecter les fixations aux zones d'intérêt nécessaires à l'analyse. En prévision de cet objectif, il était demandé au contrôleur, tous les quarts d'heure, de cliquer et regarder des endroits spécifiques des 3 écrans (sommets du polygone formant son secteur de surveillance sur l'écran radar, par exemple).

D'autre part, les enregistrements durant environ une heure, il fallait s'assurer qu'il n'y ait pas de dérive spatiale des données, due par exemple à un léger déplacement du bandeau sur la tête du contrôleur au cours du temps et induisant un décalage des données oculométriques par rapport à la cible regardée.

Outil de rejeu

Ces 2 points nous ont amené à développer un outil logiciel de rejeu de l'activité simultanée des 3 écrans, superposé aux fixations. Ce logiciel a d'abord permis de contrôler visuellement la validité des algorithmes mis en

œuvre pour affecter les fixations aux endroits adéquats des différents écrans.

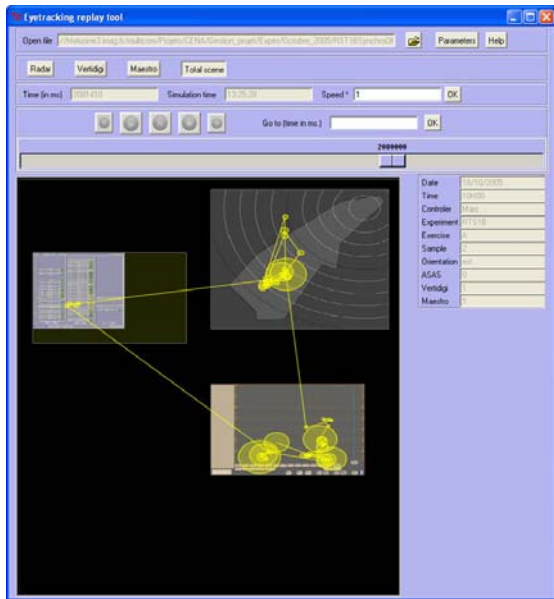


Figure 3 : Logiciel de rejeu : scène 3 écrans

Cet outil a été réalisé en prenant en compte :

- les données brutes de l'eye tracker,
- les fichiers « log » fournis par les ingénieurs en charge de la simulation, donnant à chaque instant les emplacements des avions sur les différents écrans, et les actions du contrôleur telles que les zooms, clics souris, déplacements, ouvertures de fenêtres et choix de menus.

Fonctionnalités du logiciel

Les fonctionnalités de synchronisation temporelle et spatiale ont ensuite été intégrées au logiciel. La méthode consistait à rechercher, pour chaque enregistrement, et pour chaque écran, les séquences où le contrôleur cliquait et fixait les repères spécifiques mentionnés ci-dessus, et à recalculer les tracés si besoin, par rapport au rejeu des activités.

Le logiciel propose le rejeu sur les 4 scènes suivantes, sous forme de séquence vidéo contrôlable par des boutons classiques de « player » vidéo :

- 3 écrans (Figure 3), qui donne un aperçu global du trajet oculaire du contrôleur entre ses 3 écrans de contrôle. Dans cette vue, les images des écrans sont fixes, il n'y a donc pas de rejeu des activités écran
- Radar (Figure 4) qui visualise le rejeu des fixations superposé aux activités de l'écran radar uniquement (déplacement des avions, actions du contrôleur telles que menus, clics, ...)
- Vertidigi, qui visualise le rejeu des fixations superposé aux activités de l'écran Vertidigi uniquement (déplacement des avions, actions du contrôleur telles que menus, clics, ...)

- Maestro, qui visualise les fixations sur l'écran Maestro, sachant que cet écran n'est pas dynamique lors du rejeu

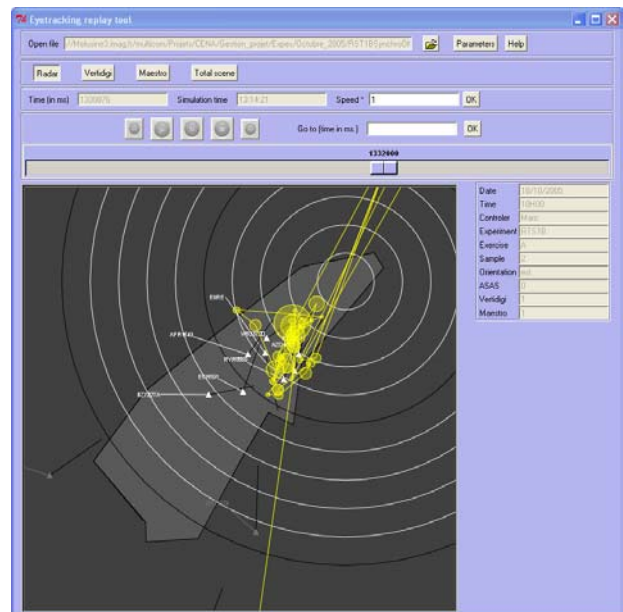


Figure 4 : Logiciel de rejeu : scène radar

REPONSES METHODOLOGIQUES ET TECHNIQUES

Une phase importante de réflexion commune et de concertation a permis d'ajuster la méthodologie, de spécifier les logiciels à développer, et de définir les outils statistiques nécessaires pour mener à bien cette étude. Cette collaboration interdisciplinaire a été constante durant tout le projet et a permis d'affiner nos méthodes et les outils indispensables à l'interprétation des résultats. Cette partie est hiérarchisée de la manière suivante ; pour chaque hypothèse posée par l'équipe d'ergonomes, les solutions techniques qui s'y rattachent seront exposées. Ceci montrant bien les itérations successives entre les disciplines impliquées dans le projet.

Analyse des activités générales du contrôleur

Pour ce type d'analyse de premier niveau, nous avons besoin de recueillir le nombre et la durée moyenne des fixations sur chaque écran, permettant ainsi de faire des comparaisons entre les conditions. Ces comparaisons permettent d'estimer le temps passé sur chaque interface et donc de constater les différences de comportements induites par chacune des conditions. Compte tenu de la variabilité des données, nous avons choisi, après concertation, d'utiliser des tests statistiques du type non paramétriques pour traiter ces données.

Tests non paramétriques. Afin de comparer les moyennes des temps de fixations sur les zones d'intérêt en fonction des conditions d'expérimentations, dans un premier temps nous avons envisagé d'utiliser la méthode de l'analyse de variance. Cette méthode permet de

comparer des moyennes pour mesurer les différences en fonction des facteurs du plan expérimental. Mais cet outil statistique est contraint par des hypothèses de normalité de la distribution et d'homogénéité des variances. Dans le cas étudié, la distribution des fixations ne suit pas une loi normale et les variances sont hétérogènes. Nous avons donc opté pour une analyse non paramétrique en utilisant le test de Kruskal et Wallis. Ce test permet d'effectuer des comparaisons mais utilisant les rangs des données observées et non pas la valeurs brutes de ces données. Les mesures observées sont tout d'abord ordonnées par ordre croissant et un rang leur est affecté. Ce sont ces rangs qui servent au calcul de l'indicateur statistique. Indicateur qui suit approximativement une loi du chi2 à k-1 degrés de libertés, k étant le nombre de groupes.

Pour tester les différences de pourcentage de fixations entre les différentes zones d'intérêt et les différentes conditions expérimentales, nous avons utilisé le test Z. La valeur de cet indicateur est :

$$P_e = (n_0 * P_0 + n_1 * P_1) / (n_0 + n_1)$$

$$z = (P_0 - P_1) / \sqrt{(P_e(1 - P_e) * (1/n_1 + 1/n_2))}$$

P_0, P_1 les pourcentages observés, n_0, n_1 taille des échantillons

La valeur calculée de z suit approximativement une loi normale.

Ces tests statistiques réalisés avec le logiciel SAS[®], ont permis de conclure à l'existence de différences significatives ou non entre les moyennes ou les pourcentages selon les conditions expérimentales ou les zones d'intérêt étudiées. De part leur construction, ces tests permettent d'accepter ou de rejeter une différence tout en connaissant le risque d'erreur de conclure à une différence alors même qu'elle est l'effet du hasard.

Pour analyser les activités du contrôleur, il est également intéressant de visualiser les différentes transitions et leur fréquence entre les trois écrans et selon les conditions, c'est-à-dire de s'intéresser au nombre d'allers-retours entre les écrans. En effet, la fréquence avec laquelle le regard passe d'un écran à un autre (d'une zone d'intérêt à une autre) témoigne des déplacements attentionnels et des stratégies d'inspection mises en place par l'utilisateur pour réaliser sa tâche. La principale difficulté rencontrée sur les matrices de transitions résidait dans le choix d'une représentation graphique adéquate.

Matrice de transitions. Pour les expériences DSNA, nous avons calculé les matrices de transitions avec une application développée par Multicom. Nous avons également élaboré des graphiques pour schématiser le nombre de fixations dans les écrans de la scène globale et le pourcentage de transitions entre eux. Les polygones re-

présentent les écrans, leur taille est proportionnelle au pourcentage de fixations dans ces zones (valeur au centre des polygones). Les flèches situées entre les polygones symbolisent les fréquences de transition, la taille des traits est proportionnelle au pourcentage de transitions (valeur située à côté des flèches).

Sur ces schémas, on remarque que la zone radar est moins fixée dans les expériences où le Vertidigi est utilisé. En revanche dans le cadre de l'expérience avec Aman, le pourcentage de transitions entre le Vertidigi et le radar augmente (62% vs 78%). La comparaison du graphe 'expe outil standard' et celui de l'expérience avec Aman montre la réelle diminution des transitions entre le Maestro et le radar (34% en 'expe 'outil standard' versus 16% en 'expe A'), alors même que les pourcentages de fixations dans la zone du Maestro restent pratiquement identiques (6% versus 4%).

La conjugaison de ces deux outils d'analyse (matrice et graphes) permet de visualiser de manière exploratoire les modifications du traitement de séquence chez le contrôleur aérien quand un nouvel environnement de travail lui est fourni.

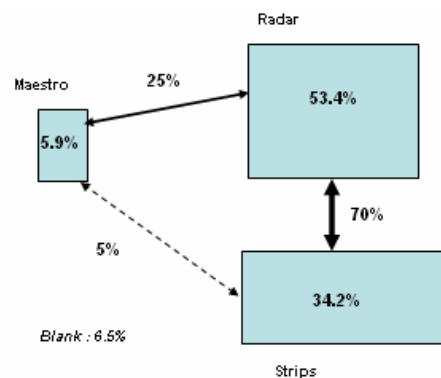


Figure 5 : Transitions avec les strips papier

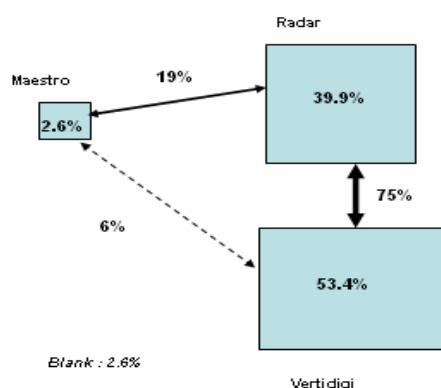


Figure 6 : Transitions avec le Vertidigi

Analyse de l'utilisabilité des nouveaux outils

Lors de l'analyse de l'utilisabilité d'outils électroniques, nous cherchons généralement à connaître le nombre et la durée des fixations sur plusieurs zones de l'outil étudié. En effet, on considère par exemple qu'un nombre de fixations élevé dans une des zones signifie que les utili-

sateurs s'attendent à trouver des informations pertinentes à cet endroit. De plus, on estime qu'une durée moyenne de fixations élevée dans une zone indique un traitement plus important de l'information (voire une difficulté). Ces différents points montrent l'utilité d'un découpage en zones d'intérêt ou AOI (area of interest) au niveau des écrans.

Définition des zones d'intérêt pour chaque écran. Afin de répondre aux différents hypothèses et objectifs, un certain nombre de zones d'intérêts a dû être défini. Une zone d'intérêt représente un secteur géographique du stimulus étudié. Ergonomes, statisticiens et informaticiens ont donc travaillé de concert et ont ensemble défini plus de 30 zones d'intérêt. Ces zones d'intérêts sont réparties en 4 niveaux distincts répondant à des objectifs d'analyse différents. Le plus général était la scène globale où les différents écrans ou espaces de travail (radar, Vertidigi, strips papier et Maestro) constituent des zones d'intérêt. Ensuite, sur chacune de ces zones de travail ont été détaillées des zones d'intérêt plus spécifiques, telles que les menus, les avions, le secteur du radar, etc. Certaines zones étaient fixes, mais beaucoup pouvaient changer de place au cours de l'enregistrement, en fonction des actions du contrôleur sur les écrans, telles que zoom, translation, déplacement d'une zone... De même, les avions présents sur le Vertidigi et sur l'image radar étaient eux-mêmes considérés comme des zones d'intérêt. D'autres part, les zones d'intérêts décrites étaient parfois polygonales (le secteur du radar par exemple), circulaires (les cercles de 10 miles nautiques par exemple), voire morcelées (un avion est constitué de son plot, de son étiquette, voire plus). En oculométrie, beaucoup de programmes ne prennent en compte que des zones d'intérêts rectangulaires, presque aucun ne gère des zones d'intérêt mobiles.

Une fois ces zones d'intérêt définies, il a fallu construire un algorithme qui détermine sur quelle zone d'intérêt se pose chaque fixation. Cette première phase d'analyse, que nous avons appelée « pré analyse », produit un fichier qui sera par la suite utilisé par les outils d'analyses statistiques. Ce fichier comporte pour chaque fixation, son time code, sa durée ainsi que la zone d'intérêt regardée.

Dans le modèle décrit ci-dessus, une fixation peut appartenir à plusieurs zones d'intérêts. Par exemple, le contrôleur peut tout à fait regarder un avion se situant sur le secteur, sur le radar. Les experts en statistique ont dû être attentifs à ce fait lors des analyses, une même fixation pouvant être reportée plusieurs fois dans le fichier produit par la pré analyse.

Les zones d'intérêts décrites ci-dessus peuvent être très différentes les unes des autres en terme de forme ou encore en terme de niveau d'analyse. Par exemple, lorsqu'on souhaite savoir si telle fixation donnée est à l'intérieur ou hors du secteur, seul le centre de la fixation considérée est pris en compte. Cependant, lorsqu'on sou-

haite déterminer si cette fixation se pose sur tel avion, l'algorithme opère différemment car le plot d'un avion n'est représenté que par un pixel, ainsi, il y a peu de chance qu'une fixation soit centrée exactement sur ce pixel. Dans ce cas, selon le type d'analyse en cours, la vision fovéale ou parafovéale est utilisée.

Vision fovéale et parafovéale. Compte tenu des résultats de la littérature sur l'importance de la vision parafovéale dans des tâches visuelles [2], les données oculaires obtenues sont analysées en tenant compte de l'information vue en région fovéale et en région parafovéale (5 degrés autour du point de fixation). Dans une tâche de surveillance radar, la vision parafovéale joue un rôle fondamental, on observe en effet un nombre de fixations plus important entre les avions que sur les avions [3]. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Charness et al. [4] qui ont interprété cette importance de fixations entre les objets comme un traitement plus efficace par les experts qui encodent les relations entre les objets plutôt que les objets eux-mêmes.

La vision fovéale, quant à elle, correspond à 2 degrés autour du centre de la fixation. Elle est plus précise que la vision parafovéale et permet l'identification et l'analyse fine des objets.

Selon les spécifications énoncées par les experts en cognition et les niveaux d'analyses réalisées, les programmes développés ont pris en compte soit la vision fovéale, soit la vision parafovéale.

Analyse de l'opérabilité

En ergonomie, l'étude de la charge cognitive est un moyen de répondre au critère d'opérabilité.

Par le biais des pas de 10 MN. Pour évaluer cette charge cognitive, il nous semblait pertinent d'analyser le traitement de la séquence des avions au niveau du radar dans chaque condition. En effet, on infère que plus la charge de travail est faible, plus les contrôleurs anticipent le traitement de leurs avions. Nous voulions donc savoir si les fixations se portaient plus vers l'entrée du secteur ou si le changement d'environnement de travail induisait un nombre de fixations plus important vers la fin du secteur. Le radar possède des repères visuels disposés en rond tous les 10 miles nautiques autour de la sortie du secteur. Nous avons utilisés ces cercles en tant que zones d'intérêt, afin de calculer la répartition des fixations sur les différentes zones du radar. La réflexion portait là aussi sur une manière suffisamment explicite de représenter la distribution des fixations par miles nautiques.

Un moyen de la symboliser a été d'utiliser la représentation graphique des box-plot. Ces graphes illustrent comment les durées se distribuent autour de la médiane (50% des valeurs sont supérieures à la médiane et 50% lui sont inférieures). Sur ces boîtes, la moyenne des durées de fixations, le premier et troisième quartiles (25% et 75% des fixations) ainsi que les valeurs extrêmes sont

dessinés. Pour visualiser les différences entre les cercles et particulièrement entre les entrées et les sorties des avions du secteur de contrôle, nous avons représenté la distribution des fixations pour chaque cercle par un box plot. Ainsi, pour l'expérience de base (baseline), nous pouvons voir une plus grande variabilité sur les cercles d'entrée et de sortie des avions alors que, pour les expériences avec le nouvel environnement de travail, la variabilité est moindre.

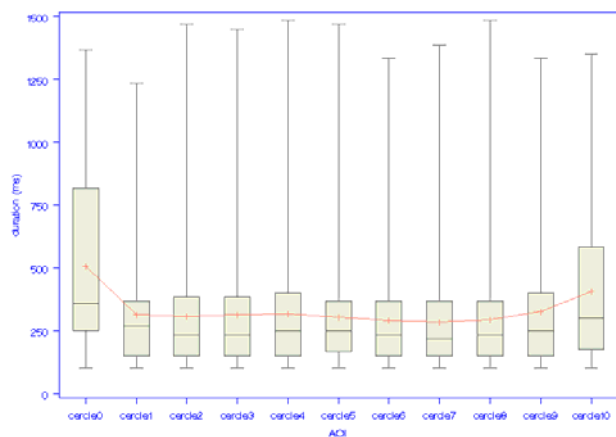


Figure 7 : Distribution de la durée des fixations par cercle avec les strips papiers

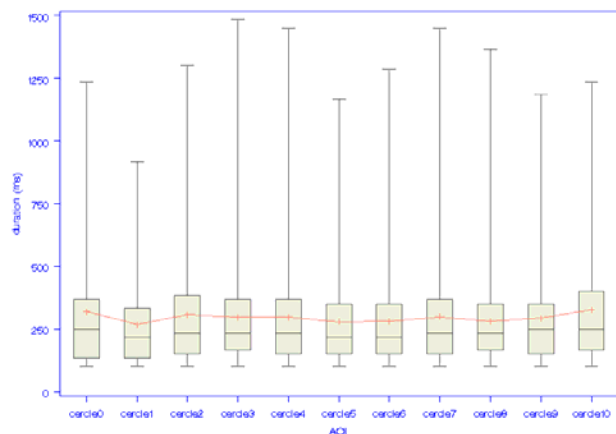


Figure 8 : Distribution de la durée des fixations par cercle avec le Vertidigi

Par le biais des blank. Lors de la définition des AOI, l'équipe technique a pris en compte la zone « Blank » qui correspond à la zone hors écrans. Il s'est avéré lors du traitement statistique que le pourcentage de fixations sur cette zone était révélateur ou non d'une charge cognitive. En effet, on peut considérer que, plus le contrôleur a une charge de travail faible, plus il peut passer du temps hors écrans.

Analyse de la sécurité

La méthode d'analyse de la sécurité que nous avons retenue était celle du calcul des écarts entre deux fixations sur un même avion sur le radar. Dans notre cas, étant

donné que les avions étaient également représentés sur le Vertidigi, nous avons aussi dû mesurer cet écart entre les deux écrans (Radar et Vertidigi). Cette méthode est intéressante puisque l'on peut poser comme hypothèse que plus les écarts entre deux fixations sur un même avion sont importants plus il existe un risque dans la détection de conflits. A l'inverse, plus un avion est traité régulièrement, plus les éventuels problèmes seront anticipés. Toute la difficulté de cette analyse résidait dans le fait de recueillir des fixations sur des AOI mobiles.

Lors de la plupart des études oculométriques, les zones d'intérêts considérées sont fixes. Afin d'évaluer la sécurité des différents dispositifs, il nous a fallu considérer les avions comme zones d'intérêt, or ces avions sont mobiles sur les interfaces. Nous avons donc dû demander à la DNSA de nous fournir des logs contenant à chaque déplacement d'avion, sa nouvelle position. D'autres informations, telles que les ouvertures et fermetures de menus, la position des cartes selon le facteur de zoom et de translations y étaient renseignées. A partir de ces fichiers de logs et des fichiers de sortie de l'eye tracker, nous avons construit un algorithme nous permettant de savoir si, sur un écran donné, à un temps donné, et au cours d'une fixation donnée, un avion était vu ou pas. Cet algorithme considère un avion comme vu dès que son étiquette ou son plot (représentation de l'avion sur l'écran) entre, au moins partiellement, dans le champ de la fixation. Seuls les avions dits en fréquence, c'est-à-dire sous la responsabilité du contrôleur, sont pris en compte dans ces analyses.

L'algorithme décrit ici prend en compte un champ de 2 degrés autour du centre de la fixation, correspondant à la vision fovéale.

Lors des enregistrements comportant un Vertidigi, les avions étaient représentés sur 2 écrans, le radar, et le Vertidigi. Nous avons donc tenu compte de ces 2 écrans lors du calcul du temps maximal entre 2 fixations sur un même avion. Un second algorithme a donc été nécessaire pour réunir les informations sur les 2 écrans et calculer les durées. Afin d'éviter de prendre en compte les écarts de quelques millisecondes qui arrivent entre 2 fixations successives, le programme ne reporte pas les écarts inférieurs à 150 millisecondes. En sortie, le programme produit un fichier comportant ces écarts, qui sera ensuite importé dans le logiciel statistique SAS à partir duquel les analyses seront effectuées.

CONCLUSION

L'objectif principal de cette présentation n'était pas de fournir des résultats complets de l'étude, qui sont pour l'instant confidentiels, mais plutôt de décrire la démarche mise en œuvre par Multicom dans le cadre de cette étude oculométrique.

Nous souhaitons plus particulièrement mettre l'accent sur l'intérêt et la richesse de la mise en commun de compétences en informatique, en ergonomie cognitive, et en statistique, pour satisfaire l'objectif visé par l'étude.

Le travail mené au cours ce projet nous a permis de trouver des solutions méthodologiques et logicielles pour répondre à des problématiques d'ergonomie comme l'utilisabilité, l'opérabilité d'un nouvel environnement de travail et la charge de travail d'un contrôleur aérien. Cette élaboration méthodologique s'est faite de manière itérative et en synergie entre les différents domaines d'expertises. Par un dialogue permanent entre ces domaines d'expertises, nous avons défini et affiné des méthodes d'analyses redéployables dans le cadre d'études oculométriques, tout en mettant en avant les limites de ces outils. Ces techniques seront prochainement utilisées, pour l'analyse des expérimentations menées dans la deuxième phase ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

1. Baccino, T. & Colombi, T. L'analyse des mouvements des yeux sur le Web. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 2000, 14(1-2), 127-148.
2. Kapoula, Z. The influence of peripheral preprocessing on oculomotor programming. In R. Groner, C. Menz, D., Fisher, & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and psychological functions: International views* (pp. 101-114). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.
3. Rognin, L., Grimaud, I., Hoffman, E. & Zeghal, K. Assessing the impact of a new instruction on air traffic controller monitoring tasks. Disponible à l'adresse http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/EEC_SSP_reports/2004/EEC_SSP_2004_008.pdf
4. Charness, N., Reingold E.M., Pomplun, M. and Stampe, D.M. The perceptual aspect of skilled performance in chess: evidence from eye movements. *Memory and Cognition*, 2001, 29, 1146-1152.
5. Snedecor G.W., Cochran W.G. Méthodes statistiques. ACTA , Paris, 1984.
6. Base SAS 9.1 Procedures Guide, Sas publishing, documentation en ligne.
7. SAS/STAT 9.1 User's Guide, Sas publishing, documentation en ligne.