52ème Congrès
de la Société d'Ergonomie
de Langue Française

Archivé électroniquement
et disponible en ligne sur :

www.ergonomie-self.org

EBSCO
INFORMATION SERVICES
https://www.ebsco.com/products/research-databases/ergonomics-abstracts

L'oculométrie peut-elle être utilisée pour étudier le travail de coordonnateur de trafic dans un centre de dégivrage aéronautique centralisé ?

Clément MARTY[1] et Servet GÜNEBAK[2], Sylvie NADEAU[2], François MORENCY[2]

[1] Aix Marseille Université
[2] Département de génie mécanique, École de technologie supérieure

clement.marty@ensam.eu

Le dégivrage des avions au sol est obligatoire au Canada lors de conditions givrantes. Lorsque l'aéroport est pourvu d'installations adaptées, plusieurs avions sont dégivrés en même temps. Le coordonnateur de trafic et de mouvement doit gérer la coactivité entre les équipes de dégivrage, les pilotes et le personnel impliqué. Les défauts de communication sont la première cause d'accident. Le présent article va montrer la pertinence de l'oculométrie pour l'étude des défauts de communication lors d'activités de dégivrage au sol des avions. Dans ce but, une revue de littérature non exhaustive est réalisée, ciblée sur l'utilité de l'oculométrie pour l'étude terrain de la tâche des coordonnateurs de trafic et de mouvements. Elle s'appuie sur des recherches effectuées dans les bases de données scientifiques afin d'extraire les articles démontrant ou non l'utilité de l'oculométrie in situ. Il est montré que l'oculométrie permet d'identifier les réflexes d'observation d'un individu, d'évaluer le niveau de concentration ainsi que la charge mentale supportée par un individu. Les données recueillies peuvent être couplées à des questionnaires complémentaires, tel NASA-TLX, afin d'évaluer la perception de la charge de travail. L'oculométrie devrait permettre, à terme, d'identifier les raisons des défauts de communication entre le coordonnateur de trafic et de mouvement et les acteurs du dégivrage.

Mots clés : Revues, fiabilité humaine, charge mentale, prévention des erreurs

Is Eye Tracking a relevant mean to evaluate Coordinator Traffic Movement's work in deicing center ?

Aircraft ground deicing is necessary to ensure a safe takeoff during freezing conditions in Canada. When the airport is equipped with proper facilities, it is possible to de-ice multiple planes at the same time. The Coordinator of Traffic and Movement (CTM) has to coordinate a massive coactivity between numerous de-icing teams on ground, pilots and other actors involved in the de-icing process. In this context miscommunication can lead to accidents. In this paper, it will be shown that eye-tracking technology is a relevant way to study human factors during communication problems in the aircraft ground de-icing context. The paper is shaped as a literature review focused on eye-tracking application field, which has been conducted to extract the applicable knowledge in eye-tracking technology by searching articles on scientific databases. It is shown in the scientific literature that eye tracking is a relevant means to identify areas of interest, visual attention and mental workload. Results can also be crossed with other questionnaires, as NASA-TLX to evaluate workload perception. Eye tracking then should allow identifying for communication errors between CTM and worker involved in de-icing.

Keywords : Reviews, Human reliability, Mental workload, Prevention of error

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Toulouse du 20 au 22 septembre 2017. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante : Marty, C., Günebak, S., Nadeau, S., Morency, M. (2017). L'oculométrie peut-elle être utilisée pour étudier le travail de coordonnateur de trafic dans un centre de dégivrage aéronautique centralisé ?, 52ème Congrès de la SELF - Présent et Futur de l'Ergonomie (Toulouse, 20-22 septembre).

Introduction

Depuis 1970, le trafic aérien ne cesse de croître tandis que le nombre d'accidents ne cesse de diminuer. Il y avait 310 millions de passagers transportés en 1970. Ce chiffre s'élève à 3,3 milliards en 2015. Parallèlement à cette croissance exponentielle, le nombre de victimes d'accidents d'avion est passé de 2 250 victimes à 890 victimes respectivement entre 1970 et 2015 (Durand, 2016). Cette tendance s'explique par l'amélioration constante des mesures de sécurité dans le monde de l'aviation. Ainsi, le nombre d'accidents imputable au facteur humain, qu'il s'agisse d'erreurs de pilotage ou de maintenance au sol, a diminué ces 45 dernières années. Le nombre de morts causé par ce facteur est passé de 1 313 morts en 1970 à 174 morts en 2015 (Durand, 2016).

Le dégivrage au sol des avions fait partie des étapes de maintenance directement liées à la sécurité. Cette étape est, par ailleurs, obligatoire au Canada. La présence de glace, de neige ou de givre sur l'aile d'un avion entraîne une modification de la géométrie des bords d'attaque, affectant l'écoulement de l'air ce qui augmente le risque de décrochage aérodynamique lors du décollage. Le dégivrage nécessite une coordination optimale entre les équipes de dégivrage au sol, les pilotes et le personnel de l'aéroport, en particulier en termes de transmission de l'information et autorisation de mouvement dans le centre de dégivrage. Pour ce faire, la communication est la clé d'une bonne co-activité. Le Coordonnateur de Trafic et de Mouvement (CTM) communique avec les pilotes pour convenir du traitement qu'il convient de suivre, les équipes au sol pour donner les directives à suivre, les voitures de sécurité et parfois avec la tour de contrôle. À Montréal, l'aéroport international Pierre Eliott Trudeau possède une installation de dégivrage qui peut traiter jusqu'à huit avions en même temps. Le nombre de personnes à coordonner est donc conséquent, puisque il peut y avoir jusqu'à 24 camions pour huit avions (Günebak, Nadeau, Morency, & Sträter, 2016). Les accidents liés à la communication sont une réalité lors de ces activités. Pour exemple, l'accident survenu à l'aéroport international de Montréal (Mirabel) où un B747 de Royal Air Maroc a percuté deux nacelles de dégivrage faisant trois morts ((BST), 1995). Une mauvaise communication se trouvait à être une des causes de l'accident. En 2011, l'Agence européenne de la sécurité aérienne a publié un rapport dans lequel elle identifie que 25 à 30 % des accidents, lors d'activités de dégivrage au sol, mettent en cause un défaut de communication (EASA, 2011).

Le CTM est en charge de coordonner le déplacement des véhicules et des avions pour le dégivrage, sur plusieurs baies en même temps. Dans un souci de prévenir le risque d'accidents à la source, il apparaît donc pertinent d'étudier le mode opératoire du CTM. Le présent article va démontrer la pertinence de l'oculométrie pour l'étude des défauts de communication lors d'activités de dégivrage au sol des avions. Une revue de la littérature non exhaustive a été réalisée, ciblée sur l'utilité de l'oculométrie pour l'étude terrain de la tâche des CTM. Seuls certaines études récentes démontrant ou non l'utilité de cette technique sur le terrain ont été retenues. Le poste de travail du CTM a également été reconstitué.

L'article se découpe de la façon suivante. Premièrement, la méthodologie ayant permis l'obtention de la revue de littérature sera présentée. Deuxièmement, les résultats observables dans la littérature seront exposés. Enfin, la discussion expliquera pourquoi l'oculométrie est un moyen efficace d'étudier les comportements des CTM, permettant dans notre cas d'identifier les causes des problèmes de communication.

Méthodologie

La méthodologie se découpe en deux parties : la revue de littérature et l'étude 3D du poste de travail du CTM. La revue de littérature se concentre sur l'oculométrie dans le domaine de l'aéronautique et de l'organisation des postes médicaux. Des études portant sur l'utilisation de l'oculométrie dans le domaine du militaire, nucléaire et du logiciel ont également été incluses. Ces domaines font tous appels à des niveaux de concentration élevés avec des enjeux très importants tels que des conséquences sur des vies humaines. La recherche s'est effectuée à l'aide des bases de données scientifiques *Scopus, Compendex et Inspec.* Les différents mots clés suivants ont été combinés entre eux avec les mots de liaison AND et OR ainsi qu'avec des guillemets, afin que le moteur de recherche montre le terme exact et non les articles qui contiennent ces mots individuellement : « eye tracking », communication, safety, « point of view », tracking, position, « high reliability organization », analysis, « nuclear power plants » (or NPPs), « cognitive workload », surgery, military, « visual scanning », « air traffic control ». La recherche s'est effectuée avec les deux contraintes suivantes : de janvier 2010 à juin 2016 et dans la catégorie « article de journal ». Seuls les articles portant sur un travail scientifique mettant en œuvre l'oculométrie comme méthode de résolution du problème ont été retenus. Le but n'est donc pas de proposer une revue de littérature exhaustive sur l'oculométrie, mais de démontrer son utilité pour des études de terrains, et donc, de montrer qu'il s'agit d'un bon moyen d'étudier l'origine des erreurs de communications au sein d'un centre de dégivrage d'avions. Une première sélection a été faite grâce aux titres et au contenu des résumés, puis la sélection finale s'est faite après lecture des articles dans leur intégralité. Les recherches ont été effectuées en anglais, car la quasi totalité des publications scientifiques dans ce domaine s'effectue dans cette langue.

Afin de représenter l'espace de travail du CTM en ne faisant apparaître que les informations jugées pertinentes, une reconstitution trois dimensions réaliste a été réalisée avec un logiciel de dessin (« SketchUp, » 2015). Pour reconstituer au mieux le poste de travail du CTM, la reconstitution s'est basée sur une vidéo expliquant le dégivrage à Montréal, disponible sur internet (« De-icing Planes For Safety, » 2014). Le poste et l'organisation de la baie de dégivrage y sont visibles. Les dimensions ont été prises sur différentes cartographies en ligne (Google Earth et Plan, d'Apple) présentant des dimensions. De cette façon, la surface de dégivrage ainsi que le poste de travail du CTM sont à l'échelle. Des avions ont été importés depuis la bibliothèque en ligne du logiciel. La présence d'avions de différentes compagnies ne constitue en aucun cas un placement de produit ou autre implication quelconque des marques visibles. Les appareils ont été importés de façon à visualiser l'échelle du dessin et indiquer quel type d'avions peuvent être stationnés selon

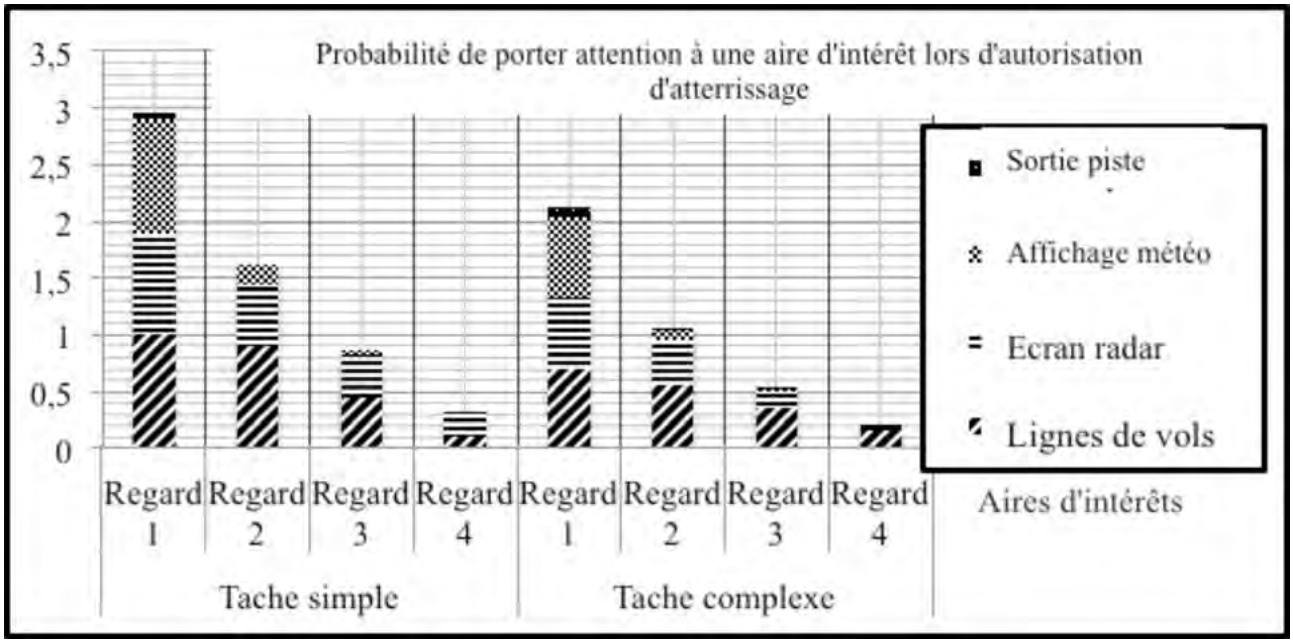

Figure 1 Probabilité de porter attention aux zones d'intérêts (ZIs) durant un atterrissage simple et complexe.

les baies (A380 sur la baie 2, B747 sur la baie 4, etc.). La fidélité de la reconstitution se limite à la présence des éléments sans tenir compte de leur originalité physique exacte (les chaises, le bureau et les nacelles de dégivrage par exemple).

Résultats

La littérature met en évidence trois éléments identifiables et quantifiables grâce à l'oculométrie : les « zones d'intérêt », la charge mentale supportée et le niveau de concentration. Ces trois éléments sont très liés entre eux. Evaluer la concentration du CTM présente un réel intérêt parce qu'il est important de savoir s'il/elle demeure vigilant tout au long de son temps de travail. Par ailleurs, si des moments de latence ou de baisse de vigilance sont repérés, l'oculométrie permettra d'en identifier la cause.

Zone d'intérêt

Les zones d'intérêt (ZI) représentent des espaces dans le poste de travail où le CTM attribue un nombre et un temps total de regard supérieur au reste des autres espaces. Il n'y a pas de définition officielle (Holmqvist Kenneth, 2011). Il est possible d'identifier ce type de région en identifiant simplement là où la majorité des regards se concentrent et où le temps total d'observation est le plus élevé.
Une étude menée par (Wen-Chin, Chung-San, Greaves, & Braithwaite, 2015) porte sur l'impact de la conception d'un cockpit sur la concentration et la charge cognitive des pilotes. Dans cette étude, les résultats portant sur l'oculométrie permettent de montrer que les pilotes, qu'ils soient expérimentés ou novices, privilégient leur prise d'information en majorité sur l'affichage tête haute (55.15 %), tandis que d'autres instruments sont observés moins de 1 % du temps (affichage multifonction gauche). Cette étude présente aussi des résultats intéressants concernant le niveau d'attention et la charge mentale de travail. Ils seront présentés dans les sections ci-dessous.
Toujours dans le thème de l'aviation, l'étude de {Manske, 2015 #27}(Manske & Schier, 2015) présente le balayage visuel effectué par les contrôleurs aériens lors du décollage et de l'atterrissage des appareils. Ils identifient les zones d'intérêt de six contrôleurs aériens. Ils exposent également le nombre de regards portés à ces zones lors du décollage et de l'atterrissage. Il en ressort que l'affichage radar, l'écran météo et les lignes de vols sont les trois ZI les plus regardées. Qu'il s'agisse d'une procédure simple ou complexe, les probabilités de porter attention à certaines zones sont très similaires et confirment l'utilisation d'une procédure précise résultant d'un haut niveau d'entraînement.
La figure 1 montre que « sortie piste » n'est observée qu'une seule fois lors de manœuvres simples, ce qui n'est pas le cas lors de manœuvres plus complexes. De façon générale, l'ensemble des ZI voit sa probabilité d'être observée diminuée lors de tâches complexes. Une partie de ces tâches adaptée de l'article de (Manske & Schier, 2015), table 1 & table 2, est explicitée dans la figure 1.
Enfin, (Velasquez, 2013) démontre également dans son étude l'existence de ZI. Son étude vise à identifier les objets clés d'un site internet. Il montre la précision avec laquelle le sujet arrive à se souvenir d'éléments observés directement et les éléments vus dans la vision périphérique.

Charge mentale

La charge mentale de travail peut se définir comme l'ensemble des sollicitations du cerveau nécessaire à l'accomplissement de tâches. La littérature scientifique tend à dire qu'une charge de travail élevée peut conduire à une baisse générale de l'efficacité.
Premier facteur sujet à augmenter la charge mentale de travail : l'interface de travail. La répartition des objets utiles au travail dans l'espace, qu'il s'agisse d'écrans

Hypothèses	Résultats
(A) Plus il y a d'écrans, plus le nombre de transitions entre écrans, la distance parcourue par le regard, le temps de transition et le temps de découverte sont allongés	Vérifiée. La disposition des écrans n'a pas montré d'influence particulière sur le temps de découverte
(B) La répartition des écrans sur le poste de travail a un impact sur le nombre de transitions entre les écrans et sur la distance totale parcourue par le regard	Vérifiée par le nombre de transitions entre les écrans, et par la distance parcourue par le regard des sujets.
(C) Plus les écrans sont grands, plus ils capteront l'attention de l'utilisateur (temps d'observation plus élevé)	Vérifiée. Plus l'écran est gros, plus le sujet le regarde longtemps. Observé grâce au nombre de transitions entre les écrans.
(D) Il y aura plus de transitions entre les écrans durant la phase de découverte des écrans que durant le reste du temps d'observation	Vérifiée. Il y a plus de transitions entre les écrans dans les 10 premières secondes. Une stabilisation est ensuite observée.
(E) Plus il y a d'écrans et plus l'effort cognitif sera important, tandis que l'aisance à la perception de l'information est diminuée.	Vérifiée. Les sujets disent pouvoir regarder confortablement 2.5 écrans en moyenne
(F) La disposition des écrans dans l'espace affecte la charge mentale ainsi que l'aisance à comprendre les informations affichées. Certaines dispositions peuvent être plus agréables que d'autres.	Fausse. L'exploitation des résultats des questionnaires NASA-TLX ne permet pas d'observer d'effet significatif. La disposition des écrans n'aurait, en tout cas dans cette étude, aucun impact sur l'aisance à capter l'information.
(G) Plus d'écrans implique plus d'information à suivre, ce qui conduit à une plus faible perception des informations en général	Fausse. Les résultats montrent que les participants ont retenu environ 75% de l'information diffusée. Cependant, le nombre de réponse « je ne sais pas » est légèrement plus élevé, ce qui pourrait rendre plausible cette hypothèse si le nombre d'écrans était augmenté.

Tableau 1 : Hypothèses émises et résultats tirés de l'étude de Vatavu, Mancas (2015)

ou d'outils, influe sur la charge mentale ressentie. (Wu, Zhu, Cao, & Li, 2016) étudient l'impact de la surcharge mentale par l'information sur l'efficacité des opérateurs. Ils estiment que la complexité d'une interface de travail entraîne une baisse de l'efficacité de l'opérateur plus ou moins importante selon l'expérience de ce dernier. Cela se traduit par une augmentation du temps nécessaire pour qu'un sujet trouve la cible voulue, ainsi qu'une augmentation du nombre d'objets fixés avant la découverte de cette dernière. Ce résultat est d'autant plus vrai que le sujet est novice. En comparant les résultats entre le groupe dit « Expert » et le groupe « Novice », il en ressort que ce dernier a un regard plus diffus sur tout l'écran. Le groupe Expert, lui, cible ses regards dans une zone plus contenue, malgré l'augmentation de la complexité de l'interface affichée.

L'importance de l'organisation de l'interface quant à son impact sur l'efficacité d'un sujet est également démontrée dans les travaux de (Barkana & Acik, 2014). Leur étude porte sur l'organisation d'une interface de travail dans le domaine de la chirurgie. Ils s'intéressent à l'impact, toujours en terme d'efficacité, de l'organisation d'une interface chirurgicale sur les chirurgiens. Grâce à l'oculométrie, ils arrivent à démontrer qu'en aménageant l'interface de travail d'une certaine façon, les chirurgiens peuvent effectuer la même opération en fournissant un effort mental plus réduit.

Également, (Shengyuan, Jun, Lei, Yahui, & Jingling, 2014) ont montré dans leur étude, qu'une interface de travail optimisée permettait aux opérateurs d'atteindre les résultats escomptés, avec moins de distance parcourue par le regard et moins de saccades.

En revanche, ce constat n'est pas vérifié dans l'étude de (Wen-Chin *et al.*, 2015). Ils étudient l'impact de l'organisation des instruments du cockpit d'un avion sur la concentration des pilotes ainsi que sur la charge de travail cognitive. Une mise en situation est proposée à deux groupes de pilotes. Le groupe A est constitué de pilotes plus expérimentés (en moyenne plus âgés et plus d'heures de vol), et le groupe B avec des pilotes qui le sont moins. Il est intéressant de remarquer que la charge de travail perçue est plus importante pour le groupe de pilotes expérimentés que pour le groupe de pilotes qui l'est moins. Malgré cette difficulté supérieure perçue par le groupe A, les résultats de l'étude montrent une meilleure performance de ces derniers : 92.3 % des signaux d'alertes ont été détectés par les pilotes du groupe A, contre 55 % des signaux détectés pour les pilotes du groupe B. D'après les chercheurs de cette étude, ce résultat vient en opposition aux précédentes recherches qui démontraient qu'une charge de travail élevée conduisait à une diminution de l'attention.

L'étude de (Kim, Shin, Kim, & Seong, 2013) montre également qu'une charge mentale de travail trop importante induit une baisse de l'efficacité et de la capacité à traiter les informations. Ce résultat est d'autant plus vrai chez les sujets moins expérimentés. Leur étude vise à évaluer la capacité des opérateurs à recevoir et comprendre des informations en situation d'accident dans une centrale nucléaire. Ils quantifient la quantité d'information en « bit » et évaluent la quantité recevable dans le temps en bits/s. Les résultats montrent un écart entre le groupe expérimenté et le groupe novice : nombre de saccades, nombre et durée des battements de

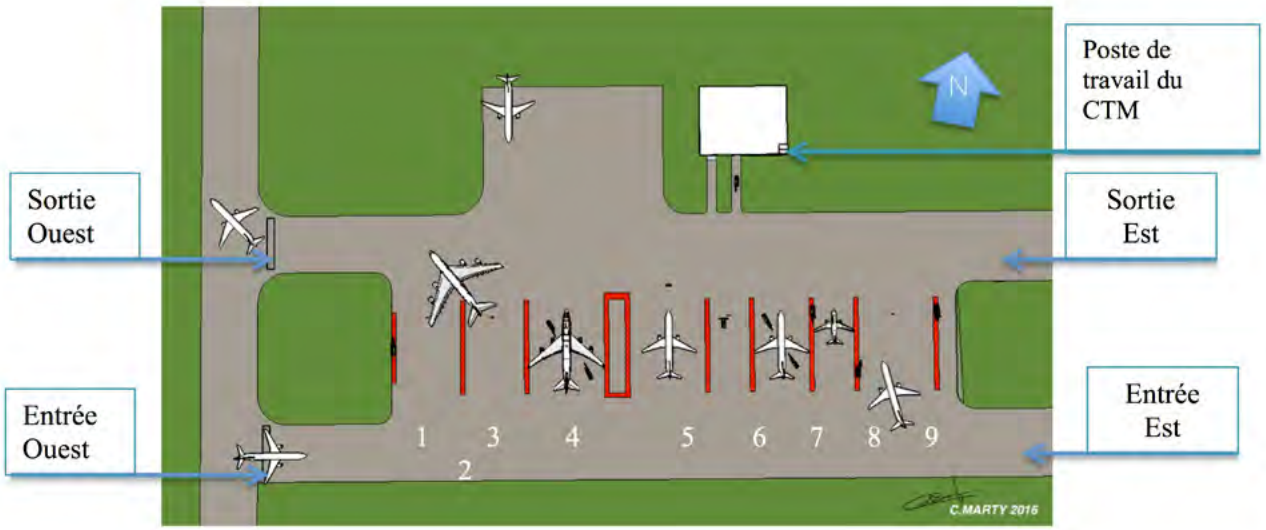

Photo 1 Vue aérienne du centre de dégivrage réalisé par Clément Marty (2016) avec le logiciel («SketchUp,» 2015).

paupières et justesse des manipulations.
Enfin, il est montré que le nombre et la durée des battements de paupières sont des indicateurs de charge mentale de travail. D'après (Zheng *et al.*, 2012), un nombre élevé de battements de paupières reflète une demande cognitive assez modérée. Lorsque la charge mentale de travail augmente, la fréquence des battements diminue, tout comme la durée du battement. Les chercheurs ont également couplé l'oculométrie avec le questionnaire NASA-TLX dans lequel les sujets répondent sur leur ressenti durant les tâches effectuées afin de corréler les résultats.

Niveau d'attention/concentration

La concentration dans le milieu de l'aviation est primordiale. Le moindre instant d'inattention a des conséquences qui peuvent coûter des vies (IIMcIntire, McIntire, McKinley, & Goodyear, 2014). C'est pourquoi il est important de s'assurer que les individus en charge de coordonner le bon déroulement des manœuvres restent concentrés. L'oculométrie est un moyen de repérer ces moments de baisses de vigilance. L'étude de (IIMcIntire *et al.*, 2014) montre que l'oculométrie est un moyen d'évaluer le niveau de concentration, en étudiant l'excentricité de la pupille, ainsi que son diamètre. La pupille pourrait être un indicateur de fatigue. Ils remarquent également que la vitesse de déplacement de la pupille, qui entraîne plus de saccades du regard, augmente lorsque l'attention diminue et que la concentration devient plus difficile.
(Vatavu & Mancas, 2015) ont étudié l'impact de l'affichage multi-écrans sur l'attention visuelle d'un sujet. Ils proposent 12 mesures qu'ils ont obtenues en faisant varier des paramètres de l'expérience comme le nombre d'écrans (2, 3 et 4), la taille et la disposition. Cette étude se fait dans le contexte d'une augmentation du nombre d'écrans dans la vie de tous les jours : « *80 % des détenteurs de téléphones intelligents et tablettes disent qu'ils se servent de leur appareil comme un second écran lorsqu'ils regardent la TV* » Nielsen (2014). Dans leur étude, (Vatavu & Mancas, 2015) émettent plusieurs hypothèses au départ, synthétisées dans le tableau 1 avec les résultats pour chacune d'entre elles.

Discussion

Le CTM exerce ses fonctions depuis son poste de travail situé à l'étage supérieur des locaux du centre de dégivrage. Il se situe face à la baie de dégivrage numéro sept. L'image 1 représente l'espace de dégivrage avec les différentes baies ainsi que le poste de travail du CTM. L'image représente une vue sur les baies de dégivrages depuis le poste de travail du CTM.

Photo 2 Vue depuis le poste de travail du CTM, réalisé par Clément Marty (2016) avec le logiciel (« SketchUp, » 2015).

Le CTM peut être amené à communiquer avec huit équipes de dégivrage et huit pilotes en même temps, lors de fortes affluences au niveau du centre de dégivrage. Il doit aussi communiquer avec de nombreuses personnes comme les déneigeurs et les pompiers, sur les marches à suivre ainsi que l'avancement des opérations. Il a la responsabilité d'assurer le bon déroulement des opérations de dégivrage. Pour cela, il dispose de nombreux équipements auxquels il doit porter attention. Son regard est partagé entre les six écrans de son poste de travail et l'extérieur, entre les voies d'accès du centre et les baies occupées, ainsi que sur les équipes de dégivrage au sol.

Maintenant que le contexte est défini, l'utilisation de l'oculométrie apparaît pertinente. La littérature nous a appris qu'il s'agissait d'un moyen efficace pour déterminer les ZI, évaluer le niveau d'attention ou de concentration et la charge mentale de travail supportée par le sujet. Les ZI permettent d'identifier l'information nécessaire à la réalisation du travail du CTM. L'information dont le CTM a besoin est différente selon l'avancement de la tâche. Par exemple, il doit s'assurer que les équipes de dégivrage soient stationnées dans leurs zones de sécurité avant d'autoriser tout mouvement des appareils (en début ou fin d'opération), ou encore regarder ses écrans régulièrement pour contrôler la météo et les vents dominants et l'occupation des baies de dégivrage (liste des tâches non exhaustives). Ceci implique que son regard est amené à se déplacer très fréquemment et à des endroits parfois distants les uns des autres, nécessitant un mouvement de la tête. Identifier les ZI pourrait permettre à terme d'améliorer la disposition du poste de travail, pour réduire la distance de déplacement du regard et donc rendre le travail moins fatiguant. Effectivement, grâce aux travaux de (Vatavu & Mancas, 2015), (Wen-Chin *et al.*, 2015), (Shengyuan *et al.*, 2014) et (Barkana & Acik, 2014), il apparaît clairement que l'organisation des outils dans l'espace de travail a un impact significatif sur la complexité de la tâche à effectuer et donc sur la fatigue accumulée par le CTM. C'est à dire que lorsque l'espace est réorganisé de façon plus ergonomique, il apparaît que la même tâche est réalisée avec plus d'aisance, moins d'effort ressenti et un temps de réalisation de tâche plus réduit. L'identification de ces ZI permet aussi de contrôler le respect de la procédure que doivent suivre les CTM. Ces procédures sont établies de manières précises, dans le but d'assurer un déroulement sécuritaire des opérations. Si le CTM venait à déroger à la procédure, comme par exemple ignorer le sens et la force du vent, les conséquences pourraient être lourdes tant en termes matériel qu'humain. Enfin, les ZI permettent d'établir des repères dans l'espace de travail qui permet de compter le nombre de déplacements entre les différentes zones, ainsi que la distance totale parcourue par le regard, comme l'ont fait (Vatavu & Mancas, 2015) dans leur étude. Toutefois, les limites de l'oculométrie ne nous permettent pas d'exploiter tous les éléments vus et enregistrés par un individu. Il y a deux types de vision : la vision fovéale et la vision périphérique. La vision fovéale est celle qui fourni le plus de détails, car l'image se forme dans la fovéa, région de la rétine où le nombre de cônes est le plus abondant. C'est également cette vision que l'oculométrie permet de suivre. La vision périphérique correspond à l'image formée sur la rétine en dehors de la fovéa. Elle ne fournit pas autant détails et limite la perception des couleurs. Elle permet de détecter des variations et du mouvement, ce qui incite par la suite l'individu à tourner la tête pour récupérer une information plus précise et donc observable avec l'oculométrie. Cependant, il a été démontré que les individus pouvaient se souvenir d'éléments perçus avec cette vision et analyser l'information (Ali-Hasan, Harrington, & Richman, 2008 ; Vatavu & Mancas, 2015). Enfin, une autre limite notable de l'oculométrie est qu'il est difficile de savoir si un sujet enregistre et analyse ce qu'il voit. Ceci peut avoir comme conséquence un allongement de la distance parcourue par le regard et une augmentation du nombre de transitions entre les zones d'intérêts. Le sujet revient alors plusieurs fois dans la même zone pour récupérer une information déjà observée. Pour écarter ce type d'erreur lors de l'analyse des résultats, il est courant de coupler des informations audio enregistrées séparément, comme les communications par exemple. Ces données permettent de s'assurer que le sujet a compris l'information observée et que le déplacement de son regard n'est pas lié à une non prise en compte de ce qu'il vient d'observer.

Ces ZI sont donc des indicateurs facilement identifiables et fournissent de nombreux renseignements. Il est dit dans le paragraphe précédent que les ZI permettent de déterminer les informations nécessaires à la réalisation du travail. De même, l'impact de l'organisation du poste de travail sur la difficulté perçue par les sujets pour réaliser une tâche est évoqué. Ces deux éléments influent directement sur la charge mentale de travail. Il ressort de la littérature qu'une charge de travail élevée entraîne une augmentation de la difficulté
perçue par les sujets (Wu *et al.*, 2016). Le nombre de déplacements du regard augmente, la distance parcourue par celui-ci également. Il en résulte alors que le temps d'observation et d'action est plus long pour effectuer une tâche, par rapport à une interface optimisée (Barkana & Acik, 2014).

La charge mentale de travail supportée peut être évaluée en comptant le nombre de battements de paupières, ainsi que la durée de ces derniers. En effet, il ressort de la littérature que plus une tâche demande un effort cognitif, moins il y a de battements de paupières (Zheng *et al.*, 2012) (Kim *et al.*, 2013).

L'intérêt pour l'étude menée sur le CTM est le suivant. En identifiant la charge mentale supportée, grâce aux nombres de battements de paupières, à leurs durées, ainsi qu'au nombre de déplacements et la distance parcourue par le regard, il devient possible d'identifier facilement le niveau de difficulté ressentie. Ceci dans le but d'identifier les origines d'une baisse de vigilance et donc une baisse de l'efficacité. Une baisse d'efficacité signifie que les tâches sont réalisées moins rapidement, avec des informations transmises moins précises, voir incomplètes.
Enfin, les travaux de (IIMcIntire *et al.*, 2014) montrent que l'oculométrie est un moyen fiable d'identifier le niveau de vigilance d'un sujet. En étudiant la pupille notamment, deux constatations peuvent être faites. Premièrement la taille de la pupille varie de manière significative et aisément observable, ce qui en fait une donnée facilement exploitable. Lorsque l'individu est concentré, que son niveau de vigilance est élevé, sa pupille se dilate. Le diamètre de celle-ci augmente et inversement si sa vigilance diminue, la pupille se contracte. Toutefois, la variation de diamètre peut également être liée aux variations de luminosité, entre le poste de travail et l'extérieur par exemple. Deuxièmement, la vitesse et le nombre de déplacements du regard sont également des indicateurs du niveau de fatigue
Plus la vitesse est grande, moins l'individu arrive à se concentrer. Toutefois, cette dernière affirmation peut s'avérer difficile à vérifier, puisque certaines tâches impliquent un déplacement rapide du regard pour relever de nombreuses informations. Rappelons toutefois que la mesure du traitement mental de la tâche ne s'effectue pas directement à travers l'oculométrie, mais par une étude

des variations du comportement visible dans le regard. Des erreurs d'interprétation sont donc à prendre en compte (Holmqvist Kenneth, 2011).

Enfin, des limites s'imposent quant à l'utilisation de l'oculométrie dans l'étude du CTM.
Premièrement, il est plus difficile de définir et de contrôler certaines variables lors de l'utilisation sur le terrain. Les conditions météorologiques, les baies de dégivrage disponibles ou le genre de traitement de dégivrage utilisé au moment de l'enregistrement des données par oculométrie sont des exemples de variables difficilement appréciables. Ces variations ont un impact sur les résultats recueillis et rendent alors plus difficile la comparaison des résultats d'un CTM à un autre.
Deuxièmement, avec l'oculométrie in situ, il est difficile déterminer la manière dont le CTM traite l'information reçue. Afin de déterminer plus précisément la façon dont ces informations sont traitées, les communications doivent être recueillies puis superposées aux données de l'oculométrie.
Dernièrement, les résultats issus de l'étude sur le terrain, prise isolément, permettent difficilement de tirer des conclusions généralisables pour deux raisons principales. Tout d'abord, le poste du CTM est très spécifique et sa population réduite. De plus, le processus de dégivrage est différent selon les aéroports. En effet, dans certains aéroports, l'opération se déroule aux portes d'embarquements.

Conclusion

Le CTM est le chef d'orchestre de toute la procédure de dégivrage, qui peut impliquer plusieurs avions en même temps dans les aéroports canadiens de taille importante. Il doit rester attentif à chaque détail qui l'entoure, telle que les informations affichées sur les différents écrans (entrées, sorties, heures de décollages, occupations des baies etc.), le mouvement des avions, la position des équipes de dégivrage au sol et la circulation des engins divers (déneigeuses, voiture de sécurité, etc.). L'oculométrie permet d'évaluer le mode opératoire du CTM. Les ZI, le niveau de concentration et la charge mentale supportée sont des paramètres riches en information. Ils permettront d'identifier les habitudes d'observation du coordonnateur, d'identifier les moments de baisse de vigilance et enfin d'évaluer la charge mentale de travail supportée. Il sera possible, par la suite, de déterminer les raisons de l'augmentation de la charge mentale et des moments d'inattention. En définitive, les résultats issus de l'analyse des données obtenues par l'oculométrie permettront de rendre le travail du CTM plus agréable. Dans le long terme, des améliorations permettront de rendre le travail moins exigeant en effort cognitif, ce qui réduira la probabilité de commettre des erreurs liées à la fatigue et d'aboutir à un défaut de communication.

Remerciements

Nous aimerions remercier l'École de technologie supérieure et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada pour leur contribution financière, ainsi que Valérie Tuyêt Maï Ngô pour ses conseils.

Enfin, merci à Sylvain Leduc, maître de conférences en Psychologie du Travail-Ergonomie d'avoir mis en relation les auteurs. Cet article n'aurait pu voir le jour sans sa contribution initiale

Bibliographie

(BST), L. B. d. l. s. d. t. d. C. (1995). *Rapport d'enquête aéronautique A95Q0015*. Retrieved from http://tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/aviation/1995/a95q0015/a95q0015.asp
Ali-Hasan, N. F., Harrington, E. J., & Richman, J. B. (2008). *Best practices for eye tracking of television and video user experiences.* Paper presented at the 1st International Conference on Designing Interactive User Experiences for TV and Video, UXTV08, October 22, 2008 - October 24, 2008, Mountain View, CA, United states.
Barkana, D. E., & Acik, A. (2014). Improvement of design of a surgical interface using an eye tracking device. *Theoretical Biology and Medical Modelling, 11*(suppl1), 54 (18 pp.). doi:10.1186/1742-4682-11-S1-S4
De-icing Planes For Safety. (2014). *The Gazette.* Retrieved from https://vimeo.com/73336237
Durand, M. Z. e. A.-A. (2016). Malgré les accidents, voyager en avion est de plus en plus sûr. *Le Monde*.
EASA. (2011). Regulations of ground de-icing and anti-icing services in the EASA Members States : final report.
Günebak, S., Nadeau, S., Morency, F., & Sträter, O. (2016). *Aircraft Ground Deicing as a Complex Sociotechnical System : Towards a safer and More efficient communication process for aircraft ground deicing*. Paper presented at the Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Aachen, Germany.
Holmqvist Kenneth, N. M., Andersson Richard, Dewhurt Richard, Jarodzka Halszka, van de Weijer Joost. (2011). *Eye tracking : a comprehensive guide to methods and measures* (Oxford University Press ed.): Oxford University Press Inc.
IIMcIntire, L. K., McIntire, J. P., McKinley, R. A., & Goodyear, C. (2014). *Detection of vigilance performance with pupillometry.* Paper presented at the 8th Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA 2014, March 26, 2014 - March 28, 2014, Safety Harbor, FL, United states.
Kim, J. T., Shin, S. K., Kim, J. H., & Seong, P. H. (2013). An experimental approach to estimate operator's information processing capacity for diagnosing tasks in NPPs. *Annals of Nuclear Energy, 59*, 100-110. doi:10.1016/j.anucene.2013.03.023
Manske, P. G., & Schier, S. L. (2015). Visual scanning in an air traffic control tower - a simulation study. *Procedia Manufacturing, 3*, 3274-3279. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.397
Shengyuan, Y., Jun, X., Lei, L., Yahui, W., & Jingling, Z. (2014). Cognitive evaluation of digital monitoring HCI in nuclear power plant based on eye-tracking technology. *Applied Mechanics and Materials, 620*, 371-374. doi:10.4028/http://www.scientific.net/AMM.620.371
. SketchUp (Version 15.3.329). (2015) [3D Modeling]. Retrieved from https://www.sketchup.com/fr
Vatavu, R.-D., & Mancas, M. (2015). Evaluating visual attention for multi-screen television: measures, toolkit, and experimental findings. *Personal and Ubiquitous Computing, 19*(5-6), 781-801. doi:10.1007/s00779-015-0862-z
Velasquez, J. D. (2013). Combining eye-tracking technologies with web usage mining for identifying Website Keyobjects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26*(5-6), 1469-1478. doi:10.1016/j.engappai.2013.01.003

Wen-Chin, L., Chung-San, Y., Greaves, M., & Braithwaite, G. (2015). How Cockpit Design Impacts Pilots' Attention Distribution and Perceived Workload during Aiming a Stationary Target. *Procedia Manufacturing, 3*, 5663-5669. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.781

Wu, L., Zhu, Z., Cao, H., & Li, B. (2016). Influence of information overload on operators user experience of human-machine interface in LED manufacturing systems. *Cognition, Technology and Work, 18*(1), 161-173. doi:10.1007/s10111-015-0352-0

Zheng, B., Jiang, X., Tien, G., Meneghetti, A., Panton, O. N. M., & Atkins, M. S. (2012). Workload assessment of surgeons: Correlation between NASA TLX and blinks. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques, 26*(10), 2746-2750. doi:10.1007/s00464-012-2268-6
10.1007/s00464-011-2038-xor