



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 14606

To cite this version : Regis Nicolas, *Tunnélisation attentionnelle : définitions de métriques physiologiques et comportementales pour diagnostiquer la tunnélisation attentionnelle chez un opérateur humain.* (2011) [Mémoire]

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr



Facteurs Humains

**Tunnélisation Attentionnelle :
Définitions de métriques physiologiques et
comportementales pour diagnostiquer la tunnélisation
attentionnelle chez un opérateur humain**

Rapport de Projet de Fin d'Etudes
CAS – ISAE (Campus Supaero)

Sous la direction de Frédéric DEHAIS

OBJECTIFS DU PFE

1 Contexte de recherche du PFE

L'ISAE développe depuis 2004 une activité dans le domaine des interactions hommes-systèmes. Cette activité de recherche, menée par l'équipe Facteurs Humains du CAS, est transdisciplinaire : neurosciences, neuropsychologie, ergonomie et intelligence artificielle. Elle vise à élaborer des modèles formels des mécanismes cognitifs pour concevoir de nouveaux systèmes interactifs adaptés à l'homme. Une caractéristique importante de cette activité est de s'appuyer sur une approche expérimentale forte : de nombreux moyens d'expérimentation sont conçus et mis en œuvre (simulateur de vol, avions réels, plateforme robotique..). Des techniques de mesures récentes sont utilisées (ex : imagerie médicale) ou mises au point (ex : capteurs physiologiques et comportementaux) grâce à des collaborations de recherche. Cette activité trouve de multiples champs applicatifs à travers l'assistance au pilotage (aéronef, automobile), aux interactions hommes robots ou encore à l'aide aux patients.

Des expérimentations récentes menées au CAS ont confirmé que l'apparition d'un fort stress pouvait générer des comportements de « tunnelisation attentionnelle » où les opérateurs se focalisent excessivement sur la réalisation d'une tâche au détriment des autres, et ne sont plus sensibles aux alarmes visuelles et auditives. Dès lors, il devient important de définir des moyens pour détecter en temps réel ce type de comportement, à l'origine de nombreux accidents en aéronautique. L'enjeu de ce stage est de définir des métriques comportementales et physiologiques, précurseurs de l'apparition de la tunnelisation attentionnelle. Ce travail est en continuité avec des premiers travaux réalisés par Sergio PIZZIOL, doctorant à l'ONERA (Direction Catherine TESSIER), qui a défini un code informatique qui permet le calcul de telles métriques.

2 Equipe de travail et partage des tâches

Ce travail de recherche a été réalisé sous la direction de F. Dehais et de M. Causse et avec l'aide de l'équipe du CAS et en partenariat avec S. Pizziol, doctorant de l'ONERA au CSDV. Par ailleurs, Nous étions 3 stagiaires à effectuer notre PFE sur des sujets en forte interaction :

- Eric MENANT a été chargé de mettre en place une expérience en simulateur, d'assurer le passage des sujets avec des moyens de mesures physiologiques et oculaires. De plus, il a réalisé des expérimentations en condition réel de vol avec un Eye-tracker embarqué dans un Robin DR400/180 du CAS (implantation du matériel, respect de la sécurité, obtention du certificat de navigabilité).
- Charles THOORIS, s'est intéressé à étudier et à mettre en œuvre des méthodes de data mining pour apprendre et détecter le comportement de tunnelisation attentionnelle

3 Etapes du PFE

- Analyse de la problématique et réalisation d'un état de l'art
- Application à une expérimentation de conduite d'un rover pour l'exploration et l'identification de cibles
 - o Phase 1 : Etude du travail de Sergio Pizziol
 - o Phase 2 : Etude de nouvelles métriques
 - o Phase 3 : Etude d'une nouvelle méthode de diagnostic
 - o Phase 4 : Intégration des nouvelles métriques à la nouvelle méthode
- Autres travaux
 - o Mise en place d'une expérience
 - o Présentation orale aux visiteurs
 - o Démonstrations du simulateur
 - o Présentation intermédiaire
 - o Conférence HE2net

Problématique et état de l'art

1 Problématique

L'incapacité à détecter les alarmes visuelles est un problème crucial dans beaucoup de domaines comme l'automobile (Crundall, Underwood, et Chapman 1999) et l'aéronautique (Thomas et Wickens 2004). Différents modèles ont été proposés pour décrire ce phénomène comme étant une réduction du champ visuel, aussi connu sous le nom de « tunnélisation visuelle » (Williams 1985), ou à une dilution de l'attention visuelle (Crundall, Underwood, et Chapman 1999). D'autres études ont montré que, en fonction de la tâche expérimentale, la détection des stimuli visuels périphériques était détériorée si ces stimuli étaient placés entre 2,2 et 10 degrés du champ visuel fovéal (Plainis, Murray, et Chauhan 2001). Des auteurs s'appuyant sur le concept d'aveuglement attentionnel font l'hypothèse d'une explication purement attentionnelle du phénomène (Newby et Rock 1998) pour expliquer le rejet des stimuli inattendus dans le champ fovéal et ce malgré leur saillance (Simons et Chabris 1999). Ces auteurs postulent l'existence d'un processus d'inhibition sur le locus du stimulus inattendu, un mécanisme déjà décrit par Posner (1987). La « tunnélisation attentionnelle », un concept adjacent, a été opérationnalisé dans le contexte des facteurs humains par Wickens (Wickens 2005). Cet auteur qui propose de la définir comme « l'allocation de l'attention à un canal d'information particulier, à un diagnostic d'un jeu d'hypothèses ou à la réalisation d'une tâche dite objectif, pour une durée dépassant la durée optimale, étant donné les coûts associés à la négligence des informations présentées par les autres canaux, ou à de nouvelles hypothèses non envisagées, ou encore à la non réalisation d'autres tâches. ». Des expériences réalisées en simulateur de vol démontrent que la tunnélisation attentionnelle peut conduire les pilotes à négliger des informations critiques telles que des alarmes visuelles (Dehais, Tessier, et Chaudron 2003) et auditives (Dehais et al. 2010). Des travaux ont montré que des solutions existent pour lutter contre ce phénomène, telles que les contre-mesures cognitives (Dehais, Tessier, et Chaudron 2003), la régulation du niveau d'automatisation (Parasuraman et Wickens 2008) ou la modification du partage d'autorité (Dehais, Mercier, et Tessier 2009).

Dès lors, un enjeu est de disposer de moyens de mesure pour détecter la tunnélisation attentionnelle dans le but d'adapter en temps réel l'interaction homme-machine selon les principes proposés précédemment.

Il existe de nombreux moyens de mesures qui donnent accès à l'état cognitif d'un opérateur humain. Nous proposons de voir dans un premier temps l'ensemble de ces moyens existants, pour ensuite conclure sur les marqueurs les plus pertinents afin de détecter la tunnélisation attentionnelle.

2 Etat de l'art de paramètres physiologiques et oculométriques étudiés en ergonomie cognitive

Dans un premier temps, plusieurs types de métriques utilisés en ergonomie cognitive vont être présentés avec leur moyen de mesure associé, puis nous étudierons plus

précisément l'oculométrie tant les métriques qu'elle apporte sont intéressantes pour l'ergonomie cognitive.

2.1 Métriques

2.1.1 Activité cérébrale

Les informations présentées dans ce paragraphe sont extraites du manuscrit de thèse de Causse (Mickael Causse 2010). Les paragraphes suivants permettent de présenter les moyens de mesure et métriques qui se cachent derrière les nombreux acronymes utilisés en ergonomie cognitive.

a. Activité électrique cérébrale :

L'activité cérébrale peut se mesurer à l'aide d'électroencéphalographes (EEG), qui mesurent l'activité électrique du cerveau à l'aide d'électrodes mises en contact du cuir chevelu. Il existe deux méthodes de mesures :

- La méthode continue (EEG-Continu) qui correspond à l'étude de l'activité EEG rythmique du cerveau avec les ondes Delta (jusqu'à 4Hz), Thêta (4-7 Hz), Alpha (8-12 Hz), Beta (12-30 Hz), Gamma (30-100+ Hz) associées.
- La méthode dite EEG-ERP : plusieurs potentiels évoqués (PE) cognitifs ont été associés à des événements particuliers et reflètent une activité mentale intervenant au cours de la réalisation de tâches.

Ces méthodes sont assez difficiles à mettre en œuvre du fait de la faible amplitude des signaux électriques observés, facilement perturbés dans un environnement réel. De plus la méthode ERP nécessite que les mesures soient répétées plusieurs fois pour que le PE associé à l'événement étudié émerge du bruit électrique associé à l'activité cérébrale de fond.

b. Neuroimagerie :

La mesure de l'oxygénation du sang en des points stratégiques permet de matérialiser la consommation d'énergie associée aux zones étudiées, et donc leur activation en fonction de la tâche et de l'état de l'opérateur.

Un outil qui permet cette mesure dans le cerveau est l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). On remarque que lorsque qu'une région du cerveau s'active, la consommation d'oxygène locale augmente. L'hémoglobine oxygénée (ou oxyhémoglobine diamagnétique) se transforme en désoxyhémoglobine paramagnétique en traversant cette région. Cette perturbation du champ magnétique est perçue par l'IRMf. Puis le débit de sang augmente dans la région consommatrice pour faire face aux besoins. Le rapport de concentrations en oxyhémoglobine / désoxyhémoglobine s'inverse à nouveau, puis le ratio revient à la normale, émettant une signature magnétique caractéristique dans l'IRMf, appelé signal BOLD (*Blood Oxygenation Level Dependant*).

Une autre méthode prometteuse est appelée imagerie spectroscopique dans le proche infrarouge (fNIR, acronyme anglais). Les spectres associés à la réflexion sur l'hémoglobine

des rayons lumineux dans le spectre proche infrarouge sont différents si l'hémoglobine est oxygénée ou pas. L'activité associée à la région étudiée peut donc être mise en évidence par spectroscopie.

2.1.2 Activité du Système Nerveux Autonome (SNA)

Le SNA (encore appelé système nerveux végétatif) est constitué de nerfs qui interviennent dans la régulation des fonctions vitales internes. Ils contribuent à l'équilibre de notre milieu intérieur en coordonnant des activités comme la digestion, la respiration, la circulation sanguine, l'excrétion ou la sécrétion d'hormones. Le SNA est à son tour subdivisé en deux catégories : le système nerveux sympathique, dont l'activation prépare l'organisme à l'activité physique ou intellectuelle, et le système nerveux parasympathique dont l'activation amène un ralentissement général des fonctions de l'organisme afin d'économiser ses ressources. Les régulations effectuées par le SNA répondent à la charge de travail physique, mentale, mais aussi aux émotions ou au stress. Le SNA est responsable de différents changements physiologiques :

a. L'électrocardiogramme (ECG)

En général, l'activité cardiaque se mesure à l'aide d'électrodes placées sur le thorax en général. L'ECG enregistre les changements de potentiel électrique à la surface de la peau correspondant à l'activité électrique des muscles du cœur. Chaque individu a une signature cardiaque qui lui est propre, à la manière des empreintes digitales. Les paramètres cardiaques porteurs d'informations sur l'état cognitif et émotionnel de l'opérateur sont ensuite calculés par des méthodes de filtrage. Les paramètres couramment calculés sont : le rythme cardiaque (RC) (M. Causse et al. 2010), la pression artérielle (Housman et al. 2007), ou encore la variabilité du rythme cardiaque (VRC) (Rani et al. 2002). Ces données cardiaques peuvent être utilisées pour évaluer le stress de l'opérateur (J. A. Easterbrook 1959) (Weltman, Egstrom, et Christianson 1966), (Bahrack, Fitts, et Rankin 1952). L'activité cardiaque réagit aussi à beaucoup d'autres sollicitations, notamment l'augmentation de l'activité physique. La mesure elle-même est perturbée par l'activité électrique associée à la contraction des muscles (notamment les muscles pectoraux).

b. La réponse électrodermale (RE)

La peau possède des glandes sudoripares contrôlées par le SNA (Fowles et al. 1981). On place deux électrodes à la surface de la peau (sur le front ou sur deux doigts côte à côte), on peut alors mesurer les variations de conductivité entre ces deux électrodes, la conductivité augmente avec l'activation des glandes sudoripares en réponse aux processus émotionnels (M. Causse et Hurter 2009) ou à la charge mentale (Kramer 1991). La réponse électrodermale est néanmoins sujette à des variations du à l'effort physique, à la pression exercée sur les électrodes ou à la température, ce qui pose problème si l'on veut faire des mesures pendant le pilotage d'un avion par exemple. De ce fait, les mesures absolues de la RE ne sont pas robustes, seules des variations locales en réponse à des événements brefs peuvent être analysées de façon satisfaisante.

c. L'oculométrie

Le SNA a un impact sur les caractéristiques de l'œil et de ses mouvements, ce qui sera détaillé au paragraphe 0.

2.1.3 Métriques citées dans la littérature

Les métriques présentées sont extraites de (John et al. 2004), étude qui fait office de banc d'essai dans laquelle ces métriques ont été testées en parallèle pour mettre en évidence leur capacité à déceler les changements de charge de travail en intensité et en type, pendant une tâche particulière (Warship Commander Task).

Tableau 1 - Métriques extraites de (John et al. 2004)

Paramètre mesuré	Métriques déduites	Laboratoire associé
Oxygénation du sang	Activité dans l'aire frontale gauche et droite séparément (pour l'attention et la mémorisation dynamique)	Drexel University (contact : Scott Bunce)
EEG Continu	B-Alert® indexes : Pourcentage de forte vigilance, Probabilité de vigilance faible	Advanced Brain Monitoring, Inc. (contact : Chris Berka)
EEG Continu	Analyse spectrale et temporelle permet d'évaluer les augmentations de Charge exécutive.	QinectiQ, Inc. / University of Bristol (contact : Blair Dickson)
EEG-ERP	Signaux thêta sont associés aux efforts moteurs et efforts d'écoute	Electrical Geodesics, Inc. (contact : Don Tucker)
ERN	Diminution de l'impact d'un signal d'alarme en fonction de la charge de travail	Sarnoff / Columbia University (contact : Lucas Parra)
EEG-ERP	Les signaux thêta augmentent avec les efforts de mémorisation	University of new Mexico (contact : Akaysha Tang)
ECG	L'analyse fréquentielle des intervalles inter-battements (IBI) permet l'évaluation de l'éveil de l'opérateur (allant de fatigué à alerte)	Clemson University (contact : Eric Muth)
RE + RC	Le Stress et éveil de l'opérateur serait à l'image du produit du (RE) et du (HR) moins la valeur du produit au repos :	University of Hawaii (contact : David Chin)
RE	La RE augmente avec le stress et l'éveil de l'opérateur	AnthroTronix, Inc. (contact : Anna Lockherd)
Dilatation	Augmentation des variations haute	San Diego State University

pupillaire	fréquence du diamètre pupillaire fait monter l'Index d'activité cognitive (ICA®)	(contact : Sandra Marshall)
------------	--	-----------------------------

2.2 Métriques oculométriques

L'oculométrie occupe aujourd'hui une place privilégiée dans l'ergonomie cognitive suite à l'apparition d'Eye-trackers performants, relativement faciles à mettre en place, et peu coûteux. Ils mettent à disposition des nouveaux paramètres de mesures très intéressants.

2.2.1 L'Eye-tracking

Les premières études des mouvements oculaires commencent au 19^{ème} siècle (Javal 1878). Aujourd'hui les méthodes ont considérablement évolué, notamment en termes de souplesse des dispositifs de mesure des mouvements de l'œil. Les Eye-trackers actuels s'appuient sur la réflexion d'un signal lumineux infrarouge sur la cornée pour déterminer la position du globe oculaire par rapport à la tête. Une caméra infrarouge récupère les images de l'œil éclairé, des algorithmes traitent ces images pour extraire les paramètres géométriques qui permettront le calcul de la position de l'œil par des relations trigonométriques. Une phase préliminaire de calibration est nécessaire pour étalonner la mesure de position absolue du regard. Il est souvent nécessaire de refaire la calibration entre les mesures.

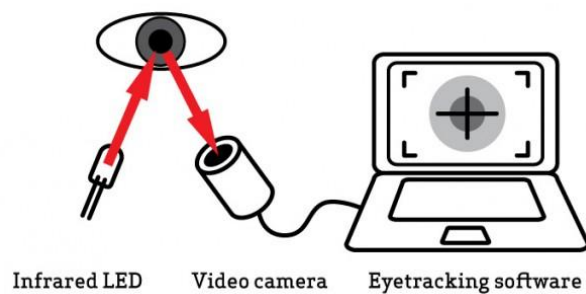


Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un Eye-tracker



Figure 2 - Eye-trackers :
à gauche : EyeFollower™ 2.0 (Interactive Minds)
à droite : EyeTechSensor Type L (Pertech)



Figure 3 - Mesures sur le mouvement de l'œil
à gauche : lecture d'une page web
à droite : Eye-tracker mobile utilisé en supermarché

Il existe plusieurs types d'Eye-trackers. Les Eye-trackers fixes, en général disposés sous un écran d'ordinateur, ont l'avantage de ne pas perturber l'opérateur. Les Eye-trackers mobiles, disposés sur la tête (voir Figure 2), permettent de superposer la position du regard sur la vidéo de l'environnement en face de l'opérateur (voir Figure 3). La vidéo de l'environnement provient de la caméra de champ situé au centre des « lunettes » de l'eye-tracker.

La Figure 3 (partie de gauche) est une représentation caractéristique des mouvements de l'œil, c'est-à-dire un enchaînement de fixations (points) qui permettent la prise d'information et de saccades (traits) qui permettent de changer de point de fixation, sans prise d'information. Ce phénomène est appelé mouvement saccadique. Si un opérateur fixe un objet mobile, alors la fixation suit l'objet par un mouvement appelé poursuite lisse. Les mesures des positions de l'œil peuvent être interrompu par un clignement de la paupière, ces clignements sont également mesurés par le dispositif (en nombre, et amplitude).

2.2.2 Définitions sur le mouvement de l'œil

On ne peut pas classifier une fixation comme étant l'absence totale de mouvement de l'œil dans la mesure où l'œil est en fait en perpétuel mouvement (Ditchburn et Ginsborg 1953). L'œil est en effet animé de micromouvements même pendant les fixations, ces mouvements permettent de réactiver en permanence la perception de l'œil (Coppola et Purves 1996). Il faut donc définir des seuils qui permettent de classifier fixation, saccades, et poursuite lisse. En général une fixation regroupe un ensemble de positions angulaires de l'œil comprise dans un cône de faible dimension :

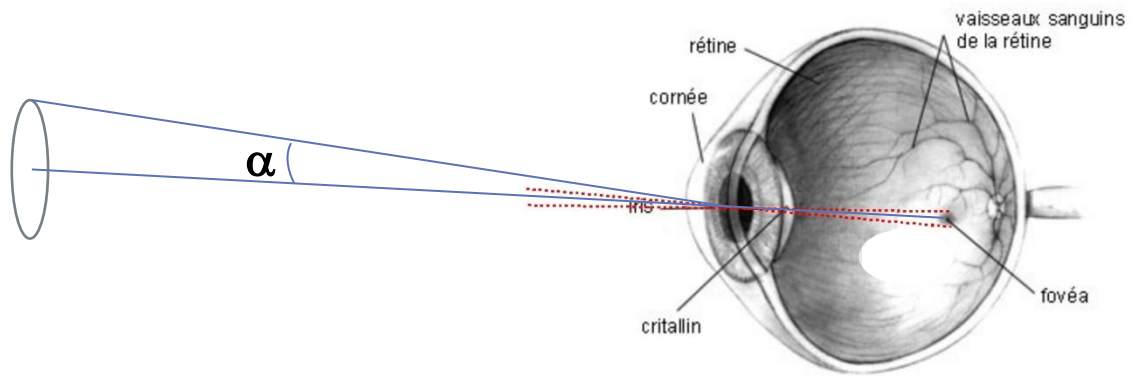


Figure 4 : Coupe de l'œil et cône de fixation d'angle α

La liste qui suit est une synthèse de définitions de paramètres utilisées dans plusieurs études utilisant des métriques oculométriques. Il permettra ensuite de fixer des caractéristiques précises pour le calcul des métriques de notre propre étude.

Fixation :

Les fixations font l'objet de plusieurs définitions, en termes de critère spatial (quel l'on peut assimiler au paramètre α de la Figure 4), de caractéristique temporelle, de vélocité :

Les fixations sont des « positions relativement stables de l'œil par rapport à la tête, avec une faible tolérance pour la dispersion (typiquement $\sim 2^\circ$) » (Jacob et Karn 2003). Marshall définit une fixation comme « Toute direction du regard qui reste fixe dans une région d'1 degré sur 1 degré » (Marshall 2000). Pour d'autres auteurs, cette région est circulaire (comme sur la Figure 4) de 0.5° (Hoffman et Subramaniam 1995) ou d'environ 1° (Liang, Reyes, et Lee 2007).

Le temps moyen d'une fixation est « un quart de seconde » (Hoffman et Subramaniam 1995), ou encore « pendant un temps minimum (typiquement 100–200 ms) » (Jacob et Karn 2003) ce qui est proche du seuil d'au moins 100ms préconisé dans (Marshall 2000). Une classification du type de fixation en fonction du temps est proposée dans (Graf et Krueger 1989) :

- Si le temps de fixation est inférieur à 240ms, alors la fixation est involontaire, sans extraction d'information mais elle permet la recherche d'objet.
- Si le temps de fixation est supérieur à 320ms, alors la fixation est volontaire, elle correspond à une extraction d'information.

Des vélocités qui restent en dessous de valeurs dans la plage 15-100°/sec sont proposées dans (Jacob et Karn 2003), alors que le critère utilisé dans (Liang, Reyes, et Lee 2007) est d'avoir une vélocité inférieure à $1^\circ/\text{sec}$.

Saccade :

On appelle saccade lorsque l'œil adopte un mouvement rapide avec une vitesse comprise entre 400 et 600°/sec (Liang, Reyes, et Lee 2007). Une autre étude utilise un algorithme de détection qui classe le mouvement de l'œil comme étant une saccade dès lors que la vitesse de l'œil dépasse $30^\circ/\text{sec}$ (Peterson, Kramer, et Irwin 2004). D'autres

caractéristiques sont proposées dans (Liang, Reyes, et Lee 2007), l'amplitude du mouvement de l'œil doit être supérieure à 1°, sans changement de direction.

Poursuite lisse :

Dans l'étude d'un conducteur de voiture (Liang, Reyes, et Lee 2007) le concept de poursuite lisse est défini (« smooth pursuit »). Ce dernier permet à l'œil d'accrocher une cible mobile et d'assurer son suivi (ex : lecture d'un panneau au volant d'une voiture en mouvement). Les caractéristiques de classification sont les suivantes : la direction du regard suit la cible, à une vitesse entre 1 et 30°/sec.

2.2.3 Définitions de paramètres utilisés lors de l'Eye-tracking

Zone d'intérêt (AOI pour Area Of Interest) : Désignées par l'équipe qui mène l'étude, elles localisent les zones de l'espace de travail de l'opérateur ayant une signification particulière (cadran d'instrument, fenêtre permettant de voir dehors, zone entourant un voyant d'alarme,...) (Jacob et Karn 2003).

Consultation : Ensemble de fixations dans une zone d'intérêt, comprend donc toutes les fixations et les saccades entre ces fixations au sein de la zone d'intérêt. Le temps mesuré est arrêté lorsque que le regard sort de la zone d'intérêt (Jacob et Karn 2003).

Parcours optique : Organisation spatiale d'une séquence de fixations (Jacob et Karn 2003).

2.2.4 Métriques oculométriques citées dans la littérature

Les métriques suivantes sont extraites particulièrement de (Poole et Ball 2005) et de (Jacob et Karn 2003) qui sont des états de l'art sur l'Eye-tracking en ergonomie s'appuyant sur des métriques oculométriques et de (Tsai et al. 2007) :

Tableau 2 Récapitulatif de métriques d'ergonomie cognitive et interprétations

<p><u>Fixations</u></p>	<p>Nombre de fixations sur chaque zone d'intérêt (Poole, Ball, et Phillips 2005). Durée de fixation moyenne par zone d'intérêt (Svensson et al. 1997). Durée de fixation totale sur une zone d'intérêt en proportion (Flemisch 2000). Fixation fovéale (Strayer, Drews, et Johnston 2003)</p>
<p>Interprétations proposées</p>	<p><u>Nombre de fixations:</u> Plus le nombre de fixation augmente pour une tâche donnée, moins la recherche est efficace (Goldberg et Kotval 1999). Un grand nombre de fixations sur une zone d'intérêt traduit que cette zone est plus importante ou plus remarquable que les autres zones (Poole, Ball, et Phillips 2005). <u>Fréquence :</u> Si la tâche consiste à exploiter des informations dans un ensemble :</p>

	<p>Une fréquence plus élevées sur une zone particulière peut traduire un plus grand intérêt pour la cible ou être un signe que l'objet est plus complexe à exploiter (Jacob et Karn 2003).</p> <p><u>Durée :</u> Une fixation plus longue indique la difficulté à extraire l'information, ou signifie que l'objet est plus captivant (Just et Carpenter 1976). Il est largement reconnu que des fixations longues traduisent le fait que l'objet fixé est moins évocant (Goldberg et Kotval 1999).</p>
<u>Consultations</u>	<p>Nombre de consultations général (Albert et Liu 2003). Nombre de consultations sur chaque zone d'intérêt (Albert et Liu 2003). Durée de consultation moyenne sur chaque zone d'intérêt (Albert et Liu 2003). Temps de consultation sur une zone d'intérêt (Hauland 2003) Fréquence des consultations longues sur chaque zone d'intérêt (Svensson et al. 1997). Ratio des consultations par zone d'intérêt (Mello-Thoms, Nodine, et Kundel 2002) Nombre d'AOI consultées (Thomas et Wickens 2004)</p>
Interprétations proposées	<p><u>Taux de consultation pour chaque zone d'intérêt, en pourcentage :</u> A l'image de l'importance de l'information recueillie dans la zone d'intérêt, et de l'attention donnée à cette zone par l'opérateur (Mello-Thoms, Nodine, et Kundel 2002), (Wickens 2005). Fitts affirme que la fréquence traduit l'importance de la zone en elle-même (Fitts, Jones, et Milton 2005). Le nombre d'AOI consultées diminue avec la tunnélisation attentionnelle (Thomas et Wickens 2004).</p> <p><u>Durée :</u> La durée de chaque consultation traduit la difficulté à extraire l'information (Fitts, Jones, et Milton 2005). Pour Hauland, des consultations longues sur une zone où un événement peut arriver, peuvent traduire le fait que l'opérateur anticipe cet événement (Hauland 2003).</p>
<u>Saccades</u>	<p>Nombre de saccades (Goldberg et Kotval 1999)</p>
Interprétations proposées	<p>Les saccades ne correspondent à aucune extraction d'information, donc ne peuvent donner d'indication sur la sillance ou la complexité d'un objet. Mais un grand nombre de saccade indiquent une recherche importante (Goldberg et Kotval 1999). La focalisation de l'attention provoque une activité saccadique réduite (Tsai et al. 2007), (Cowen, Ball, et Delin 2002)</p>
<u>Clignements</u>	<p>Fréquence de clignements (Bruneau, Sasse, et McCarthy 2002). Intervalle entre les clignements (Veltman et Gaillard 1996).</p>
Interprétations proposées	<p><u>Fréquence :</u> Une fréquence de clignement plus faible peut traduire une charge de</p>

	travail importante (Wilson 2002) ou une charge visuelle importante (Veltman et Gaillard 1996) alors que l'augmentation de la fréquence traduit plutôt la fatigue (Bruneau, Sasse, et McCarthy 2002), (Brookings, Wilson, et Swain 1996). Les clignements évoluent aussi avec d'autres facteurs, comme la luminosité ambiante (Goldberg et Wichansky 2003).
<u>Pupille</u>	Indice d'activité cognitive (ICA®). (Marshall 2000)
Interprétations proposées	Une taille de pupille élevée peut traduire un effort cognitif plus important (Brookings, Wilson, et Swain 1996). Ce paramètre est aussi sensible aux variations de luminosité, ce qui peut contaminer les mesures (Goldberg et Wichansky 2003). Une analyse des variations haute fréquence de la pupille permet toutefois d'étudier la charge cognitive indépendamment des variations lumineuses (Marshall 2000).

3 Vers la définition de métriques pour diagnostiquer la tunnélisation attentionnelle

Nous avons vu différents moyens de mesures et métriques qui sont utilisées en ergonomie cognitive. Nous allons maintenant nous focaliser sur celles qui peuvent être en lien directement avec la tunnélisation attentionnelle et surtout qui peuvent être mis en place au regard des contraintes liées aux cas d'étude qui nous intéressent, c'est-à-dire le pilotage d'avion ou la conduite de robots à distance.

3.1 Précurseurs de la tunnélisation attentionnelle

3.1.1 Le conflit

Dehais s'attache à montrer que le conflit est un précurseur de la tunnélisation dans la mesure où il apporte un stress, une charge de travail supplémentaires (Dehais 2004) et une mobilisation des ressources attentionnelles vers la résolution, du conflit au détriment de la surveillance des paramètres de vol. Le conflit entre agents peut être normalisé comme dans (DEHAIS et al. 2010), (Rushby 2002). Son essence est la contradiction, la différence entre deux points de vue (Castelfranchi 2000). Dans cette perspective le conflit est considéré comme l'impossibilité pour un agent ou un groupe d'agents d'atteindre son but (Castelfranchi 2000), (Dehais, Tessier, et Chaudron 2003), (S. Easterbrook 1991). Le conflit peut être facilement généré lors de la réalisation d'une tâche expérimentale (changement d'autorité entre le pilote et l'automate, insertion d'un retard dans les lois de pilotage,...). Ce conflit pouvant être formalisé, nous pourrions utiliser cette variable pour pousser l'opérateur vers la tunnélisation attentionnelle.

3.1.2 La charge de travail

Les modèles de gestion des tâches par un opérateur dans (J. Wanner et Wanner 1999), s'appuyant sur le modèle de l'opérateur à capacité limitées, mettent en évidence que sous

forte charge de travail, l'opérateur est amené à ne plus être capable de suivre l'ensemble des tâches qui lui sont confiées ce qui peut provoquer l'omission de certaines tâches, par exemple le suivi d'un événement à faible probabilité d'occurrence (alarmes visuelles, paramètres anormaux,...). La charge de travail visuelle peut être étudiée via une réduction des clignements (Veltman et Gaillard 1996), de même que la charge cognitive par l'étude de la dilatation pupillaire (Marshall 2000).

3.1.3 Le stress

Certains auteurs postulent qu'un tel rétrécissement du champ de vision est due à une surcharge fovéale (Williams 1985), (Williams 1995), d'autres affirment que ce phénomène est dû à des sources de stress (Bahrack, Fitts, et Rankin 1952), (J. A. Easterbrook 1959), (S. Easterbrook 1991), (Weltman, Egstrom, et Christianson 1966). Les variations du SNA étant à l'image des émotions de l'opérateur, la mesure des données cardiaques (ECG) et de la réponse électrodermale (RE) nous donnerons des indications sur l'état de l'opérateur dans les phases de tunnélisation attentionnelle (Voir 2.1.2).

3.2 Indicateurs

3.2.1 Activité oculaire

D'après la littérature; la tunnélisation attentionnelle est accompagnée par une activité saccadique réduite, avec des fixations longues et concentrée (Tsai et al. 2007), (Cowen, Ball, et Delin 2002) et par une diminution du nombre de zone d'intérêt consultées sur l'interface de l'utilisateur (Thomas et Wickens 2004).

3.2.2 Non détection d'événements

Lors de l'utilisation d'un simulateur de vol mettant en jeu des systèmes de visualisation innovants type SVS (Synthetic Vision Display), il a été montré que la tunnélisation attentionnelle est un facteur qui augmente très fortement la non détection d'événements inattendus (Thomas et Wickens 2004). L'étude de la détection d'alarmes dans des phases critiques apportera donc des informations sur la tunnélisation attentionnelle de l'opérateur.

4 Conclusion

Cet état de l'art nous donne un bon aperçu de ce qui est réalisable pour l'évaluation de l'état d'un opérateur dans son interaction avec un système. L'étude des indicateurs et précurseurs permet de raffiner notre choix de paramètres physiologiques et comportementaux pour la détection de la tunnélisation attentionnelle : l'oculométrie permettra de vérifier la détection d'alarmes visuelles, et de détecter une restriction du champ attentionnel, l'activité cardiaque et la réponse électrodermale permettra d'observer les manifestations du stress de l'opérateur, tandis que le conflit sera une des variables sur lesquelles on pourra jouer pour renforcer la tunnélisation attentionnelle, tout comme la charge de travail. Nous choisissons de nous concentrer dans un premier temps sur 4

métriques que nous pourrions utiliser sur différentes expériences avec le matériel du CAS, sur les applications qui nous intéressent :

- Pourcentage de temps passé sur chaque zone d'intérêt, à l'image de l'allocation des ressources attentionnelles sur un cadran particulier (Wickens 2005)
- Taux de transitions oculaires entre AOI, qui traduit la diminution de l'activité saccadique (Cowen, Ball, et Delin 2002), (Tsai et al. 2007)
- Nombre d'AOI consultées, on pourra ainsi remarquer une réduction du nombre d'AOI considérées par l'opérateur (Thomas et Wickens 2004)
- Rythme cardiaque, à l'image de l'état de stress de l'opérateur (J. A. Easterbrook 1959), (Veltman et Gaillard 1996), (Bahrick, Fitts, et Rankin 1952).

Table des figures

Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un Eye-tracker	23
Figure 2 - Eye-trackers : à gauche : EyeFollower™ 2.0 (Interactive Minds) à droite : EyeTechSensor Type L (Pertech).....	24
Figure 3 - Mesures sur le mouvement de l'œil à gauche : lecture d'une page web à droite : Eye-tracker mobile utilisé en supermarché.....	24
Figure 4 : Coupe de l'œil et cône de fixation d'angle α	25
Figure 5 - Photo du rover	31
Figure 6 - Interface de contrôle du rover	32
Figure 7 - Représentation du scénario de la mission.....	33
Figure 8 - Ecran d'avertissement "Batterie Faible" classique.....	34
Figure 9 - Nombre moyen d'AOI sur les 4 segments pour les deux groupes Les barres d'erreur sont en erreur standard	36
Figure 10 - Pourcentage moyen passé sur la vidéo en fonction des segments Les barres d'erreur sont en erreur standard	37
Figure 11 - Taux de transition entre les AOIs Les barres d'erreur sont en erreur standard.....	38
Figure 12 – Ecart avec le Rythme cardiaque au repos (en moyenne) en fonction des phases et des groupes Les barres d'erreur sont en erreur standard	39
Figure 13- Interaction Segment*Groupe pour la vitesse de l'œil.....	40
Figure 14 - Interaction Segment*Groupe pour les fixations involontaires.....	42
Figure 15- Interaction Segment*Groupe pour les fixations volontaires	42
Figure 16 - Interaction Segment*Groupe pour les mouvements de tête	44
Figure 17 - Etats de l'œil en fonction du temps du sujet ROJAN	46
Figure 18 - Etats de l'œil en fonction du temps du sujet HERMA	47
Figure 19 - Scénario de la contre-mesure cognitive "Batterie Faible"	63

Table des tableaux

Tableau 1 - Métriques extraites de (John et al. 2004).....	22
Tableau 2 Récapitulatif de métriques d'ergonomie cognitive et interprétations	26
Tableau 3- Numérotation des AOIs.....	36
Tableau 4- Légende Vecteur Etat de l'œil	46

Bibliographie

Albert, W. S., et A. Liu. 2003. « The effects of map orientation and landmarks on visual attention while using an in-vehicle navigation system ». *Vision in Vehicles* 8.

Bahrack, H. P., P. M Fitts, et R. E Rankin. 1952. « Effect of incentives upon reactions to peripheral stimuli. » *Journal of Experimental Psychology* 44 (6): 400.

Brookings, J. B., G. F Wilson, et C. R Swain. 1996. « Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control ». *Biological Psychology* 42 (3): 361-377.

Bruneau, D., M. A Sasse, et J. D. McCarthy. 2002. The eyes never lie: The use of eye tracking data in HCI research. Dans *Proceedings of the CHI*, 2:25.

Castelfranchi, C. 2000. « Conflict ontology ». *Computational conflicts: conflict modeling for distributed intelligent systems, with contributions by numerous experts*: 21.

Causse, M., et C. Hurter. 2009. « The Physiological User's Response as a Clue to Assess Visual Variables Effectiveness ». *Human Centered Design*: 167-176.

Causse, M., J. M Sénard, J. F Démonet, et J. Pastor. 2010. « Monitoring cognitive and emotional processes through pupil and cardiac response during dynamic versus logical task ». *Applied psychophysiology and biofeedback* 35 (2): 115-123.

Causse, Mickael. 2010. Influence de la récompense et de l'âge sur la performance de pilotage : une contribution de laneuroergonomie à la sécurité aérienne. Toulouse: Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace.

Coppola, D., et D. Purves. 1996. « The extraordinarily rapid disappearance of entopic images ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93 (15): 8001.

Cowen, L., L. J Ball, et J. Delin. 2002. « An eye movement analysis of webpage usability ». *Proc. People & Computers XVI: Memorable yet invisible*: 317-335.

Dehais, F. 2004. Modélisation des conflits dans l'activité de pilotage. Ecole doctorale : Systèmes, avril 24.

DEHAIS, F., C. LESIRE, C. TESSIER, et L. CHRISTOPHE. 2010. *Procédé et dispositif pour la détection de conflits de pilotage entre l'équipage et le pilote automatique*. WO Patent WO/2010/000,960.

Dehais, F., S. Mercier, et C. Tessier. 2009. « Conflicts in Human Operator–Unmanned Vehicles Interactions ». *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*: 498-507.

Dehais, F., C. Tessier, L. Christophe, et F. Reuzeau. 2010. « The perseveration syndrome in the pilot's activity: guidelines and cognitive countermeasures ». *Human Error, Safety and Systems Development*: 68-80.

Dehais, F., C. Tessier, et L. Chaudron. 2003. GHOST: experimenting conflicts countermeasures in the pilot's activity. Dans *INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, 18:163-168. Citeseer.

Ditchburn, R. W., et B. L. Ginsborg. 1953. « Involuntary eye movements during fixation ». *The Journal of physiology* 119 (1): 1.

Easterbrook, J. A. 1959. « The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. » *Psychological review* 66 (3): 183.

Easterbrook, S. 1991. « Handling conflict between domain descriptions with computer-supported negotiation* 1,* 2 ». *Knowledge acquisition* 3 (3): 255-289.

Fitts, P. M, R. E Jones, et J. L Milton. 2005. « Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches ». *Ergonomics: Psychological mechanisms and models in ergonomics* 3: 56.

Flemisch, F. O. 2000. *Detecting usability problems with eye tracking in airborne battle management support*. DTIC Document.

Fowles, D. C, M. J Christie, R. Edelberg, W. W Grings, D. T Lykken, et P. H Venables. 1981. « Publication recommendations for electrodermal measurements ». *Psychophysiology* 18 (3): 232-239.

Goldberg, J. H, et X. P Kotval. 1999. « Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs ». *International Journal of Industrial Ergonomics* 24 (6): 631-645.

Goldberg, J. H, et A. M Wichansky. 2003. « Eye tracking in usability evaluation: A practitioner's guide ». *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movements research*: 493-516.

Graf, W., et H. Krueger. 1989. Ergonomic evaluation of user-interfaces by means of eye-movement data. Dans *Proceedings of the third international conference on human-computer interaction, Vol. 1 on Work with computers: organizational, management, stress and health aspects*, 659-665. Elsevier Science Inc.

Hauland, G. 2003. Measuring team situation awareness by means of eye movement data. Dans *Proceedings of HCI International 2003*, 3:230-234.

Hoffman, J.E., et B. Subramaniam. 1995. « The role of visual attention in saccadic eye movements ». *Attention, Perception, & Psychophysics* 57 (6): 787-795.

Housman, S. J, V. Le, T. Rahman, R. J Sanchez, et D. J Reinkensmeyer. 2007. Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial. Dans *Rehabilitation Robotics, 2007. ICORR 2007. IEEE 10th International Conference on*, 562-568. Ieee.

Jacob, R.J.K., et K.S. Karn. 2003. « Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises ». *Mind* 2 (3): 4.

Javal, E. 1878. Sur la physiologie de la lecture. Dans *Annales d'Oculistique*. Vol. 1879.

John, M. S, D. A Kobus, J. G Morrison, et D. Schmorrow. 2004. « Overview of the DARPA augmented cognition technical integration experiment ». *International Journal of Human-Computer Interaction* 17 (2): 131-149.

Just, M. A, et P. A Carpenter. 1976. « Eye fixations and cognitive processes* 1,* 2 ». *Cognitive Psychology* 8 (4): 441-480.

Kramer, A. F. 1991. « Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress ». *Multiple-task performance*: 279-328.

Liang, Yulan, Michelle L. Reyes, et John D. Lee. 2007. « Real-Time Detection of Driver Cognitive Distraction Using Support Vector Machines ». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 8 (juin): 340-350. doi:10.1109/TITS.2007.895298.

Marshall, S. P. 2000. *Method and apparatus for eye tracking and monitoring pupil dilation to evaluate cognitive activity*. Google Patents.

Marshall, S.P. 2007. « Identifying cognitive state from eye metrics ». *Aviation, space, and environmental medicine* 78 (Supplement 1): B165–B175.

Mello-Thoms, C., C. F Nodine, et H. L Kundel. 2002. What attracts the eye to the location of missed and reported breast cancers? Dans *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, 111-117. ACM.

Newby, E. A, et I. Rock. 1998. « Inattentive blindness as a function of proximity to the focus of attention ». *PERCEPTION-LONDON*- 27: 1025-1040.

Parasuraman, R., et C. D Wickens. 2008. « Humans: Still vital after all these years of automation ». *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 50 (3): 511.

Peterson, M.S., A.F. Kramer, et D.E. Irwin. 2004. « Covert shifts of attention precede involuntary eye movements ». *Attention, Perception, & Psychophysics* 66 (3): 398–405.

Plainis, S., I.J. Murray, et K. Chauhan. 2001. « Raised visual detection thresholds depend on the level of complexity of cognitive foveal loading ». *PERCEPTION-LONDON*-30 (10): 1203–1212.

Poole, A., L. J Ball, et P. Phillips. 2005. « In search of salience: A response-time and eye-movement analysis of bookmark recognition ». *People and Computers XVIII—Design for Life*: 363-378.

Poole, A., et L.J. Ball. 2005. « Eye tracking in human-computer interaction and usability research: current status and future prospects ». *Encyclopedia of human computer interaction*: 211–219.

Rani, P., J. Sims, R. Brackin, et N. Sarkar. 2002. « Online stress detection using psychophysiological signals for implicit human-robot cooperation ». *Robotica* 20 (6): 673-685.

Rushby, J. 2002. « Using model checking to help discover mode confusions and other automation surprises ». *Reliability Engineering & System Safety* 75 (2): 167-177.

Simons, D. J, et C. F Chabris. 1999. « Gorillas in our midst: Sustained inattentive blindness for dynamic events ». *PERCEPTION-LONDON*- 28: 1059-1074.

Strayer, D. L, F. A Drews, et W. A Johnston. 2003. « Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. » *Journal of experimental psychology: Applied* 9 (1): 23.

Svensson, E., M. Angelborg-Thanderz, L. Sjoberg, et S. Olsson. 1997. « Information complexity-mental workload and performance 1 in combat aircraft ». *Ergonomics* 40 (3): 362-380.

Thomas, L.C., et C.D. Wickens. 2004. Eye-tracking and individual differences in off-normal event detection when flying with a synthetic vision system display. Dans *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 48:223–227.

Tsai, Y.F., E. Viirre, C. Strychacz, B. Chase, et T.P. Jung. 2007. « Task performance and eye activity: predicting behavior relating to cognitive workload ». *Aviation, space, and environmental medicine* 78 (Supplement 1): B176–B185.

Veltman, J. A., et A. W. K. Gaillard. 1996. « Physiological indices of workload in a

simulated flight task ». *Biological psychology* 42 (3): 323-342.

Wanner, J., et N. Wanner. 1999. *Opérateur et sécurité*. Technical report, 5/2.

Weltman, G., G. H. Egstrom, et R. A. Christianson. 1966. A system for underwater ergometry. Dans *AIAA/USN 2 nd Marine Systems & ASW Conference*.

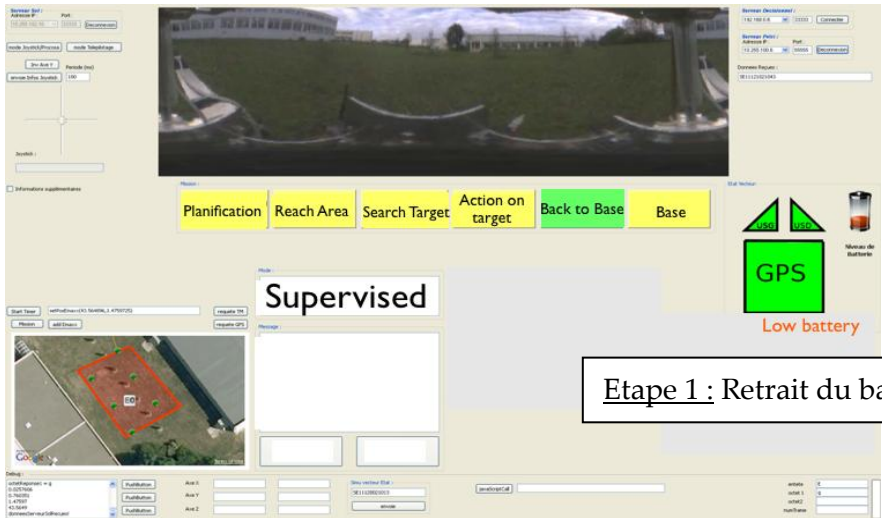
Wickens, C. D. 2005. Attentional tunneling and task management. Dans *13th International Symposium on Aviation Psychology, Dayton, OH*.

Williams, L. J. 1985. « Tunnel vision induced by a foveal load manipulation ». *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 27 (2): 221-227.

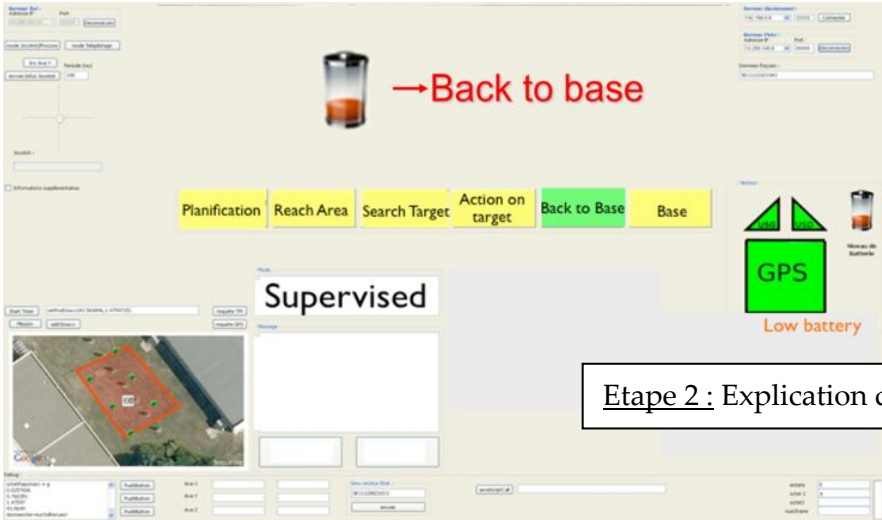
———. 1995. « Visual field tunneling in aviators induced by memory demands. » *Journal of General Psychology*.

Wilson, G. F. 2002. « An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. » *International Journal of Aviation Psychology*.

Annexe



Etape 1 : Retrait du bandeau vidéo



Etape 2 : Explication de la panne



Etape 3 : l'écran vidéo réapparaît avec la panne toujours affichée

Figure 19 - Scénario de la contre-mesure cognitive "Batterie Faible"