

LIEN ENTRE STIMULATION ENVIRONNEMENTALE ET VIGILANCE DES CONDUCTEURS DE TRAMWAYS ; UNE ANALYSE ERGONOMIQUE

LINK BETWEEN ENVIRONMENTAL STIMULATION AND VIGILANCE OF THE DRIVERS OF TRAMWAYS ; AN ERGONOMIC ANALYSIS

MOUCHEL Mathieu

ANCEAUX Françoise

Université Lille Nord de France, UVHC, LAMIH,
CNRS-FRE 3304,
F-59313 -----

FOUREZ Erick

Transvilles

Rue du Président Lécuyer - Z.I. n°4
59880 St Saulve

MIGLIANICO Denis

Alstom

48 Rue Albert Dhalenne
93482, ST OUEEN

Résumé

Le concept de vigilance dans le domaine des transports est extrêmement utilisé de nos jours. Il renvoie non seulement aux capacités attentionnelles des individus, mais également à certaines caractéristiques de l'état physiologique pouvant impacter leur performance. La conduite de tramways reste particulière dans le monde ferroviaire, à mi-chemin entre celle d'un train et celle d'un bus. Il s'agit d'une conduite à vue avec peu de modifications possibles de l'état du système. Le conducteur est donc un réel superviseur et l'anticipation de l'évolution environnementale, un élément clef. Dans cette communication nous présentons par l'intermédiaire d'une analyse ergonomique de l'activité des conducteurs de tramways de Valenciennes une quantification et une catégorisation des stimuli de l'environnement de conduite, ainsi qu'une interprétation de leurs possibles impacts sur l'attention et l'état de vigilance des conducteurs.

Summary

The concept of vigilance in the field of transports is nowadays extremely used. it refers not only to capacity of attention of the individuals, but also in certain characteristics of the physiological state which could impact their performance. Tramway driving remains a particular activity of the railroad world between train and bus. It is a visual driving with few modifications possible of the state of the system. The driver is thus a real supervisor and the anticipation of the environmental evolution, one key element. In this communication we present through an ergonomic analysis of the activity of the drivers of tramways of Valenciennes a quantification and a categorization of the stimulations of the environment of driving, as well as an interpretation of their possible impact on the attention and the state of vigilance of the drivers.

Introduction

L'intervention s'est déroulée au sein de la société VTV/Transvilles qui est l'exploitant des tramways et des bus de l'agglomération de Valenciennes. Elle s'inscrit dans une démarche de conception d'un nouveau système de contrôle de la vigilance ayant, entre autre, pour ambition de répondre aux limites constatées du système de Veille Automatique par Contrôle de Maintien d'Appui (VACMA).

La veille automatique est apparue dans les trains suite à la suppression du deuxième agent de conduite qui avait pour fonction de contrôler l'état du conducteur principal. Les premières veilles automatiques consistaient en un simple appui sur une commande, leur fonction principale était de stopper le véhicule en cas de perte de conscience du conducteur. Face aux différentes possibilités de shunter le système, une nouvelle veille a été mise en place. Elle consistait alors en une alternance d'appuis et de relâchements sur une commande suivant une temporisation symétrique ou dissymétrique (la VACMA).

La VACMA est donc un système « anti-fraude », hautement répétitif, dont la fonction première est de détecter une perte totale de conscience du conducteur (et non de contrôler son état de vigilance). Face à ce constat, la question se pose de l'impact de l'environnement sur l'état attentionnel et de vigilance des conducteurs et de l'efficacité des systèmes face à de possibles problèmes en résultants.

1. La vigilance, l'attention et la conduite de tramways

1.1 Une conduite particulière

La particularité de la conduite de tramway est qu'elle se situe à mi-chemin entre la conduite de bus et celle de train, tendant plus vers l'une ou l'autre en fonction de l'environnement qui peut être, sur une même ligne, à la fois urbain et rural. Les problématiques d'hypovigilance liées à la conduite de train sont donc en partie applicables à celle du tramway et ce, d'autant plus que, malgré une apparente proximité avec la conduite de bus, celle du tramway reste plus monotone, « plus ennuyeuse » (Doniol-Shaw et Foot, 2004), les marges d'intervention de prévention d'un accident se focalisant principalement sur le freinage : « on n'a pas le coup de volant » (Foot, 2003 p2). Il semble donc important dans le cadre d'une compréhension de l'activité de conduite de tramway d'aborder les concepts de vigilance, de monotonie, mais aussi ceux de fatigue et de somnolence non seulement dans le domaine ferroviaire, mais également dans le domaine automobile où les mêmes questions se posent (Doniol-Shaw & Foot, 2004).

1.2 Les notions de vigilance et d'attention en conduite

La vigilance est un concept central dans l'activité de conduite. Étymologiquement le terme signifie éveil, ce qui place la vigilance sur un versant physiologique. Toutefois, selon les domaines scientifiques, elle peut être rattachée à un autre versant différent bien que complémentaire : le versant psychologique (Phillips-Bertin & Vallet, 1994).

Sur le versant physiologique, Mackworth dès 1957 a défini la vigilance comme un état permettant d'être capable de détecter et de répondre à certains changements spécifiques intervenant à des intervalles aléatoires dans l'environnement. Van Elslande (2010) préfère quant à lui parler de phénomènes relatifs au processus attentionnels. Parasuraman (1998) reporte le concept sur un versant temporel, car pour lui cette habileté à maintenir une attention soutenue doit être constante durant un temps donné. La fiabilité d'un opérateur à une tâche de conduite nécessitera alors des niveaux d'attention particuliers en fonction des besoins liés aux caractéristiques de la tâche. Ainsi, certaines caractéristiques environnementales nécessiteront un niveau d'attention supérieur voire parfois trop important. Nous verrons par la suite que c'est notamment le cas d'une tâche de conduite dans un environnement monotone ou qui demande un effort cognitif important.

Si on se place maintenant sur le second versant (psychologique), la vigilance apparaît comme nécessitant un état d'éveil du système nerveux central (Phillips-Bertin & Vallet, 1994). Cet état d'éveil est directement lié à différents facteurs mais la fatigue reste l'une des principales causes de son déclin et donc de l'hypovigilance.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons aux principales caractéristiques attentionnelles qui impactent la performance. Ensuite, nous verrons quels sont les effets de la fatigue et du stress sur la performance, mais aussi quels en sont les principaux déterminants dans le domaine des transports.

1.2.1 Les caractéristiques attentionnelles

1.2.1.1 L'attention et la monotonie

Comme nous l'avons vu précédemment, en fonction de l'angle sous lequel on s'intéresse à la vigilance et à l'attention, différents concepts gravitent autour et les impactent. La monotonie fait partie des caractéristiques de l'environnement de conduite susceptibles de modifier l'état d'attention du conducteur, Shor et Thackray (1970) parlant par exemple de « route hypnotique » pour décrire cet impact de la monotonie sur la tâche de conduite.

Deux éléments sont invariants dans la plupart des articles, la pauvreté des stimulations et leur prévisibilité. Ainsi, pour McBain (1970), une route est dite monotone lorsque les stimuli qui la composent restent inchangés de manière prévisible. Wertheim (1991) parle d'un manque de stimulation d'alerte (directement fonction de l'importance que leur donne le sujet), mais également d'un haut degré de prédictibilité de certaines stimulations. Enfin, et toujours dans le même sens, O'Hanlon, et Kelly (1977) parlent d'une situation durant laquelle, la stimulation sensorielle reste constante ou hautement répétitive.

Il est alors possible de synthétiser par les éléments suivants : situation « hypostimulante » ou situation durant laquelle, les stimulations environnementales conservent un caractère prévisible (ou invariant).

Horne et Reyner (1995) abordent le fait que 20 % des accidents arrivent sur les autoroutes ou sur les routes de taille importante qui, en cas de faible circulation peuvent se révéler monotones. Certains auteurs l'ont présentée comme un facteur particulièrement accidentogène dans le domaine du ferroviaire.

1.2.1.2 L'hyperstimulation et l'attention

Un second type de facteurs environnementaux joue un rôle sur l'attention, il s'agit de l'importance des stimuli présents durant un instant particulier de l'action de conduite. Pattyn et al (2008) ont montré qu'à un certain niveau, la charge cognitive avait un effet sur la baisse de la performance à une tâche. Un nombre important de recherches concluent à une corrélation élevée entre l'augmentation des tâches nécessitant une attention soutenue et l'accroissement du risque d'accident. Lorsque des actions « distractives » (ne relevant pas directement de la tâche de conduite principale) dépassent les ressources attentionnelles du conducteur, il y aurait une baisse de la performance et un risque en termes de sécurité. Toutefois, il est difficile de déterminer un seuil au-delà duquel la quantité de stimuli devient trop élevée dans la mesure où, plus un conducteur est expérimenté, plus le panel d'informations qu'il est capable de traiter augmente.

Dans de nombreuses études, la principale variable utilisée pour comprendre l'impact de la présence de stimulations environnementales importante reste les stratégies visuelles de recherche d'informations. Ce type d'approche semble particulièrement adapté à la situation des conducteurs de tramways qui est qualifiée de conduite « à vue », la prise d'informations se réalisant majoritairement sur un plan visuel. Ainsi, une augmentation de la complexité environnementale affecte négativement la détection de stimuli périphériques. Une conduite dans un environnement urbain (avec de nombreux stimuli) a de ce fait pour conséquence directe une augmentation des erreurs de conduite et du temps de réaction face à des stimulations périphériques. Face à ce constat, Crundall et al. (2006) ont montré que les conducteurs expérimentés étaient capables de sélectionner une stratégie particulière permettant de pallier en partie le problème de détection d'informations périphériques (comme par exemple en réduisant la vitesse).

Les résultats de ces différents travaux permettent de faire un parallèle avec la situation des conducteurs de tramways. En effet, en environnement urbain, les stimuli périphériques (moins bien perçus quand la charge cognitive augmente) constituent une prise d'information indispensable pour les conducteurs (piétons, véhicules aux abords des croisements, signalisations, etc.). Il est alors possible de penser que cet environnement « hyperstimulant » impacterait l'attention des conducteurs, et impliquerait une sélection de stratégies (visuelle ou comportementale) permettant en partie de pallier ce problème, induisant ainsi une discrimination de certaines tâches et comportements aux profits de l'exploration visuelle.

1.2.2 Les caractéristiques physiologiques

1.2.2.1 La fatigue

De manière générale, la fatigue est connue comme étant un facteur aggravant central des risques. Des 1981, Adams et al. ont noté l'existence d'un pic accidentogène entre 22 h et 6 h du matin. Dans le domaine industriel, Ashford (1998) rapporte que la plupart des catastrophes majeures sont survenues à une heure où normalement les gens dorment. De nombreuses recherches sur l'activité de conduite aboutissent également à ce constat. Ainsi la fatigue est un facteur qui contribue à 20 % des accidents sur autoroutes. Plus récemment, (2001) on constate que 15 à 20 % des accidents mortels sont dus à la fatigue ou à un besoin de sommeil. En termes d'occurrence, la fatigue était impliquée dans 4 333 accidents de la route aux États-Unis en 1995. En France, l'association des sociétés Françaises d'autoroutes rapporte que la fatigue est la première cause d'accidents mortels sur autoroutes, soit 28 %. Il a également été montré que la fatigue réduit significativement les comportements sûrs et sécuritaires. Elle aurait aussi une in-

fluence sur les performances des conducteurs en termes d'augmentation du temps de réaction, de difficulté à rester attentif, ou encore de mauvais choix stratégiques. Enfin, le domaine du ferroviaire est également fortement marqué par ce phénomène. Par exemple, Roach, et al. (2003) ont montré un impact important de la fatigue des travailleurs du ferroviaire sur la sécurité et, en Suède, 13 % des incidents de sécurité sont dus à la fatigue.

En conclusion, il apparaît que, quel que soit le domaine concerné (sécurité routière, industrie ou ferroviaire), l'impact de la fatigue sur la sécurité n'est plus à démontrer. Cependant, la fatigue reste un phénomène multifactoriel (Williamson & al., 2009) et l'aborder nécessite d'en présenter les principaux déterminants. Selon Williamson (2009), la fatigue aurait trois principales causes : les facteurs homéostatiques, les facteurs circadiens et les facteurs liés à la tâche.

1.2.2.1.1 Les facteurs homéostatiques

L'homéostasie se définit comme la tendance des êtres vivants à maintenir de manière constante et en équilibre leur milieu interne et leurs paramètres physiologiques. Le manque de sommeil, dont les causes peuvent être de multiples origines, en est la première cause de dérèglement. Il peut s'agir d'une réduction de la qualité et/ou de quantité de sommeil. Un temps de sommeil inférieur à 5 heures augmenterait considérablement le risque d'accident routier. Dans le secteur des transports de marchandises, les chauffeurs de poids lourds impliqués dans des accidents liés au sommeil avaient dormi en moyenne 5h30 dans les dernières 24 heures. Le manque de sommeil peut également résulter d'un trouble chronique dont le plus connu reste l'apnée du sommeil. Les personnes qui souffrent de cette pathologie seraient très largement surexposées aux risques d'accidents de la route. Cette majoration de risque accidentel peut aller jusqu'à 100 % pour les chauffeurs de poids lourds souffrant de problèmes de respiration durant le sommeil.

En fait, les facteurs en lien avec l'homéostasie sont de natures différentes, mais ils vont tous créer une « dette de sommeil » plus ou moins importante qui induira une conduite marquée par une résistance au sommeil et donc un enjeu sécuritaire important.

1.2.2.1.2 Les facteurs circadiens

La rythmicité circadienne peut être comprise comme les différents comportements biologiques étant soumis à une hiérarchie temporelle organisée durant une période de 24 heures. Ainsi, en fonction du moment de la journée pris en compte, l'influence de cette rythmicité sur le niveau d'éveil sera plus ou moins importante. Folkard (1997) a montré que cette influence est maximale entre 2 heures et 3 heures du matin, de nombreux accidents surviennent alors entre 22 h et 6 h, comme cela a été pointé plus haut. Cependant, il faut également prendre en compte, pour caractériser cet impact de la rythmicité circadienne sur le sommeil, de nombreux autres facteurs comme le temps passé depuis le réveil, depuis le début de l'activité, le temps de repos, l'expérience dans l'activité concernée, la nature de la tâche, etc..

1.2.2.1.3 Les facteurs liés à la tâche

Les caractéristiques de la tâche, qu'elles soient considérées en terme de durée ou de charge de travail ont un impact non négligeable sur la fatigue (Williamson 2009).

Suivant un raisonnement sur un versant temporel, Folkard (1997) a montré que dans une tâche de conduite, il y aurait un pic de risque qui se situerait entre 2 heures et 4 heures depuis le début de la tâche. De même, comme nous l'avons vu, la monotonie et la charge cognitive associées à une tâche ont un impact sur la vigilance et sur l'attention. Selon Stutts et al (2005), le manque de stimulation aurait également un impact sur la fatigue mentale. Ainsi, sur autoroute, il y a plus d'accidents liés à la fatigue (20%) que sur les autres types de route (16%) (Horne et Reyner, 1995).

1.2.2.2 Le stress

La conduite en situation de stress est connue pour générer des comportements inappropriés, insoucians, voir dangereux (Taylor & al., 2007). Dans l'optique de quantifier ces types de comportements, Clapp et al. (2011) ont distingué trois types de problèmes comportementaux liés au stress.

Le premier type est caractérisé par des comportements sécuritaires exagérés (maintenir une distance excessive devant soi, conduire bien en dessous de la limitation de vitesse, etc). Ces types de comportements s'expliquent par une volonté de réduire le stress à travers une sensation de sécurité et de contrôle environnemental. En réalité, ils risquent de placer le conducteur dans des situations hors normes par rapport aux autres usagers de la route et ainsi de le mettre en danger également (Clapp & al 2011). Le second type de comportement en situation de stress décrit par Clapp et al (2011) entraîne une baisse de la performance, le stress interférant avec les besoins immédiats de la tâche de conduite. Les impacts de cette baisse de la performance sont nombreux : il peut s'agir d'une augmentation du temps de réaction en cas de freinage, une vitesse inadaptée, un non respect des distances de sécurités, etc.

Enfin, la dernière forme de comportement lié au stress en situation de conduite se manifeste par des actions hostiles et agressives (Clapp et al, 2011). Le seuil de déclenchement de ce type de comportement serait abaissé par le stress. Le conducteur risquerait alors de se mettre dans des situations dangereuses pour lui mais surtout pour les autres.

Quelles qu'en soient les manifestations, l'impact du stress sur la tâche de conduite a été décrit par de nombreuses études comme hautement insécuritaire (en entraînant des problèmes de vigilance, de performance, d'agressivité, etc) et ce, d'autant plus qu'il a également été montré que la plupart des conducteurs continuent à conduire même lorsqu'ils perçoivent que le stress les envahit (Taylor et al. 2007). La question de la présence du stress chez les conducteurs de tramways qui transportent de nombreuses personnes se pose, aggravant ainsi les risques associés aux comportements décrits ci-dessus.

1.2.2.3 Le lien entre les facteurs

Après avoir présenté les principales composantes des deux versants (physiologique/vigilance et psychologique/attention) jouant un rôle négatif sur la performance, il semble important ici de rappeler que ces versants sont complémentaires et qu'ils interagissent entre eux (cf. figure 2).

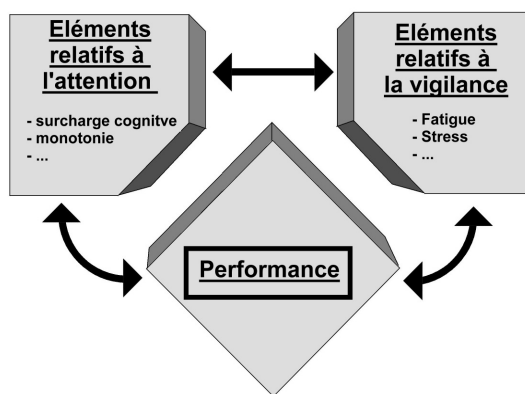


Figure 1. Lien entre vigilance, attention et performance

Nous avons précisé précédemment que certains facteurs physiologiques impactaient de manière négative la performance et notamment celle des conducteurs. Mais certains, dont la fatigue, ont également un effet sur les seconds types de facteurs : les ressources attentionnelles. En effet, l'impact de la fatigue sur l'attention consisterait alors principalement en une aggravation des impacts des problèmes attentionnels sur la performance. Ainsi, Pilcher et Huffcutt (1996) montrent que la fatigue va perturber de manière plus importante les tâches à haute composante cognitive, les premières fonctions affectées étant les fonctions visuelles. Or, nous l'avons vu, ce type de tâche a pour principal méfait de détériorer la détection des stimuli périphériques. On peut penser que l'interaction de ces deux facteurs (fatigue et charge cognitive) risque d'amplifier les effets sur la performance.

La fatigue semble également avoir des conséquences dans la gestion de la conduite dans un environnement monotone. Nous l'avons vu, le manque de stimulations ou leur caractère prévisible risque d'entraîner une baisse du niveau d'attention du conducteur ; par ailleurs, la fatigue peut impacter le temps de réaction, le choix stratégique d'action, etc. Stutts et al. (2005) ont montré que la réunion de ces deux facteurs augmentait de manière considérable les risques d'accidents. Ainsi, 55 % des accidents dus à la somnolence surviennent sur des autoroutes, les routes considérées comme les plus monotones. Dans le même sens, Horne et Reyner (1995) rappellent que sur autoroutes, 20 % des accidents sont dus à la fatigue contre 16 % sur les autres types de routes. Il semble donc bien que l'association fatigue/monotonie est sans doute le facteur le plus aggravant en termes de sécurité routière et ferroviaire.

Dans l'autre sens, on peut noter que les facteurs attentionnels ont un effet direct sur les facteurs physiologiques. Ainsi, Stutts et al (2005) décrivent le phénomène de fatigue mentale pour caractériser l'impact des facteurs attentionnels sur la fatigue. Ce type de fatigue serait alors un précurseur majeur du risque routier.

Enfin, la baisse de la performance elle-même (liée à l'interaction entre l'attention et à la vigilance) n'est pas sans conséquence sur ses propres déterminants. En effet, en cas de risque de baisse de performance liée à la somnolence, le conducteur émet plus de comportements (ajustements posturaux, activités ludiques, comportements faciaux et verbaux) ce qui aurait pour fonction de maintenir un niveau de vigilance acceptable (Delvolvé 1987).

1.3 Conclusion

La vigilance reste un concept difficile à appréhender dans sa globalité. Il est d'ailleurs primordial de distinguer la vigilance (au sens de l'état physiologique) de l'attention (au sens psychologique du terme), tous deux ayant différents types d'impacts sur la performance. Nous nous sommes centrés dans cette petite revue de la littérature sur les caractéristiques négatives de la vigilance et de l'attention. Il semble important de préciser qu'il existe également de nombreux facteurs ayant des effets positifs. Ainsi, la motivation, l'hygiène de vie ou l'expérience de conduite sont des exemples de déterminants d'une meilleure performance en termes de vigilance et d'attention.

Nous avons également montré que les liens entre les différents facteurs, qu'il s'agisse d'éléments attentionnels ou physiologiques, étaient complexes et qu'ils avaient certes un impact sur la performance, mais aussi des conséquences sur les autres types de facteurs. Enfin, il semble important d'aborder le fait que certains déterminants ne sont pas antagonistes et que des liens sont également à prendre en considération suivant une approche intra-factorielle. Ainsi, on peut considérer l'impact du stress sur la fatigue et inversement.

2 Analyse macroscopique de la situation de travail

2.1 Observations ouvertes

Durant cette phase, des observations ouvertes et de nombreux échanges ont eu lieu avec les conducteurs mais également tous les autres acteurs qui sont en relation avec leur activité comme par exemple, le responsable sécurité santé ; le formateur interne ; les responsables de ligne ; les régulateurs ; les techniciens de maintenance. Ces premières investigations, ayant pour objectif la compréhension du travail réel, consistent surtout dans un premier temps en un recueil de faits et d'événements visibles. Les verbalisations donnent accès aux représentations cognitives, à la signification des actions et plus globalement au sens de l'activité des conducteurs.

Le milieu des transports guidés est très réglementé. Pour cette raison, une première difficulté pour réaliser les observations a résidé dans l'obtention de l'autorisation de monter en cabine avec les conducteurs. Ce fut possible à deux reprises en présence du chef de ligne mais il a été, pour des raisons de sécurité, strictement interdit d'échanger avec le conducteur durant la circulation de la rame. La majeure partie des observations ouvertes s'est donc faite en dehors de la cabine, la méthode « papier crayon » a été privilégiée, les éléments importants ont été notés et des verbalisations pouvaient avoir lieu durant les temps de retournement aux terminus ou en fin de poste. Une autre difficulté était liée à l'écart temporel entre les observations et les verbalisations. Pour éviter l'oubli de certains éléments de leur activité, les verbalisations avec les conducteurs ont été effectuées le plus tôt possible après la phase d'observation en conduite. Les observations de terrain ont été faites sur l'ensemble des types de postes (matin, après-midi, week-end).

D'autres échanges moins formels ont également eu lieu avec les conducteurs dans l'enceinte du bâtiment d'exploitation au moment de leur pause, en début et en fin de poste. Très rapidement, les conducteurs se sont impliqués dans le projet et ont apporté beaucoup d'informations et autres problèmes présents dans leur activité.

Cette première analyse a permis d'obtenir un modèle de compréhension de la situation de travail : différentes tâches ainsi que leur organisation spatio-temporelle ont pu être distinguées. Cette description nous amène également à prendre en considération la transversalité de certains éléments dans l'activité. En effet, il semblerait que le maintien de la vigilance, de l'attention, la pression temporelle, la gestion des commandes et affichages ainsi que la dimension collective soient des composantes majeures de l'activité et leur description nécessaire à l'établissement du prédiagnostic. Pour les besoins de cette présentation, nous nous focaliserons sur la question de la gestion de la vigilance et de l'attention.

2.2 Élaboration du prédiagnostic

Nous l'avons vu, la conduite de tramway est marquée par un fort besoin attentionnel, il s'agit d'une conduite à vue avec peu d'actions de récupération en cas d'incident ; d'où une anticipation perçue comme cruciale : « je regarde le plus loin possible c'est le seul moyen d'avoir le temps ». Le maintien d'un niveau attentionnel suffisant est donc un aspect continuellement présent dans l'activité de conduite.

Sur un aspect physiologique, la gestion de la vigilance reste également un élément majeur de l'activité de conduite. Les discussions avec les opérateurs vont dans ce sens puisque tous les conducteurs rencontrés sans exception, ont dû faire face à une hypovigilance plus ou moins importante. Qu'elle entraîne, une erreur de manipulation de veille, l'oubli d'une partie du parcours desservi, une sensation d'endormissement, elle reste un élément marquant dans l'esprit des conducteurs : « ça fait vraiment peur ».

La gestion des environnements monotones et hyperstimulants

Le réseau de tramway de Valenciennes est marqué par un environnement de conduite varié, à la fois urbain et rural. La conduite en situation monotone est un point qui est abordé par une grande majorité des conducteurs. Il semblerait qu'une partie du réseau soit marquée par un manque de stimulations extérieures. Les conducteurs y éprouveraient alors une forme d'ennui pouvant aller pour certains jusqu'à risquer d'entraîner la somnolence : « je trouve qu'on est bercé par le paysage ». Face à ces environnements, la gestion du risque de somnolence est un élément important. La radio a d'ailleurs été instaurée suite à des plaintes des conducteurs quand à l'ennui ressenti dans ces zones, elle constitue selon eux un véritable outil pour lutter contre la somnolence.

D'autres zones sont perçues par les conducteurs comme étant soumises à certains moments (heures de pointes), à de nombreuses stimulations environnementales qui entraîneraient une impression d'être dépassé par le nombre d'informations à traiter simultanément : « on a trop de choses à voir, c'est obligatoire d'en oublier ». Les conducteurs focalisent alors leur attention sur les informations qui leur semblent les plus importantes en termes de sécurité (signalisation, comportement des piétons, des autres véhicules, etc). Cette stratégie permettrait aux conducteurs de ne délaisser que les informations n'ayant pas directement d'impact sécuritaire sur la conduite : « au pire si je ne vois pas le piéton qui me fait signe de l'attendre ce n'est pas grave ».

3 Analyse microscopique

Les analyses systématiques (microscopiques) se déroulent en deux phases. Une première phase consiste en une caractérisation des environnements de conduite en termes de stimulations. Ensuite cette caractérisation est mise en relation avec un relevé de différentes formes de comportements émis par le conducteur dans certains types d'environnements.

3.1 Caractérisation des stimulations environnementales

3.1.1 Méthode

Afin de caractériser plus précisément ces deux types de zones, il a été demandé à certains conducteurs de reporter sur un plan du réseau « les zones qui leur semblent monotones et/ou source de somnolence et les zones dans lesquelles il y a beaucoup, voire trop d'informations à prendre en compte en même temps ». La figure 2 représente les zones perçues par plus de 70 % des conducteurs comme monotones (entourée en bleu) et hyperstimulantes (entourée en rouge).

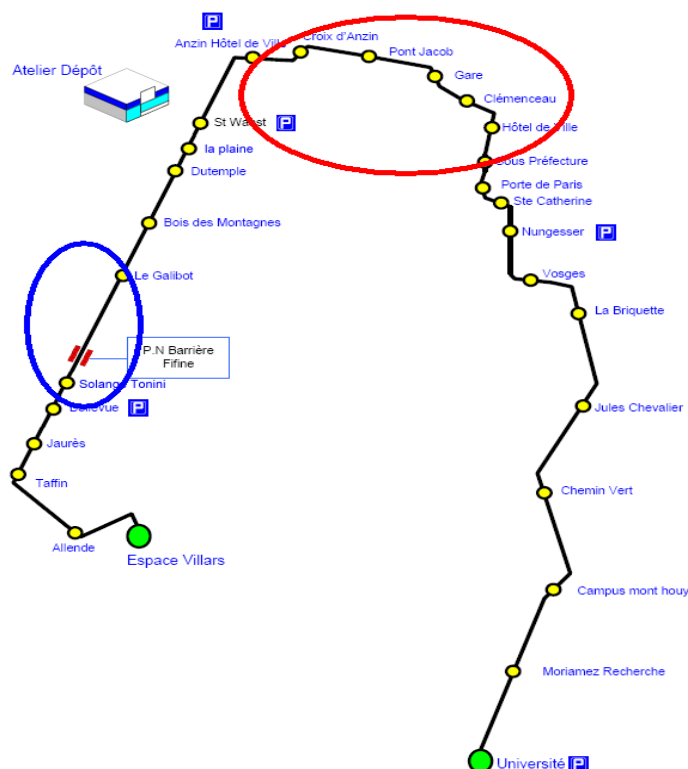


Figure 2. Représentation des zones perçues comme monotones ou hyperstimulantes par plus de 70 % des conducteurs interrogés

La zone caractérisée de monotone par plus de 70 % des conducteurs interrogés, s'étend de la station Le Galibot (incluse) jusqu'à la station Bellevue (non incluse). Il s'agit d'un environnement rural marqué par un paysage de culture, il y a peu d'intersections avec de possibles routes et l'inexistence du relief entraîne une visibilité à grande distance. La zone caractérisée d'hyperstimulante s'étend quant à elle de la station Sous Préfecture (incluse) à la station Anzin Hôtel de ville (non incluse), il s'agit d'une zone urbaine et très fréquentée (par les piétons, les voitures, les cycles, etc).

Le but est désormais de quantifier le nombre de stimuli réellement utilisés par le conducteur dans chacune de ces deux zones. Pour ce faire, des vidéos ont été réalisées, elles présentent ce que voient les conducteurs lorsqu'ils traversent ces zones. Le tableau 1 reprend les types d'environnements présentés dans les vidéos.

Vidéo	Zone
Vidéo 1 a	Zone de Le Galibot (incluse) à Bellevue (non incluse) - « rurale »
Vidéo 1 b	Zone de Bellevue (non incluse) à Le Galibot (incluse) - « rurale »
Vidéo 2 a	Zone de Sous Préfecture (incluse) à Anzin Hôtel de ville (non incluse) - « urbaine »
Vidéo 2 b	Zone d'Anzin Hôtel de ville (non incluse) à Sous Préfecture (incluse) - « urbaine »

Table 1. Description des types d'environnements filmés

Ensuite, des sessions de verbalisation sur la base de ces vidéos ont été réalisées. Les quatre vidéos sont présentées à cinq conducteurs différents. La consigne énoncée est la suivante : « des vidéos de l'environnement de conduite vont vous être présentées, pouvez-vous m'énoncer toutes les informations qui vous seraient utiles en situation de conduite ».

3.1.2 Résultats

Dans un souci de généralisation, cette phase d'observations systématiques s'est déroulée durant la période scolaire (plus fréquentée). Le tableau 2 représente les types de stimuli relevés par les conducteurs ainsi que leurs occurrences moyennes obtenues par l'analyse des verbalisations réalisées face aux vidéos et ce, dans les deux types de zones. Le temps de conduite est en moyenne de 9 minutes 04 en zone urbaine et de 6 minutes 43 en zone rurale.

Cette analyse apporte des éléments qui corroborent les retours des conducteurs. En effet, on peut voir que, par minute, il y a 4,2 fois plus d'informations prises en compte en zone urbaine qu'en zone rurale. Or comme nous l'avons signalé précédemment, la littérature nous rapporte que le manque de stimulations est l'une des caractéristiques d'un environnement monotone, ce qui semble bien être le cas de la zone rurale, considérée comme monotone par les conducteurs. Par ailleurs, on observe qu'en environnement urbain, les conducteurs observent environ un stimulus toutes les trois secondes, ce qui semble bien correspondre à une zone à fortes stimulations.

Stimuli	Zone urbaine	Zone Rurale
Piétons	52,4	1,4
Passagers en station	34,2	8,6
Autres tramways	4,6	1,4
Bus	1,6	0
Voitures	44,2	4,4
Cycles	2,4	0,2
Animaux	0,4	0
Signalisation pour les tiers	14,4	3,8
Signalisation pour le tramway	15,8	7
Traversée	1,6	0,2
Obstacles possibles sur le GLO	11,2	4,8
Total	182,8	31,8
Nombre moyen de stimuli par minute	20,04	4,79

Table 2. Moyenne des stimulations en fonction de la zone filmée

3.2 Relevé de comportements

3.2.1 Méthode

Face au constat de l'existence d'une différence de stimulation entre les deux types de zones sur le plan quantitatif, la question se pose de l'impact de ces caractéristiques sur l'activité de conduite. Dans la littérature, il est signalé qu'une conduite en environnement monotone entraîne une augmentation de certains comportements ayant pour fonction de maintenir un niveau de vigilance acceptable, alors qu'en environnement hyperstimulant, la difficulté à percevoir les stimuli périphériques entraîne des stratégies particulières (pouvant consister par exemple à réduire l'émission de certains comportements).

Ce relevé a donc pour objectif premier de mettre en lien les comportements des conducteurs et les stimulations environnementales, nous permettant ainsi de considérer leur conduite comme s'opérant (ou non) dans des environnements monotones ou hyperstimulants.

Pour ce faire, un matériel vidéo est utilisé et analysé. Trois opérateurs ont accepté d'être filmés pour cette analyse. Une caméra orientée vers le conducteur est placée dans la partie supérieure gauche de la cabine. Les zones du réseau concernées sont les mêmes que pour la quantification des stimulations extérieures.

Une analyse à posteriori des vidéos a permis un relevé de l'occurrence des comportements suivants :

- les activations de la veille (chaque passage du pouce devant la cellule), elles représentent ici un élément particulier, car il s'agit d'un comportement directement en lien avec l'activité (rappelons que cette activation doit constamment être réalisée par le conducteur suivant une temporisation particulière : 10 secondes d'appui suivies de 3 secondes de relâchement. Cependant l'opérateur peut l'activer plus rapidement que la temporisation si il le souhaite).
- les ajustements posturaux (mouvements d'une partie ou de la totalité du corps dans l'espace),
- les échanges verbaux (qui n'incluent pas d'information sur l'activité en cours),
- les activités ludiques (manipulations d'objets sans lien avec la tâche de conduite),
- les activités centrées sur soi (d'une ou des deux mains vers le corps),
- les activités non verbales (changements observés sur le facial).

Il semble important de noter que, contrairement aux activations de la veille, les 5 dernières catégories de comportements ne sont pas en lien direct avec l'exercice de l'activité de conduite (à titre d'exemple, une action sur une commande ou un mouvement de la tête vers le tachymètre ne seront pas pris en compte).

3.2.2 Résultats

Le tableau 3 présente le nombre d'activations de veille pour les trois conducteurs dans les 2 zones. Pour unifier les données, puisque les temps de conduite sont différents selon les conducteurs, ce nombre d'activations total est reporté par dix secondes.

Zone de Le Galibot à Bellevue (considérée comme monotone)				Zone de Sous Préfecture à Anzin Hôtel de ville (hyperstimulante)			
Conducteur	Nombre d'activations	Temps de conduite (sec)	Nombre d'activations pour 10 secs	Conducteur	Nombre d'activations	Temps de conduite (sec)	Nombre d'activations pour 10 secs
1	503	367	13,7	1	278	513	5,4
2	393	365	10,8	2	175	356	4,9
3	218	338	6,4	3	107	446	1,4
Moyenne	371,33	356,7	10,3	Moyenne	186,7	438,3	4,2

Table 3. Nombre d'activations de la veille automatique pour les zones à environnement monotone et à environnement stimulant

Les données du tableau 3 montrent que les activations de la veille sont plus nombreuses dans les zones considérées monotones que dans les zones considérées hyperstimulantes. En effet, dans un environnement monotone les conducteurs activent en moyenne 2,5 fois plus la cellule de veille automatique.

Le tableau 4 présente le nombre total de comportements relevés chez les trois conducteurs dans les deux zones.

Conducteur	Zone considérée comme monotone		Zone considérée comme hyperstimulante	
	Nombre de comportements	Nombre de comportements pour 10 secs	Nombre de comportements	Nombre de comportements pour 10 secs
1	25	0,7	14	0,3
2	24	0,7	11	0,3
3	33	1	17	0,4
Moyenne	27,33	0,8	14	0,33

Tableau 4. Occurrence des comportements en fonction des zones

Pour ce qui est des comportements pris en compte, il y a également une différence d'occurrence en fonction du type d'environnement. En effet, dans un environnement considéré comme monotone, les conducteurs émettent 2,4 fois plus de comportements que dans un environnement considéré comme hyperstimulant.

Conclusion

L'analyse de la littérature scientifique nous a permis d'appréhender de manière précise quels étaient les principaux déterminants des problèmes d'attention et de vigilance. L'analyse de l'activité des conducteurs nous a donné accès à une certaine caractérisation de ces éléments contextuels mais également à leur influence sur l'état attentionnel et de vigilance des conducteurs de tramways Valenciennois. Ainsi, cette étude montre que le réseau de Valenciennes est marqué par une diversité environnementale. Certaines zones de conduite sont caractérisées par un manque de stimulations extérieures pour les conducteurs de tramways. Ce constat entraîne une conduite qui peut être perçue comme monotone. La forte augmentation comportementale relevée apporte la preuve d'une conduite impactée par cette perception de monotonie environnementale. Elle présente des risques sur le versant sécuritaire car elle est source d'hypovigilance voir de somnolence. De plus, de par le fait que les conducteurs ont conscience des possibles impacts associés au manque de stimulation, elle est génératrice de stress (peur de s'endormir, de provoquer un freinage d'urgence).

D'autres zones de l'environnement de conduite du réseau sont marquées par un nombre important d'informations à prendre en compte. Le fait que le nombre de comportements baisse considérablement dans ces zones, nous amène à penser que les difficultés de perception de certains stimuli (périphériques) entraînent des stratégies consistant à émettre moins de comportements n'étant pas en lien direct avec l'activité de conduite. Il semblerait même que l'activation de la veille, qui est un élément de l'activité de conduite soit discriminée au profit du besoin de percevoir des stimulations environnementales plus nombreuses.

On peut donc envisager deux formes d'actions. Il est possible d'augmenter le nombre de stimulations dans les zones monotones, ce qui pourrait se faire à l'intérieur de la cabine (instauration de la radio, apparition de nouveaux stimuli visuels, etc.) ou à l'extérieur (variation de la vitesse de circulation). Pour les zones hyperstimulantes, il semble difficile de diminuer les stimuli en provenance de l'environnement, mais c'est possible sur le versant interne, par exemple par l'incorporation des actions du conducteur sur le manipulateur traction/freinage dans la boucle d'activation de la VACMA. Toutes ces pistes d'améliorations permettraient d'optimiser l'état de vigilance des conducteurs.

La présentation de ces résultats aux conducteurs n'a fait que renforcer la perception qui est la leur quant à leur environnement de conduite. Pour beaucoup, ces données permettent de poser des chiffres sur une impression bien ancrée au sein de leur activité : celle d'une conduite parfois dans un environnement monotone et parfois dans un environnement à forte teneur informationnelle.

Références

- Adams, N.L., Barlow, A., Hiddlestone, J., (1981). Obtaining ergonomics information about industrial injuries : a five-year analysis. *Applied Ergonomics* 12, 71–81.
- Ashford, R., (1998). A study of fatal approach-and-landing accidents worldwide, 1980- 1996. *Flight Safety Digest*, February–March, pp. 1–40.
- Clapp, J. D., Olsen, S. A., Danoff-Burg, S., Hagedwood, J. H., Hickling, E. J., Hwang, V. S., & Beck, J. G. (2011). Factors contributing to anxious driving behavior: The role of stress history and accident severity. *Journal of Anxiety Disorders*, 25(4), 592-598.
- Crundall, D., Van Loon, E. and Underwood, G. (2006) Attraction and distraction of attention with roadside advertisements. *Accident Analysis and Prevention*, 38(4), 671–677.
- Doniol-Shaw, G., & Foot, R. (2004). Travail de conduite et sécurité des tramways : enjeux pour la conception du poste de conduite.
- Folkard, S., (1997). Black times: temporal determinants of transport safety. *Accident Analysis and Prevention* 29, 417–430.
- Horne, J.A., Reyner, L.A., (1995). Sleep related vehicle accidents. *Br. Med. J.* 310, 565–567.
- Mackworth, N.H., 1957. Vigilance. *The Advancement of Science* 53, 389–393.
- McBain, W., (1970). Arousal, monotony, and accidents in line driving. *J. Appl. Psychol.* 54, 509– 519.

- O'Hanlon, J.F., Kelly, G.R., (1977). Comparison of performance and physiological changes between drivers who perform well and poorly during prolonged vehicular operation. NATO Conf. Ser. 3, 87–100.
- Parasuraman, R., (1998). The Attentive Brain. *The MIT Press*, Cambridge, MA.
- Pattyn, N., Neyt, X., HendrickX, D., Soetens, E., (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: boredom or cognitive fatigue? *Physiology and Behavior* 93, 369–378.
- Phillips-Bertin C., Vallet M. (1994). Le maintien de la vigilance des conducteurs de voiture : des systèmes électroniques vers le génie cognitif. *Recherche Transports Sécurité*, no 42, p. 27- 34.
- Pilcher, J.J., Huffcutt, A.I., (1996). Effects of sleep deprivation on performance: ametaanalysis. Sleep. *Journal of Sleep Research & Sleep Medicine* 19 (4), 318–326.
- Shor, R.E., Thackray, R.I., (1970). A program of research in highway hypnosis: a preliminary report. *Accident Anal. Prevention* 2, 103–109.
- Stutts, J., Knipling, R., Pfefer, R., (2005). Guidance for implementation of the AASHTO strategic highway safety plan. Volume 14: A Guide for Reducing Crashes Involving Drowsy and Distracted Drivers. *Transportation Research Board*, Washington, DC.
- Taylor, J., Deane, F. P., & Podd, J. (2007). Driving fear and driving skills: comparison between fearful and control samples using standardised on-road assessment. *Behaviour Research and Therapy*, 45, 805–818.
- Van Elslande, P., Jaffard M., Fouquet K., Fournier J.Y. (2010). De la vigilance à l'attention... Influence de l'état psychophysiologique et cognitif du conducteur dans les mécanismes d'accidents (Rapport INRETS N° 280), *Lavoisier*.
- Wertheim, A.H., (1991). Highway hypnosis: a theoretical analysis, *Vision in Vehicle III*. Elsevier, North-Holland, pp. 467–472.
- Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., & Connor, J. L. (2011). The link between fatigue and safety. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 498-515.