



HAL
open science

Application de la chronobiologie de la vigilance au domaine de la sécurité des transports ferroviaires

Abderraouf Hadj-Mabrouk, Habib Hadj-Mabrouk, Mohamed Dogui

► To cite this version:

Abderraouf Hadj-Mabrouk, Habib Hadj-Mabrouk, Mohamed Dogui. Application de la chronobiologie de la vigilance au domaine de la sécurité des transports ferroviaires. Colloque vigilance des conducteurs, pilotes et opérateurs, Nov 2001, Toulouse, France. pp.1-12. hal-03028085

HAL Id: hal-03028085

<https://hal.science/hal-03028085>

Submitted on 5 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application de la chronobiologie de la vigilance au domaine de la sécurité des transports ferroviaires

A. HADJ-MABROUK & H. HADJ-MABROUK

Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
2 avenue du Général Malleret-Joinville, 94114 Arcueil Cedex
Tél : 0147407352 - Fax : 0145475606 - E-mail : mabrouk@inrets.fr

Mohamed DOGUI

C.H.U. " Sahloul ", Route de ceinture, 4054 Sahloul-Sousse (Tunisie)
Tél / Fax : 00 216 3 369 134 - E-mail : mohamed.dogui@rns.tn

RÉSUMÉ

La gestion du transport implique fréquemment des horaires irréguliers de travail et une monotonie de l'environnement qui tendent à faciliter des phases de somnolence ou d'hypovigilance incompatibles avec les exigences de sécurité. La baisse de la vigilance des opérateurs humains est une des principales causes des accidents ferroviaires. De ce fait, le maintien de la vigilance des opérateurs est devenu un enjeu important pour la sécurité.

Plusieurs travaux se sont intéressés à la dimension temporelle de la vigilance et à ses implications dans la genèse des accidents de la route. Cependant, il n'existe, actuellement à notre connaissance, pas de démarches méthodologiques qui prennent en compte l'ensemble des concepts liés à la chronobiologie de la vigilance dans l'analyse et l'évaluation de la sécurité ferroviaire (Dogui 1998) et (Hadj-Mabrouk et Dogui 1999). C'est ce qui a motivé le présent travail.

En effet, la chronobiologie *appliquée* est susceptible d'apporter des solutions visant, non pas à adapter l'Homme à son environnement social et culturel, mais, au contraire, à adapter cet environnement aux rythmes biologiques fondamentaux de l'Homme (Caston 1993).

Cet article présente, dans son premier chapitre, des notions de chronobiologie de la vigilance et de la performance en soulignant l'intérêt du respect de la typologie circadienne du sommeil pour améliorer la fiabilité humaine. Les accidents ferroviaires liés à l'hypovigilance de l'opérateur font l'objet du deuxième chapitre. Le dernier chapitre propose une approche d'application de la chronobiologie de la vigilance à la sécurité ferroviaire qui fait intervenir douze grandes phases chronologiques.

Mots-clés : Chronobiologie, Vigilance, Performances, Accidents, Sécurité, Transports ferroviaires.

I. CHRONOBIOLOGIE DE LA VIGILANCE ET DES PERFORMANCES

1. Notions de chronobiologie

La chronobiologie est l'étude des rythmes biologiques de l'homme dont ceux de la vigilance et des performances. Ces différents rythmes se répartissent harmonieusement dans le temps réalisant une véritable structure temporelle complémentaire de la structure spatiale anatomique de l'organisme. L'organisme dispose d'un système d'horloges biologiques internes appelé par Wever (1979) *système circadien* capable de mesurer le temps. Le maintien de la cohérence temporelle de l'organisme humain est une condition indispensable au maintien de son équilibre biologique, psychologique et social.

Un rythme biologique peut être assimilé à une sinusoïde caractérisée par sa période, son amplitude et sa phase. Plusieurs familles de rythmes peuvent être identifiées selon la durée de la période : rythmes circadiens (période d'environ 24 heures), infradiens (période supérieure à 24 heures) et ultradiens (période inférieure à 24 heures). Les plus étudiés sont les rythmes circadiens.

2. Les rythmes de la vigilance et des performances

Le concept de la vigilance comprend deux versants, un physiologique qui correspond au niveau d'éveil du système nerveux central et un psychologique défini par l'attention soutenue (Phillips-Bertin et Vallet 1994). L'attention est un concept associé à la vigilance qui traduit une aptitude psychologique majeure nécessitant des niveaux de vigilance déterminés pour contribuer à la fiabilité de l'opérateur humain dans des tâches de conduite de véhicules terrestres (Fayada et Coutier 1995). Elle s'interprète en termes d'efficacité (réussite de tâche) ou de performance (vitesse et précision dans l'accomplissement de la tâche) (Bruni 1995).

Il existe une relation entre vigilance et performance représentée par un modèle de courbe en U renversé. (Yerks et Dodson in Anseau et Timsit-Berthier 1987). Le niveau de performance augmente avec celui de la vigilance jusqu'à un optimum au-delà duquel la performance baisse avec l'augmentation du niveau de vigilance. Le niveau optimal de vigilance pour la meilleure performance varie selon les sujets, selon le nyctémère et selon le type de tâche : il est plus élevé pour les tâches automatiques et peu complexes et plus faible pour les tâches difficiles et précises.

La chronobiologie de la vigilance peut être considérée sous plusieurs aspects : circadien, ultradien et circasémidien. Les fluctuations de vigilance de nature *circadienne* sont réglées physiologiquement pour que la veille soit diurne et le sommeil nocturne (Dogui 1998). L'homme conserve pendant son sommeil aussi bien que pendant sa veille une périodicité *ultradienne* d'environ 90 minutes qui se superpose au rythme circadien de base (Broughton 1989) et (Sauvignon 1992). Les fluctuations *circasémidiennes* de la vigilance se résument à une tendance biorythmique au sommeil avec une périodicité approximative de 12 heures. Le premier pic de propension au sommeil se situe l'après-midi (vers 15h 30mn) et le second au milieu de la nuit (Richardson et al. 1982), (Strogatz et al.1987) et (Broughton 1989).

La somnolence, telle que mesurée par la latence d'endormissement, démontre une périodicité circadienne marquée avec un maximum de besoin de sommeil au milieu de la nuit associé à une diminution majeure de la performance, ce qui explique la somnolence chez les travailleurs de nuit et la fréquence augmentée des erreurs et des accidents à cette période du nyctémère (Broughton 1989), (Folkard 1990), (Gadbois 1990), (Sauvignon 1992), (Dinges 1995), (Akersted 1995a et 1995b) et (Samel et al. 1995).

Ainsi, le niveau de vigilance d'un individu varie au cours de la journée avec un maximum et un minimum se situant à des heures déterminées. Il en est de même des performances. L'horaire de meilleure performance dépend de plusieurs facteurs, et notamment des caractéristiques de la tâche. Pour une tâche de surveillance,

les erreurs de relevés sont deux fois plus nombreuses à 3h du matin qu'entre 8 et 10 heures (Monk 1982, 1983,1985), (Gadbois 1990) et (Folkard 1990).

Le rythme veille - sommeil se caractérise par deux paramètres essentiels, la durée du sommeil et ses horaires spontanés habituels (endormissement et réveil) en dehors de toute contrainte extérieure. On distingue, selon les durées habituelles du sommeil, les gros dormeurs, les petits dormeurs et les moyens dormeurs (Webb et Friel 1971), (Johnson et al. 1983), (Lugaresi et al. 1983), (Benoit et Aguirre 1996) et (Charaa 1998).

En pratique, on définit également selon les horaires spontanés du sommeil, les sujets du matin (qui se couchent avant 22 heures et se réveillent spontanément avant 7 heures), les sujets du soir (qui se couchent tardivement, après minuit et qui se trouvent obligés de se lever le matin en période de travail) et les sujets intermédiaires (Charaa 1998). La matinalité ou la vespéralité est une caractéristique individuelle selon laquelle les temps de meilleure forme des différents chronotypes sont nettement décalées dans la journée. Les sujets du matin ont un pic plus précoce, les gens du soir sentent qu'ils sont en meilleure forme l'après-midi. Les matinaux sont plus attentifs le matin et les vespéraux le soir. Les matinaux sont plus efficaces en termes de précision dans l'exécution de la tâche et les vespéraux en termes de rapidité (Fröberg 1977), (Caston 1993) et (Neubauer 1995).

II. VIGILANCE ET ACCIDENTS FERROVIAIRES

Les études en laboratoire ont révélé que la somnolence détériore la performance car elle s'accompagne d'un allongement du temps de réaction pouvant être à l'origine d'une nette augmentation du risque d'accident. Elle s'accompagne également d'un ralentissement des processus d'intégration de l'information avec une baisse de la mémoire à court terme et une réduction des performances mentales (tâches d'attention) (Dinges 1992) et (NCSDR/NHTSA 1999). Le maximum de détérioration psychophysologique se situe entre 3h et 5h du matin, période du minimum de la vigilance (Roussel 1991) et (Chich 1991).

1. Les principales causes d'hypovigilance

Les principales causes d'une baisse de la vigilance sont : les troubles de sommeil, l'ingestion d'alcool et la prise de médicaments psychotropes. Les troubles du sommeil concernent sa durée, sa qualité et sa position dans le nycthémère (synchronisation) ; ils intègrent la dette de sommeil, la fragmentation du sommeil, la désynchronisation et les pathologies du sommeil (Hadj-Mabrouk A. 1999).

La privation de sommeil est à la base d'une limitation des capacités psychomotrices, cognitives et perceptives. Une dette de sommeil de 24h interagit avec l'horaire du jour pour détériorer la performance surtout la nuit (Lenne et al. 1998).

La fragmentation du sommeil engendre le jour suivant un déséquilibre dans la qualité de l'éveil préjudiciable à la performance. Un bon sommeil nocturne est en rapport avec l'augmentation de la vigilance diurne (Bonnet 1985 et 1996), (Sauvignon 1992), (Dinges 1995) et (NCSDR/NHTSA 1999).

La désynchronisation est à l'origine des troubles du sommeil de type incapacité de s'endormir et/ou de se tenir éveillé au moment souhaité, de l'humeur et de fatigue avec une baisse de la vigilance et risque accru d'accidents (Winget 1984), (Folkard 1990), (Taillard et Mouret 1991) et (Lagarde et al. 2000).

Les pathologies du sommeil sont responsables d'une somnolence diurne qui altère les performances physiques et mentales. Les hypersomniaques présentent un nombre d'erreurs significativement plus grand que les sujets sains (Findley et al. 1989 et 1995), (Montplaisir et al. 1995) et (Prévo et Leger 2000).

L'alcool interagit avec le rythme circadien pour aggraver la somnolence la nuit et l'après-midi (Horne et Gibbons 1991), (Horne et Baumber 1991) et (Roehrs et al. 1994). Associée à une restriction du sommeil, l'ingestion d'alcool augmente la détérioration de la performance et élève le risque d'accidents (Wilkinson 1968), (Huntley et Centybear 1974) et (Roehrs et al. 1994).

La prise des médicaments psychotropes comme les anxiolytiques benzodiazépiniques, les antidépresseurs tricycliques et les sédatifs antihistaminiques (anti H1) provoque des perturbations du comportement, des activités mentales, des fonctions visuelles, du sommeil, de l'attention et de la vigilance (Lagier 1995), (Lemoine 1995) et (Billiard 2000).

L'âge avancé s'accompagne d'altérations physiques et cognitives, de réduction des capacités visuelles et auditives et de modifications du rythme veille-sommeil (Joly et al. 1995), (Lundberg et al. 1998) et (HU PS et al. 1998).

2. Les contraintes du métier

Les contraintes du métier dans ce domaine sont loin d'être stables, elles sont devenues plus nerveuses que physiques. Le problème de la fiabilité dans les systèmes Homme – Machine est celui de la compatibilité entre les variations de l'état fonctionnel de l'opérateur et celles des exigences du travail (Gadbois 1990) et (Macaire 1991). La non concordance des horaires de travail avec les horaires de meilleure forme et des pics de vigilance, impose un effort supplémentaire d'adaptation à ces horaires, augmentant ainsi la charge du travail et pouvant affecter la fiabilité de ces opérateurs (Dogui 1998).

Les incidences de la variabilité circadienne de l'état fonctionnel de l'opérateur humain sur la fiabilité ne sauraient être évaluées précisément sans que soit prises en compte les caractéristiques de la tâche et les conditions dans lesquelles se déroule son activité (Gadbois 1990), (Masson 1991) et (Sauvignon 1992). L'hypovigilance en période monotone demeure le facteur essentiel de perte de contrôle et d'efficacité des opérateurs humains dans ce domaine (Mollard 1991).

3. Les causes des accidents ferroviaires

Les accidents ferroviaires sont des accidents secondaires à une erreur humaine dans la majorité des cas (imprudence, maladresse, fausse manœuvre, alarme négligée, mauvaise transmission d'information, hypovigilance...) (Mollard et al. 1991) et (Masson 1991).

Une étude bibliographique menée par l'INRETS a révélé que l'erreur humaine est en cause dans une proportion non négligeable des accidents ferroviaires (Hadj-Mabrouk H. 1998) :

- la défaillance humaine (faute, imprudence, maladresse...) est la cause de plus de 90 % des accidents dans les transports collectifs urbains;
- les principales causes d'accidents à la SNCF proviennent de défaillances humaines lors de manœuvres de conduite de trains. Le nombre de franchissements de signaux avec engagement du point protégé n'est pas satisfaisant, 25 en 1992 et 36 en 1993;
- à la RATP les erreurs humaines (fausse manœuvre, alarme négligée, mauvaise transmission d'information...) sont directement à l'origine d'environ 65% des défaillances d'un système et indirectement en cause dans pratiquement tous les cas restants;

- l'erreur humaine était considérée comme cause première de 270 accidents sur 1283 dont 113 collisions et 67 déraillements. Il en est de même de 103 déraillements par an en moyenne sur 1971-75, de 72 en 1987, de 64 en 1988, de 28 en 1989 et de 43 en 1990.

L'erreur humaine liée à une baisse de la vigilance est devenue un élément critique dans la fiabilité du système Homme-Machine (Mollard et al. 1991).

Toutes ces observations soulèvent l'ampleur du problème posé par l'erreur humaine dans le domaine de la sécurité des transports ferroviaires. Cependant, il n'existe à ce jour et à notre connaissance, aucune étude basée sur des données réelles d'accidents ferroviaires (retour d'expérience) pouvant conforter ou infirmer l'importance des notions de chronobiologie de la vigilance dans la genèse d'erreurs à l'origine des accidents.

Notre contribution consiste à élaborer une approche méthodologique originale d'application de la chronobiologie de la vigilance au domaine de la sécurité des transports ferroviaires.

III - APPROCHE D'APPLICATION DE LA CHRONOBIOLOGIE DE LA VIGILANCE A LA SÉCURITÉ DES TRANSPORTS FERROVIARES

Alors que le maintien de la vigilance des opérateurs constitue un enjeu important et une des préoccupations essentielles en matière de sécurité ferroviaire, peu de travaux dans ce sens ont été effectués. D'ailleurs la première journée en France concernant les facteurs humains et l'ergonomie dans le transport ferroviaire (organisée par la SNCF, la RATP...) a eu lieu le 19 septembre 2000 à Toulouse. Un seul article a été présenté et ce n'est qu'un abstract qui a souligné les problèmes de l'hypovigilance sans illustration des résultats.

1. Etude de l'existant : mesures de prévention et recommandations proposées

L'essentiel des travaux dans ce domaine a porté sur la tâche de conduite. Peu d'études ont été consacrées aux opérateurs du PCC ou à d'autres catégories d'opérateur.

La SNCF a porté son attention sur la sélection du personnel à l'embauche et sur leur formation en tenant compte des facteurs intellectuel, psychomoteur et comportemental grâce à un test informatisé de type situationnel et comportemental appelé ASP : Attention-Surveillance-Performance. Ce test a pour objectif la mesure de l'aptitude à maintenir l'attention et à réagir à des situations de stress (Macaire 1991).

Alors que l'une des missions des médecins de travail à la SNCF consiste à dépister, pour y remédier, toutes les circonstances pathologiques responsables d'hypovigilance des agents de conduite, ils pensent que des astuces usés par les conducteurs comme la conduite en position debout, l'ouverture des fenêtres, l'écoute de radio voire les mots fléchés représentent des moyens pour accroître la performance attentionnelle. "*Ce sont ces astuces, tournées vers la sécurité des circulations et l'efficacité de leur travail, que nous voyons comme des créations*" (Fernandez et Clot 2000).

Masson (1991) a élaboré une méthode de détection de la défaillance physique du conducteur basé sur un dispositif appelé VACMA (Veille Automatique à Contrôle du Maintien d'Appui). Mollard (1991) a montré une baisse significative de la force d'appui pendant chaque cycle de maintien au cours des phases d'hypovigilance. Ces phases transitoires, physiologiques ont une périodicité de 90 à 120 mn au cours desquelles on a constaté l'apparition simultanée des omissions de réponses aux stimuli visuels (feux, panneaux de limitation de vitesse, signaux d'arrêt). Ces fluctuations périodiques rappellent le rythme ultradien de la vigilance.

Macaire et Fayard (1995) ont créé un groupe de prévention pluridisciplinaire pour le maintien de la fiabilité humaine des conducteurs de trains. La fiabilité humaine repose sur trois étapes : la sélection du personnel, leur formation et leur certification. Cette démarche permet, selon les auteurs, d'augmenter les chances de maintien du conducteur dans ses fonctions, grâce à la précocité du diagnostic, tout en garantissant l'exigence de sécurité pour l'entreprise.

Selon Gadbois (1990), les solutions appropriées ne peuvent être dégagées qu'à partir d'un inventaire précis des exigences temporelles des tâches requises par le fonctionnement du système, et de la confrontation de ces exigences avec les connaissances disponibles sur les caractéristiques du fonctionnement temporel de l'homme. La recherche des aménagements adéquats devra se développer suivant deux grandes voies complémentaires : l'organisation des horaires de travail et l'aménagement temporel des exigences des tâches allouées aux opérateurs (compatibilité acceptable avec les variations quotidiennes des capacités fonctionnelles des opérateurs).

2. Limites des approches proposées

Quoique ces observations témoignent de la survenue des épisodes d'hypovigilance à des moments prévisibles du nyctémère en considérant les fluctuations de la vigilance, ces notions de chronobiologie ne sont pas bien prises en compte, de manière formelle, dans le domaine de la sécurité des transports ferroviaire. En outre, aucune approche méthodologique d'applications de ces concepts de la chronobiologie aux transports ferroviaires n'a été proposée à ce jour.

Contrairement à HEINTZ qui conclue que “ *nul n'est en mesure aujourd'hui d'affirmer qu'une partie significative de ceux-ci (incidents ou accidents ferroviaires) est due à une hypovigilance de l'agent de conduite. Nous ne sommes absolument certains que de la nécessité du respect d'une condition limite : on ne peut admettre qu'un conducteur puisse s'endormir en conduisant* ” (Heintz et al. 1992), nous pensons que les notions de chronobiologie méritent d'être considérées dans le but d'améliorer la fiabilité humaine dans le domaine de la sécurité des transports ferroviaires.

En considérant que *s'endormir en conduisant* est une condition limite, l'étude des conditions favorables à la propension au sommeil des conducteurs et leur prévention ne peut qu'améliorer la fiabilité humaine. L'hypovigilance et la propension au sommeil sont d'abord régies par le système circadien endogène et favorisées par des facteurs exogènes comme le déficit en sommeil, la pauvreté de l'environnement en stimuli sensoriels éveillants (monotonie de l'environnement), la prise de médicaments hypnotiques ou sédatifs....

Par ailleurs les Opérateurs Humains dans le domaine de transport ferroviaire, surtout les agents d'exploitation (opérateurs du PCC et agents de conduite), sont soumis à des rythmes de rotation horaires variables pouvant être à l'origine d'une tolérance plus ou moins bonne au travail posté du fait d'une désynchronisation interne de l'individu, souvent constatée chez les travailleurs postés d'autres domaines.

3. Proposition d'une approche méthodologique d'application de la chronobiologie de la vigilance au domaine de la sécurité des transports ferroviaires

L'analyse des différents travaux témoigne de l'absence d'études basées sur des données réelles d'accidents ferroviaires (retour d'expérience) pouvant conforter ou infirmer l'importance des notions de chronobiologie de la vigilance dans la genèse d'erreurs à l'origine des accidents. Pourtant le régime de rotation de l'horaire de travail des opérateurs humains dans ce domaine pose le problème du travail posté et la prise en compte des données chronobiologiques peut améliorer la sécurité en proposant des solutions

d'adaptation des horaires de travail aux variations circadiennes des capacités fonctionnelles de l'opérateur humain.

L'amélioration de la fiabilité humaine dans ce domaine nécessite la prise en compte des facteurs susceptibles d'influencer les performances en situation nominale ou dégradée. Le niveau de vigilance conditionne les performances et son altération est une source importante d'accidents et incidents. L'approche chronobiologique de ce facteur est intéressante à considérer dans le secteur critique de la sécurité des transports ferroviaires guidés.

Cette approche, qui est inspirée notamment des données et des résultats issus de l'analyse des accidents routiers par hypovigilance du conducteur, fait intervenir douze principales étapes :

1. Le recueil des données d'accidents à partir d'une base de données (retour d'expérience) et/ou d'un travail prospectif à l'aide des techniques de recueil des connaissances (questionnaire, interview, analyse de protocole, ...)
2. L'établissement de la liste des accidents dus à une erreur humaine ;
3. La détermination de la répartition temporelle de ces accidents (rythme des accidents) à partir de leurs horaires d'occurrence ;
4. La recherche d'une corrélation entre les horaires prévisibles d'hypovigilance (rythmes de la vigilance) et les pics d'occurrence des accidents dus à une erreur humaine (rythme des accidents) ;
5. L'établissement de la liste des causes d'accidents relatives à une erreur humaine ;
6. L'identification des différentes causes d'hypovigilance à l'origine des accidents ;
7. L'élaboration des moyens instrumentaux et comportementaux de détection et de prévention des hypovigilances de l'opérateur humain ;
8. L'identification et le choix des OH (personnel de maintenance ou d'exploitation) auxquels le système est destiné ;
9. La détermination de la typologie circadienne du sommeil des OH choisis afin d'établir leur chronotype " du matin " ou " du soir " ;
10. La recherche de leurs horaires de meilleure performance en fonction du critère de matinalité - vespéralité ;
11. L'analyse de la tâche confiée à ces OH;
12. L'établissement de profil de poste des différents types des OH en soulignant la nécessité de concordance entre leurs horaires de travail avec ceux de meilleure performance.

En dépit de quelques limites inhérentes notamment à la phase de recueil et d'analyse des données d'accidents à partir du retour d'expérience qui mérite une réflexion plus approfondie, cette approche permet de structurer les connaissances relatives à la chronobiologie de la vigilance. Elle offre un cadre méthodologique pour l'analyse et l'évaluation de l'hypovigilance en relation avec la sécurité ferroviaire. La détermination des horaires de meilleure performance de l'OH et leur concordance avec ses horaires de travail améliorent la fiabilité du système Homme-Machine et réduisent ainsi le risque d'accident. Des études ciblées dans ce domaine sont encore nécessaires pour enrichir nos connaissances et pour mieux adapter le travail à l'opérateur humain.

CONCLUSION

L'insécurité dans le domaine des transports ferroviaires demeure un enjeu important. L'analyse des accidents dans ce domaine a souligné la part du facteur humain dans leur genèse. L'erreur humaine liée à une baisse de la vigilance en est une des principales causes.

L'apport de la chronobiologie de la vigilance a été prouvé dans le domaine de travail et de la sécurité routière (les pics d'accidents coïncident avec des horaires de basse vigilance et de propension au sommeil). Cependant, l'approche chronobiologique n'a pas été mise en oeuvre dans la sécurité des transports ferroviaires. Pour apporter un élément de réponse à ce problème, notre contribution a porté essentiellement sur l'élaboration d'une approche méthodologique d'application de la chronobiologie de la vigilance dans ce domaine qui s'articule autour de douze grandes étapes complémentaires. Cette démarche dépasse le seul cadre des transports ferroviaire et pourrait fort bien s'adapter à d'autres domaines où l'on exige une sécurité absolue et un niveau optimal de vigilance. Néanmoins, cette démarche fait encore l'objet de nos travaux de recherche actuels et nécessite sa mise en oeuvre dans des conditions industrielles réelles, afin de valider et, le cas échéant, d'améliorer ce qui demeure une proposition.

BIBLIOGRAPHIE

1. AKERSTEDT T. Work hours, Sleepiness and the underlying mechanism, *J Sleep Res* 1995, 4 (2) : 15-22
2. AKERSTEDT T. ; Work hours, sleepiness and accidents : introduction and summary; *J Sleep Res* 1995 ; 4 (2) : 1-3
3. ANSSEAU M. et TIMSIT-BERTHIER M. Vigilance et troubles psychiatriques ; *Neuro - Psy* , vol 2, n° 2, 1987, p : 105-110
4. BENOIT O. et AGUIRRE A. Homeostatic and circadian aspects of sleep regulation in young poor sleepers ; *Neurophysiol Clin* 1996 ; 26 : 40-50
5. BILLARD M. Médicaments psychotrope et vigilance; Facteurs de dégradation de la vigilance et insécurité routière ; Journée spécialisée INRETS, 27 octobre 2000
6. BONNET M.H. Effects of sleep disturbance on sleep, performance and mood ; *Sleep* 1985, 8 (1) : 11-19
7. BONNET MH. Sleep fragmentation as the cause of daytime sleepiness and reduced performance ; *Wien Med Wochenschr* 1996, 146 (13-14) : 332-34
8. BROUGHTON R. Les rythmes biologiques de la vigilance et du sommeil-éveil chez l'homme sain et malade. *Psychologie Médicale*, 1989, 21, 1 : 49-55
9. BRUNI H. Catégories temporelles et fluctuations diurnes de l'attention ; *Vigilance et transports, aspects fondamentaux, dégradation et prévention* ; Sous la direction de M. VALLET et S. KHARDI ; Presses Universitaires de Lyon 1995, p : 397-404
10. CASTON J. Les rythmes; *Psychophysiologie Tome II*. Ed : ELLIPSE 1993, p : 271-319
11. CHARAA N. Typologie du sommeil ; Thèse en Médecine N° 1195, 1998, Fac de Médecine de Sousse (Tunisie)
12. CHAN M. et HERRERA A. Détection de la baisse de vigilance par réseau neuronal ; *Vigilance et transports, aspects fondamentaux, dégradation et prévention* ; Sous la direction de M. VALLET et S. KHARDI ; Presses Universitaires de Lyon 1995, p : 375-379
13. CHICH Y. Introduction à la journée d'étude sur le maintien de la vigilance dans les transports ; *Le maintien de la vigilance dans les transports* ; Sous la direction de M. Vallet ; Edition Paradigme ; 1991 ; p : 9-11
14. DINGES D. Adult napping and its effects on ability to function. In: Stampi C, editor, *Why we nap : evolution, chronobiology, and functions of polyphasic and ultrashort sleep*. Boston : Birkhauser ; 1992. pp. 118-34
15. DINGES D. An overview of sleepiness and accidents ; *Sleep Res* 1995, 4 (2) : 4-14

16. DOGUI M. ; Chronobiologie de la vigilance et des performances et erreur humaine. Application aux systèmes de transports guidés. Rapport de contrat DOGUI/INRETS, service d'explorations fonctionnelles du système nerveux, CHU de Sousse-Tunisie, décembre 1998, 21 p.
17. FAYADA C. et COUTIER L. Les capacités d'attention des conducteurs de train , Vigilance et transports, aspects fondamentaux, dégradation et prévention ; Sous la direction de M. VALLET et S. KHARDI ; Presses Universitaires de Lyon 1995, p : 213-219
18. FERNANDEZ G. et CLOT Y. ; Rôle collectif de travail dans la sécurité des circulations à la SNCF : le cas d'un dépôt de banlieue en région parisienne ; Revue Générale des Chemins de Fer, Éditions ELSEVIER, Paris, décembre 2000, pp 69-76.
19. FINDLEY L. et al. ; Driving simulator performance in patients with sleep apnea ; Am Rev Respir Dis 1989 ; 140 : 529-30
20. FINDLEY L. ; Vigilance and automobil accidents in patients with sleep apnea or narcolepsy ; Chest 1995 ; 108 (3) : 619-24
21. FOLKARD S. ; Circadian performance rythms : some practical and theoretical implications ; Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1990, 327 : 543-553
22. FRÖBERG J. Twenty-four-hour Patterns in Human performance, subjective and physiological variables and differences between Morning type and Evening type Subjects. Biological Psychology 1977/5 : 119-134
23. GADBOIS C. Dimensions temporelles de l'action et Fiabilité des systèmes socio - techniques. Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes ; Sous la direction de LEPLAT J. et TERSSAC G. Edition Octares entreprise 1990 ; p : 159-187
24. HADJ-MABROUK H. ; Acquisition et évaluation des connaissances de sécurité des systèmes industriels. Application au domaine de la certification des systèmes de transport automatisé ; Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches ; Université de technologie de Compiègne ; février 1998
25. HADJ-MABROUK H. et DOGUI M. ; Approche d'intégration des facteurs humains dans la sécurité des transports ferroviaires guidés ". *Revue Générale des Chemins de Fer*, Éditions ELSEVIER, Paris n°11, novembre 1999 pp17-34.
26. HADJ-MABROUK A. ; Chronobiologie de la vigilance et des performances appliquée au domaine des transports terrestres ; Thèse de médecine, 1999, Fac de médecine de Sousse-Tunisie
27. HEINTZ J-G. et al. ; Vigilance et Attention. Quels rapport avec la sécurité ferroviaire ? *Revue générale des chemins de fer* , 1992/11, 11 p : 15-24
28. HORNE J. et BAUMBER C. ; Time-of-day effects of alcohol intake on simulated driving performance in women. *Ergonomics* 1991 ; 34 (11) : 1377-83
29. HORNE J. et GIBBONS H. Effects on vigilance performance and sleepiness of alcohol given in the early afternoon (post lunch) vs. Early evening ; *Ergonomics* 1991 ; 34 (1) : 67-77
30. HU PS et al. ; Crash risks of older drivers: a panel data analysis. *Accid Anal Prev* 1998 Sep, 30 (5): 569-81
31. HUNTLEY M. et CENTYBEAR T. ; Alcohol, sleep deprivation and driving speed effects upon control use during driving ; *Hum Factors* 1974 ; 16 : 19-28
32. JOHNSON L.C. et al. ; Quality of sleep and performance in the navy : A Longitudinal study of good and poor sleepers. Raven Press , New York 1983 : 13-28
33. JOLY P. et al. ; Problèmes de vigilance et stratégies de compensation chez les conducteurs âgés. Vigilance et transports, aspects fondamentaux, dégradation et prévention ; Sous la direction de M. VALLET et S. KHARDI. Presses Universitaires de Lyon 1995, p : 297-315. Washinton, DC: Bureau of National affairs, 1992, BNA special report n°32 : 1-32
34. LAGARDE D. et al. ; Conséquences d'une perturbation du rythme veille / sommeil ; " Facteurs de dégradation de la vigilance et insécurité routière " ; Journée spécialisée INRETS, 27 octobre 2000