



1. ASPECTS GÉNÉRAUX DES FACTEURS HUMAINS

1.1. MODÈLES DE TRAITEMENT HUMAIN DE L'INFORMATION

Un des modèles classiques de la manière dont les personnes traitent l'information est le « modèle humain de traitement de l'information » de Wickens [57]. Il s'appuie sur des années de travaux expérimentaux et s'applique de manière générale à de nombreux aspects de l'interaction homme-machine (transport terrestre, aviation, etc.).

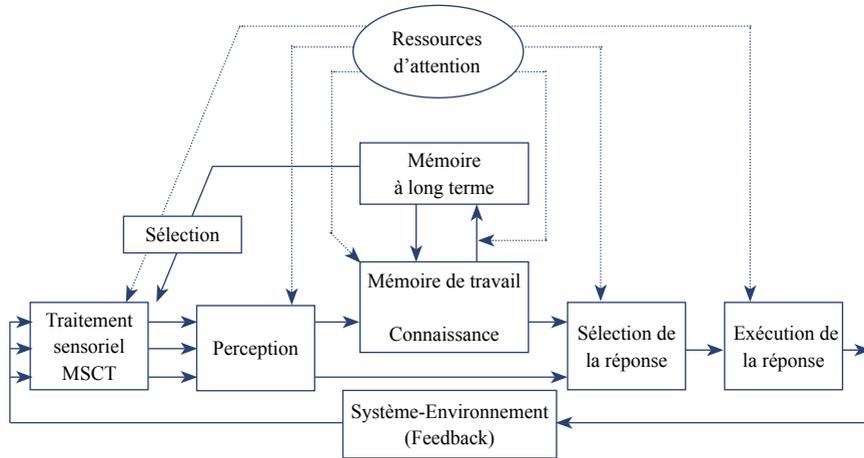


Figure 1 : modèle de traitement de l'information par l'homme selon Wickens

La **figure 1** présente une vue générale du modèle de Wickens. Les processus sont illustrés par les flèches qui transfèrent les informations entre différentes parties du système nerveux central humain. Le *traitement sensoriel* est la première partie du processus qui prend en compte la *mémoire sensorielle à court terme (MSCT)* dans laquelle des stimulus externes sont reçus et transférés pour former des perceptions (entrée perceptive ou « images »). On suppose qu'il se produit une procédure de sélection avant la formation des perceptions, ce qui implique que toutes les informations sensorielles (par exemple la lumière, les sons, etc.) ne peuvent pas être perçues en raison d'une capacité limitée. Les éléments sélectionnés dépendent du contenu de la mémoire à long terme et de la situation.

L'étape suivante est le *traitement cognitif* qui est équivalent aux fonctions de la *mémoire de travail*, c'est-à-dire une réflexion et une prise de décisions conscientes. A la suite des activités de réflexion et de prise de décisions, le traitement humain de l'information doit aboutir à une phase de *sélection de réponses* dans laquelle est prise une décision de réponse correcte ou optimale (par exemple « tourner à gauche » ou « ralentir »). La dernière phase du processus est l'*exécution de la*

1. GENERAL ASPECTS OF HUMAN FACTORS

1.1. MODELS OF HUMAN INFORMATION PROCESSING

One of the classic models of the way people process information is the “Human information processing model” of Wickens [57]. It is based on years of experimental work and is generally applicable to many aspects of Human Machine Interaction (ground transportation, aviation, etc.).

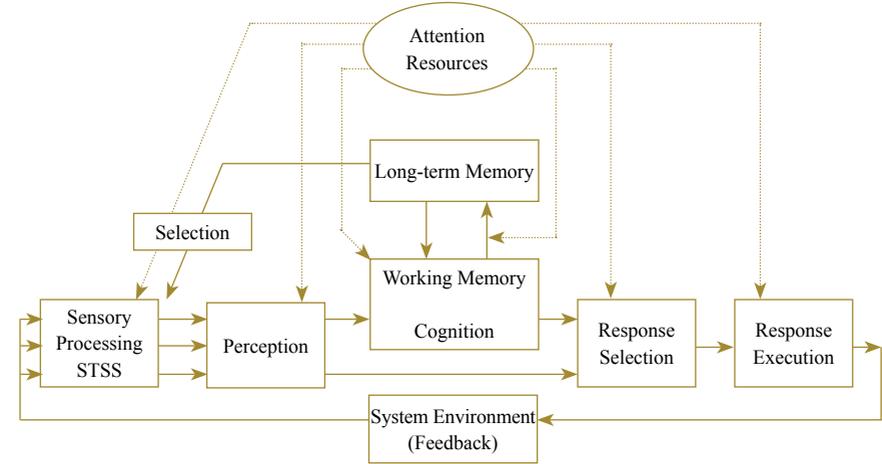


Figure 1: Human information processing model according to Wickens

Figure 1 gives an overview of the Wickens model. The processes are illustrated by the arrows transferring information between different parts in the human central neural system. *Sensory processing* is the first part of the process taking into account the *Short Term Sensory Store (STSS)* where external stimuli are received and transferred to form percepts (perceptual input or “images”). A selection procedure is believed to take place before the formation of percepts, implying that not all sensory information (e.g. light, sound, etc.) can be perceived owing to limited capacity. What is selected depends on what is in long term memory and what is being attended.

The next step is the *cognitive processing* which is equivalent with the functions of the *working memory*, i.e. conscious thinking and decision making. As a consequence of the thinking and decision making activities human information processing must lead to a stage of *response selection* in which a decision of the right or optimal response is made (e.g. “turn left” or “slow down”). The last stage in the process is the *execution of the response* involving motor processes, i.e. the



réponse impliquant des processus moteurs, c'est-à-dire l'activation de neurones moteurs aboutissant à une activité musculaire et à des actions humaines.

Un facteur principal du modèle, qui est également important lorsqu'on s'intéresse aux conducteurs dans les tunnels, est la *fonction des ressources d'attention*. A de nombreux égards, ce facteur conditionne la capacité et l'efficacité du système (dans notre cas, le conducteur humain du véhicule). Si les ressources mentales diminuent (par exemple à cause d'une distraction ou de la fatigue), cela aura des répercussions sur une ou plusieurs phases du traitement humain de l'information. Lorsqu'un conducteur est fatigué, sa capacité à sélectionner des informations est réduite ; il devient difficile de percevoir des informations, de les comprendre ou de se souvenir comment il faut réagir (fonctions de perception et de mémoire). Exemple : un conducteur dont la capacité d'attention est altérée (à cause du stress ou d'une distraction) peut ne pas sélectionner les informations pertinentes ou mal interpréter les informations visuelles de l'environnement routier (ou du tunnel). Cette situation peut entraîner une série de réactions inadaptées.

La conduite d'un véhicule est un bon exemple de feedback « *système - environnement* » reposant sur des informations visuelles provenant du véhicule et de l'environnement. Ces informations visuelles sont traitées pour produire des réactions correctives par la rotation du volant par le biais d'une boucle de feedback entre les yeux et les mains du conducteur.

Si le modèle de Wickens est relativement détaillé, un deuxième modèle plus général est également pertinent pour l'analyse du comportement des usagers de la route (et des tunnels), le "modèle de comportement humain de Rasmussen" [43]. Ce modèle nous place à un niveau très général et peut également s'appliquer directement à la [figure 1](#). Son modèle de comportement humain possède trois niveaux distincts : *comportement reposant sur les connaissances, comportement reposant sur les règles et comportement reposant sur les compétences*.

Dans le contexte de la conduite, l'utilisation du changement de vitesses, du volant, etc., est normalement un processus du niveau du *comportement reposant sur les compétences*. Le comportement reposant sur les compétences peut également être qualifié de comportement automatique et est le résultat d'un lien direct entre une perception visuelle ou sonore et la réaction à cette perception, sans réflexion du conducteur. Il y a comportement reposant sur les compétences lorsqu'un comportement donné est le résultat d'une longue pratique et ne mobilise aucune ressource mentale. Le problème du comportement reposant sur les compétences réside dans le fait que le conducteur continue à appliquer des automatismes même s'ils ne sont pas adaptés aux circonstances. Par exemple, un conducteur qui emprunte un tunnel tous les jours peut ne pas voir les signaux indiquant que

activation of motor neurons leading to muscle activity and human actions.

A main factor in the model, which is also important when focussing on drivers in tunnels, is the *attention resource function*. This in many respects determines the capacity and efficiency of the system - in our case the human vehicle driver. If the mental resources decrease (e.g. owing to distraction or fatigue) there will be an effect on one or more of the different human information processing stages. When a driver is tired his/her capacity to select information is reduced; it becomes difficult to perceive information, to understand it or to remember how to respond to it (perception and memory functions). For example: a driver with impaired attention capacity (owing to stress or distraction) may fail in selecting the relevant information or interpreting the visual information correctly from the road (or tunnel) environment. This may lead to an inappropriate series of responses.

Steering a vehicle is a good example of "*system - environment*" *feedback* based upon visual information both from the vehicle itself and from the environment. This visual information is being processed to produce corrective responses by turning the steering wheel via a feedback loop between the drivers eyes and the hands.

Whereas Wickens's model is quite detailed, a second, more general, model is also relevant for analysing behaviour of road (and tunnel) users, "Rasmussen's model of human behaviour" [43]. This model puts us on a very general level and can also be directly applied to [figure 1](#). His model of human behaviour has three distinct levels: *knowledge-based, rule-based and skill-based behaviour*.

Within the context of driving: using the gears, using the steering wheel etc., is normally a process at the *skill-based behaviour* level. Skill-based behaviour can also be called automatic behaviour and is the result of a direct link between seeing or hearing something and responding to it, without the driver thinking about it. Skill-based behaviour is exhibited when specific behaviour is highly trained and does not require mental resources. The problem with skill-based behaviour is that drivers may still exhibit this automatic behaviour even if it is not appropriate in the specific circumstances. For example, if you drive into a tunnel every day, it might be that you do not see the signals indicating that the tunnel is closed to traffic: there is a direct link between what you see (this very familiar tunnel) and what you do (drive into it).



le tunnel est fermé à la circulation : il y a un lien direct entre ce qu'il voit (ce tunnel bien connu) et ce qu'il fait (s'y engager).

L'interprétation des situations et scénarios quotidiens et les règles et réglementations en matière de circulation se situent au niveau du *comportement reposant sur les règles*. Dans ce modèle de comportement, les personnes connaissent la règle à appliquer lorsqu'elles rencontrent une situation donnée ; les conducteurs appliquent les règles suivantes : « Si je vois ceci, je fais cela ». Le comportement reposant sur les règles peut être source de problèmes si les personnes appliquent une règle erronée à la situation ou interprètent mal la situation et sélectionnent donc la règle qui s'applique à une autre situation.

Lorsqu'ils sont confrontés à des situations ou des lieux nouveaux, les conducteurs sont généralement au niveau du *comportement reposant sur les connaissances*. Des trois niveaux, c'est celui qui nécessite les plus importantes ressources mentales. Exemple : la conduite dans un tunnel (ou un centre ville) jamais parcouru auparavant. A chaque instant, il faut appliquer à la situation rencontrée les connaissances particulières acquises pendant des voyages précédents dans d'autres tunnels, il s'agit donc d'une manière très consciente d'interpréter les informations et d'y réagir. Etant donné que cette situation est très astreignante, il peut y avoir une surcharge de tâches et les conducteurs peuvent ne pas posséder des ressources suffisantes pour appliquer toutes les connaissances nécessaires à l'exécution de la tâche.

Il est important de remarquer que cette description des comportements reposant sur les compétences, les règles et les connaissances s'applique uniquement aux conducteurs expérimentés. Les élèves conducteurs et les conducteurs novices ont tendance à se situer la plupart des temps au niveau du comportement reposant sur les connaissances : ce niveau est relativement astreignant sur le plan des ressources mentales. Les conducteurs expérimentés ont tendance à se situer au niveau du comportement reposant sur les règles une partie du temps et au niveau du comportement reposant sur les compétences une autre partie du temps, selon la situation qui se présente et les exigences particulières liées à l'environnement de circulation. Le comportement reposant sur les règles n'est pas simplement une question d'application de lois et de réglementations formelles mais bien plus un résultat d'expériences individuelles cumulées acquises par l'exposition au système de transport. Cet appel à l'expérience pour indiquer "comment" conduire et "quoi" attendre crée également des attentes quant au comportement des autres conducteurs.

Dans des conditions normales de conduite, le comportement reposant sur les compétences (ou assez automatique) est impliqué mais, dans des situations particulières (cf. également, par la suite, dans les situations de crise), ce comportement reposant sur les compétences doit être transformé en

Interpreting everyday situations and scenarios as well as traffic rules and regulations are on the *rule-based* behaviour level. Within this behavioural model, people know what rule to apply when a certain situation is encountered; drivers would apply the rules: "If I see this, then I will do that". Problems at the rule-based level may occur if people apply the wrong rule to the situation, or misinterpret the situation and therefore select the rule that applies to another situation.

Encountering new situations or locations will usually place drivers at the *knowledge-based behaviour* level. It is this level that requires the most mental resources of the three. An example of this could be when you drive into a tunnel (or city centre) that you never have seen before. Specific knowledge acquired during previous journeys through other tunnels has to be applied to the situation at every moment, so it is a very conscious way of interpreting information and responding to it. Since it is very demanding, it may be that there is task overload and drivers may not have enough resources to apply all relevant knowledge to execute the task.

It is important to note that this description of skill-based, rule-based and knowledge-based behaviour only applies to experienced drivers. Learner and novice drivers will tend to find themselves on the knowledge-based behavioural level most of the time: this is quite demanding on mental resources. Experienced drivers will tend to find themselves operating on the rule-based behaviour level for part of the time and on the skill based level for part of the time, depending upon the situation at hand and upon the specific demands from the traffic environment. The rule-based behaviour is not simply a matter of obeying laws and formal regulations, but more of a result of accumulated individual experiences gained through exposure to the transport system. This reliance on experience to tell us "how" to drive and "what" to expect, also creates expectations as to how other drivers will behave.

Under normal driving conditions, skill based (or more automatic) behaviour will be involved, but under specific situations (see also later, in crisis situations) this skill based behaviour needs to be transferred into knowledge based behaviour. This transfer takes time and it is hard to break out of automatic behaviour.



comportement reposant sur les connaissances. Cette transformation prend du temps et il est difficile d'abandonner un comportement automatique.

► 1.2. MODÈLES DE COMPORTEMENT HUMAIN DANS LES SITUATIONS DE CONDUITE

Un modèle conceptuel de la tâche de conduite qui est fréquemment utilisé se compose de trois niveaux hiérarchiques : *navigation*, *guidage* et *maîtrise* (Allen et al, [2]).

Les tâches au *niveau navigation* se rapportent aux activités liées à la planification et à la réalisation d'un déplacement de l'origine à la destination. La nécessité de traiter l'information n'est qu'occasionnelle, avec des intervalles compris entre quelques minutes et plusieurs heures.

Le *niveau guidage* se rapporte à des tâches liées à l'interaction avec l'environnement (route, panneaux routiers, feux de circulation) et les autres usagers de la route. Une activité assez fréquente est nécessaire, avec des intervalles de quelques secondes à quelques minutes.

Au *niveau maîtrise*, le mouvement du véhicule est commandé longitudinalement et latéralement. Il faut traiter l'information fréquemment, ce qui va d'activités intermittentes à intervalles de quelques secondes à une maîtrise quasiment continue.

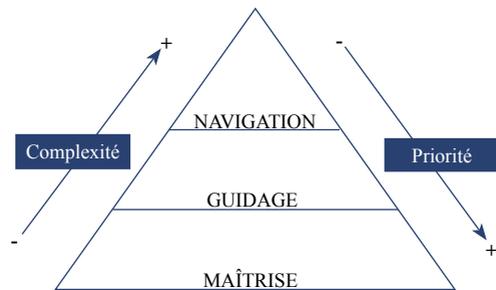


Figure 2 : Les trois niveaux hiérarchiques de la tâche de conduite selon Allen, représentés par Alexander et Lunenfeld.

Alexander et Lunenfeld [1] ont représenté la relation entre les niveaux par un ensemble de triangles imbriqués (figure 2), classés hiérarchiquement d'un niveau faible à un niveau élevé avec une *complexité* croissante et d'un niveau élevé à un niveau faible avec une *urgence* croissante (*priority*). Par exemple, un pneu à plat ou une brusque rafale de vent interrompt immédiatement les activités au niveau

► 1.2. MODELS OF HUMAN BEHAVIOUR IN DRIVING SITUATIONS

A frequently used conceptual model of the driving task consists of three hierarchically ordered levels, *navigation*, *guidance* and *control* (Allen et al, [2]).

Tasks at the *navigation level* refer to the activities related to planning and executing a trip from origin to destination. The need for processing information only occurs occasionally, with intervals ranging from a few minutes to hours.

The *guidance level* refers to tasks dealing with the interaction with both environment (roadway, road signs, traffic signals) and other road users. Activity is required quite frequently with intervals of a few seconds to a few minutes.

At the *control level* the motion of the vehicle is controlled in longitudinal and lateral direction. Information has to be processed frequently, ranging from intermittent activities every few seconds to almost continuous control.

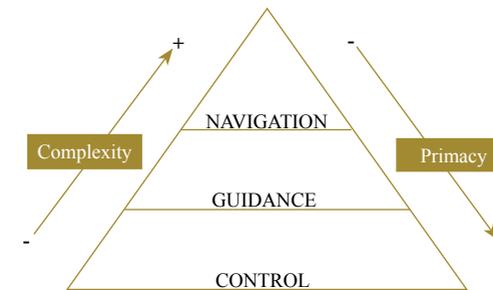


Figure 2: The three hierarchical levels of the driving task according to Allen as visualised by Alexander and Lunenfeld.

Alexander and Lunenfeld [1] visualised the relationship between the levels by a set of nested triangles (figure 2), hierarchically ordered from a low to a high level with an increasing *complexity* and from high to low with an increasing urgency (*primacy*). For example, a flat tyre or being suddenly confronted with a heavy wind gust will immediately interrupt activities at the navigation level and put all



navigation et concentre toute l'attention sur le niveau maîtrise car une erreur de direction a des conséquences moins graves qu'une sortie de route.

A chaque niveau de la tâche de conduite, les étapes successives de traitement de l'information (**figure 1**), c'est-à-dire *perception, sélection de la réaction et exécution de la réaction* se produisent. De plus, la manière dont un conducteur exécute ces tâches dépend pour une large part de la routine qu'il a établie dans l'exécution des tâches (*reposant sur les connaissances, sur les règles et sur les compétences*). Le choix du comportement dépend de l'interprétation et du raisonnement déductif. Lorsqu'une situation se répète fréquemment, il se développe une habitude pour faire face à cette situation et l'identification de cette situation aboutit à un comportement adapté sans 'besoin' de comprendre exactement ce qui se passe. Theeuwes [50] a proposé une représentation tridimensionnelle utile de la tâche de conduite présentée sur la **figure 3 page suivante**.

Le modèle présenté sur cette figure comprend les trois modèles théoriques différents présentés auparavant, c'est-à-dire le *modèle de traitement humain de l'information* de Wickens, le *modèle de comportement humain* de Rasmussen et les *trois niveaux hiérarchiques* d'Allen. (Theeuwes utilise les termes « traitement » et « action » pour « sélection de la réaction » et « exécution de la réaction », ainsi que les termes « stratégique » et « manoeuvre » au lieu de « navigation » et « guidage ».) Il est important de savoir que les trois modèles sont nécessaires pour comprendre parfaitement le comportement humain dans une situation-type de conduite. Par conséquent, ils présentent également une base théorique permettant de comprendre pourquoi nous agissons de manières différentes dans des situations particulières, par exemple lorsque nous sommes dans un tunnel et lorsque des situations inhabituelles ou alarmantes surviennent.

Il est évident que d'autres aspects du comportement du conducteur, comme les intentions, les attitudes, les émotions et les normes subjectives, jouent eux aussi un rôle important dans la modélisation du comportement du conducteur. Le comportement n'est pas simplement le résultat d'un traitement de l'information et de « calculs froids » pour le compte du conducteur mais essentiellement le résultat d'intentions humaines (dont certaines ne sont pas faciles à comprendre) et de réactions émotionnelles comme le stress et la panique. Cela fait partie de notre « programme humain » inné et doit être pris en compte dans la mesure du possible lors de la conception des futures solutions optimales pour la sécurité des tunnels.

attention to the control level, since getting lost has less severe consequences than running off the road.

At each level of the driving task the successive steps of information processing (**figure 1**), i.e. *perception, response selection and response execution* occur. Moreover, the way a driver performs these tasks strongly depends on the routine he has developed in task performance (*knowledge-based, rule-based, and skill-based*). The choice of behaviour depends on interpretation and deductive reasoning. When a situation occurs frequently, then after some time a custom or habit develops of how to deal with that situation; and recognising that situation leads to appropriate behaviour without a 'need' to understand exactly what is going on. Theeuwes [50] introduced a useful three-dimensional representation of the driving task as is given in **figure 3 following page**.

The model presented in this figure incorporates the three different theoretical models presented before, i.e. Wickens *model of human information processing*, Rasmussen's *model of human behaviour* and the *three hierarchically ordered levels* by Allen. (Theeuwes uses the words "processing" and "action" for "response selection" and "response execution" as well as the words "strategic" and "manoeuvring" instead of "navigation" and "guidance".) It is important to realise that all three models are needed to fully understand human behaviour in a typical driving situation. Consequently they also present a theoretical basis for understanding why we behave in different ways in specific situations, e.g. in tunnel driving and when unusual or alarming situations occur.

It is obvious that other aspects of the driver behaviour, such as intentions, attitudes, emotions and subjective norms also play an important role in modelling driver behaviour. Behaviour is not just the outcome of information processing and "cold calculations" on behalf of the driver but very much the result of human intentions (some not so easy to understand) and emotional reactions such as stress and panic. This is part of our innate "human program" and must be taken into account as much as possible during the design of the future optimal solutions for tunnel safety.

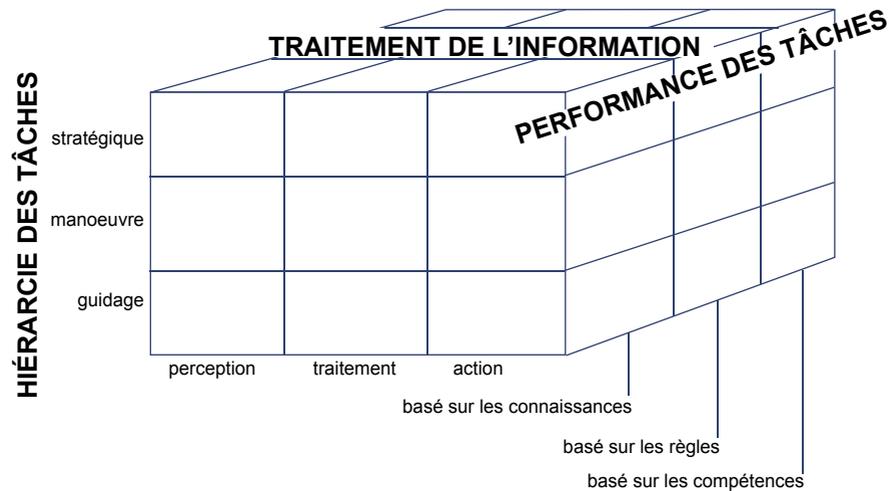


Figure 3 : représentation tridimensionnelle de l'activité de conduite (Theeuwes, 1993)

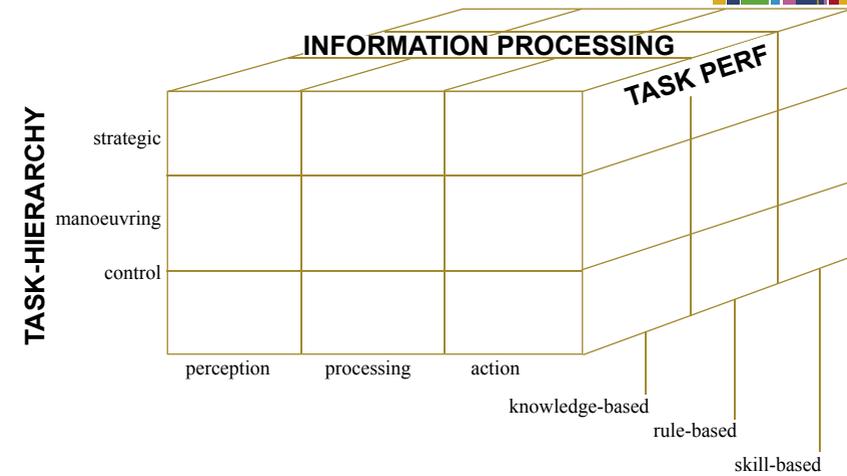


Figure 3: The driving task in three dimensions (Theeuwes, 1993)

► 1.3. PERCEPTION DES PANNEAUX ET SIGNAUX

Dans ce rapport, les définitions suivantes s'appliquent aux panneaux et signaux :

- Les *panneaux (routiers)* sont des panneaux verticaux et horizontaux qui ne changent pas au fil du temps. Ils s'appliquent principalement à des situations normales mais peuvent également être utilisés temporairement.
- Les *signaux (routiers)* sont des signaux visuels ou sonores qui varient relativement fréquemment dans le temps. Ils servent à signaler des situations de circulation qui nécessitent une attention particulière (par exemple feux pour réguler la circulation, signaux d'affectation des voies, feux clignotants et sonneries lorsque la route est bloquée aux passages à niveau, etc.).



Figure 4 : panneau à messages variables dans un tunnel américain

- Les *messages variables* sont des messages écrits sous forme de texte et contenant des informations ou des

► 1.3. PERCEPTION OF SIGNS AND SIGNALS.

In this report the following definitions for signs and signals apply:

- (*Road*) *Signs* are vertical and horizontal signs which do not change with time. They are mainly applied for normal situations, but may also be used on a temporary basis.
- (*Road*) *Signals* are visual or acoustical signals that vary relatively frequently with time. They are meant to provide warning of traffic situations that require special attention (e.g. traffic lights to control the flow of traffic, lane use signals, flashing lights and ringing bells when the road is blocked at railway crossings etc.).



Figure 4: Variable Message Sign in an American tunnel

- *Variable Messages* are messages in written text containing information or warnings for motorists. The



avertissements destiné(e)s aux automobilistes. Les messages écrits peuvent être combinés à des pictogrammes. Ils peuvent être affichés (annoncés) ou supprimés en fonction des conditions de circulation. La **figure 4 page précédente** présente un exemple de panneau à messages variables dans un tunnel américain. La dernière génération de panneaux à messages variables vise à être en grande partie indépendante d'une langue donnée. Pour parvenir à cet objectif, elle fait appel à des icônes pictographiques variables universelles.

Les panneaux et signaux routiers servent à accroître la sécurité routière. Ce rapport mettra en évidence le fait qu'ils jouent également un rôle important dans la sécurité des tunnels. Du point de vue des facteurs humains (traitement sensoriel, perception, reconnaissance, sélection de la réaction), les panneaux et signaux doivent être perceptibles, simples, lisibles, crédibles, fiables, mémorisables et faciles à comprendre (de préférence dans le monde entier). Cela est particulièrement vrai pour les panneaux et signaux en cas de conditions de circulation difficiles.

La perception des panneaux et signaux dépend de nombreux facteurs dont leurs dimensions, couleurs, éclairage, fréquence de répétition et nombre de fois que les conducteurs les ont rencontrés auparavant. Il est dangereux d'utiliser des panneaux qui présentent des différences par rapport aux panneaux normaux car les conducteurs ne les reconnaissent pas toujours dans ce cas. C'est pourquoi la standardisation est nécessaire.

► 1.4. COMPORTEMENT HUMAIN DANS LES SITUATIONS CRITIQUES

Afin de comprendre le comportement humain dans les situations critiques dans les tunnels, il est important de comprendre comment les personnes se comportent et réagissent en règle générale dans les situations dangereuses.

De nombreux rapports internationaux relatifs au comportement humain dans les situations critiques indiquent que la réaction la plus courante d'un être humain confronté à un incendie est une incrédulité au sujet de la situation et une sous-estimation du risque réel. Cela est manifestement le cas dans la phase initiale d'un incendie avec peu de fumée et de flammes. A ce stade, très peu de personnes souhaitent quitter les lieux.

Des études expérimentales et des tests et exercices d'évacuation conçus de manière réaliste ont montré qu'il faut entre 5 et 15 minutes aux personnes pour décider si elles doivent agir et finalement ce qu'elles doivent faire. D'autres études des stades antérieurs de l'évacuation font apparaître des modèles de comportements-types caractérisés par l'incertitude, la confusion et l'inefficacité ([46], [47]).

written messages may as well be accompanied by pictograms. They may be displayed (announced) or deleted depending on the traffic situation at hand. **Figure 4 previous page** presents an example of a variable message sign in an American tunnel. The latest generation of variable message signs is intended to be substantially independent of any specific language. They aim to achieve this by employing variable universal pictographic icons.

Road signs and signals are used in order to promote road safety. This report will make clear that they also play an important role in tunnel safety. From a human factors perspective (sensory processing, perception, recognition, response selection) signs and signals have to be perceivable, simple, readable, credible, reliable, memorable and easy to understand (preferably all over the world). This is particular true for signs and signals in case of critical traffic situations.

The perception of signs and signals depends on many factors including their dimensions, colours, lighting, repeat frequency and how often drivers have seen them before. It is dangerous to use deviations from normal signing, since they are not always recognised. This is why standardisation is necessary.

► 1.4. HUMAN BEHAVIOUR IN CRITICAL SITUATIONS

In order to understand human behaviour in critical situations in tunnels it is important to understand how people generally behave and react in dangerous situations.

Many international reports about human behaviour in critical situations indicate that the most common reaction of a human who experiences a fire is a disbelief of the situation and an underestimation of the actual risk. This is evidently the case in the initial phase of a fire with little smoke and fire. At this point there are also very few individuals who are willing to evacuate.

Based upon experimental studies as well as on realistically contrived evacuation tests and exercises it has been shown that people need between 5 to 15 minutes to decide whether they should do anything at all and finally what to do. Other studies of earlier stages of evacuation show typical behaviour patterns characterized by uncertainty, confusion and inefficiency ([46], [47]).



Dans les situations de stress, il est également très difficile de modifier le modèle de comportement normal qui repose sur l'expérience et les apprentissages antérieurs. Pour informer les personnes qu'elles ne sont pas dans une situation normale, il est vital de présenter les nouvelles informations de manière claire et compréhensible. Ces nouvelles informations facilitent la prise des décisions adaptées quant à la manière de réagir et de se comporter dans une situation critique. En situation d'anxiété, le centre d'intérêt d'une personne devient très limité, permettant de ne traiter que les éléments les plus évidents de l'environnement. (Cf. également la description du modèle de Wickens dans la section 1.1). Selon l'implication pratique de Keating [23], en situation d'urgence, toutes les communications devraient être simples, brèves et évidentes. Des consignes écrites compliquées et nombreuses ne sont pas efficaces. Il faut accorder une attention particulière au positionnement correct de ces signaux, y compris à travers l'utilisation de techniques architecturales établies. Keating explique également que, dans les situations ambiguës, les personnes reproduisent le comportement des représentants de l'autorité. Il est important que les responsables de l'évacuation en cas d'incendie soient correctement formés et possèdent une autorité adaptée. Il est très probable que les personnes auront tendance à se tourner vers eux et à appliquer leurs consignes. Selon le consensus commun sur les travaux portant sur les facteurs humains dans le projet européen UPgrading TUNnels (UPTUN) (rénovation des tunnels) [28] dans ces circonstances, les informations provenant d'une seule source ne sont pas suffisantes.

Le stress ne joue pas toujours un rôle négatif. En effet, un niveau modéré de stress peut même contribuer à une réaction humaine adaptée. On peut s'attendre à ce que les personnes souhaitent minimiser le danger ou fuir une situation dangereuse, par exemple en mobilisant une énergie supplémentaire ou en renforçant leur attention pour faire face à une situation menaçante. Selon la terminologie de Rasmussen, la personne fait preuve d'un *comportement reposant sur les connaissances*. Lorsque le temps pour fuir un danger imminent est jugé insuffisant, un état d'*hyperactivité* (qui est un niveau élevé de stress) peut apparaître. Cela signifie généralement qu'une personne ne peut pas apprécier correctement la situation afin d'évaluer les différentes possibilités d'action ou de fuite. Cela découle de la nécessité de prendre rapidement des décisions.

Pour juger correctement si une action (comme se précipiter vers l'entrée d'un long tunnel en cas d'incendie au lieu de chercher les issues de secours dans les parois du tunnel) est réellement une mauvaise décision, il faut tenir compte de la connaissance qu'a cette personne des options disponibles à différents stades, de sa connaissance de l'environnement et des contraintes générales liées à l'incendie. Toutefois, selon une interprétation plus cognitive du comportement social (ou de groupe), une peur intense en tant que telle n'entraîne pas une panique générale. Le point important est l'idée qu'ont les personnes au sujet

In stressful situations it is also very difficult to change the normal pattern of behaviour that is based upon previous experience and learning. To inform people that they are not in a normal situation it is vital that new information is presented in a clear and understandable way. Such new information facilitates the making of appropriate decisions of how to respond and behave in a critical situation. During anxiety a person's focus becomes very narrow – only allowing processing of the most obvious elements of the environment. (Also see the description of Wickens model in section 1.1). Keating's [23] practical implication is that in case of emergencies all communications should be simple, brief, and obvious. Complicated and numerous written instructions will not be effective. Special consideration must be given to the proper positioning of these signals, including the use of established architectural techniques. He also claims that during ambiguous situations people will mime the behaviour of the authority figures. It is important that those who are responsible for the fire evacuation have a proper education and a proper authority. There is a fair chance that people will tend to look at them and do what they say. The common consensus from the human factors work in the European project UPgrading TUNnels (UPTUN) [28] was that under such circumstances, information from one channel is not sufficient.

Stress does not always have to play a negative role. A moderate level of stress can even help result in an appropriate human response. People can be expected to be eager to minimize danger or to escape from a dangerous situation, e.g. in the mobilisation of extra energy or increased attention to handle a threatening situation. In terms of the Rasmussen terminology the person shows *knowledge based behaviour*. When the time is perceived to be too short for escaping an imminent danger, a state of *hyperactivity* - which is a high level of stress - can arise. This usually means that a person cannot make a correct judgement of the situation in order to evaluate different action alternatives or escape possibilities. This results from the necessity to make quick decisions.

Whether an action (such as running towards the entrance of a long tunnel during a fire instead of looking for emergency exits in the tunnel walls) really is a bad decision can only be properly judged against the individual's awareness of options available at different stages, his familiarity with the environment and the general constraints of the fire situation. However, according to a more cognitive interpretation of social (or group) behaviour, intense fear as such will not produce crowd panic. What matters are people's beliefs about escape routes. If they think the routes for escape (e.g. tunnel emergency exits) are open or accessible they



des itinéraires d'évacuation. Si elles estiment que les itinéraires d'évacuation (issues de secours du tunnel par exemple) sont ouverts ou accessibles, elles ne se précipitent pas. Il n'y a pas non plus de mouvement de panique si tous les itinéraires d'évacuation sont jugés totalement fermés (effondrement d'une mine par exemple). Pour qu'il y ait panique, les issues permettant d'échapper au danger doivent être considérées comme limitées ou en cours de fermeture. Dans ce cas, chaque personne peut être amenée à penser qu'elle ne peut s'enfuir que si elle se précipite avant les autres. Par conséquent, si tout le monde pense de la même manière, il peut y avoir un mouvement de panique. [49].

Ainsi, le type de comportement de fuite décrit rétrospectivement comme la panique peut être nécessaire si les personnes doivent avoir la possibilité de s'échapper. Les personnes peuvent être amenées dans une position où elles ne peuvent pas agir immédiatement ou de leur propre initiative car leur connaissance d'un danger potentiel est retardée et les options disponibles sont ainsi réduites jusqu'à ce qu'il soit trop tard. Lorsque des personnes qui essaient de fuir un bâtiment en feu se rassemblent à une seule sortie, leur comportement apparaît extrêmement irrationnel pour quelqu'un qui apprend après le mouvement de panique qu'il existait d'autres sorties. Pour l'acteur de la situation qui ne connaît pas l'existence de ces différentes possibilités, la tentative pour se frayer un passage vers la seule sortie disponible peut paraître un choix très logique par rapport à la mort dans l'incendie [52].

Par ailleurs, si une personne qui se trouve dans une situation comparable ne manifeste aucun stress, cela peut indiquer une forme de *déni* et de *réaction d'évitement* qui peut diminuer la perception du danger et de signes importants de danger. Des réactions semblables peuvent prendre la forme d'inattention, de perte de mémoire et de déformation des messages d'avertissement qui peuvent entraîner une *passivité* et l'incapacité à prendre des mesures d'auto-protection [24].

D'autres réactions humaines types dans une situation d'urgence sont un déni émotionnel de la situation d'urgence qui pourrait être considéré comme une sorte de réaction de choc générale. Cela peut également donner lieu à des distorsions de perception de la chronologie d'un événement, c'est-à-dire qu'il est perçu au ralenti.

Même lorsqu'il y a des signes de danger (comme de la fumée), les personnes peuvent ne pas être conscientes de la gravité de la situation (c'est-à-dire qu'elles peuvent ne pas percevoir une menace due à l'environnement suffisamment importante pour agir). Une étude expérimentale avec un véritable tunnel enfumé, réalisée par Boer [10] a montré que les personnes, ne sachant pas qu'elles participaient à une expérience où il pouvait y avoir de la fumée, restaient dans leur véhicule et attendaient pendant que le tunnel se remplissait de fumée.

will not stampede. Nor will panic occur if all escape routes are thought to be completely locked (as in a mine collapse). For panic to occur the exits from danger must be seen to be limited or closing. In that case, each individual may well think that he/she can escape only if he/she rushes ahead of the others. Consequently, if everyone thinks this way, panic may ensue [49].

Thus the kind of flight behaviour described retrospectively as panic may eventually be necessary if people are to have any chance of escape. People may be forced into a position where they are unable to act immediately or on their own initiative because their awareness of a potential danger is delayed and the options available are thereby reduced until it is too late. When people, attempting to escape from a burning building, pile up at a single exit their behaviour appears highly irrational to someone who learns after the panic that other exits were available. To the actor in the situation who does not recognise the existence of these alternatives, attempting to fight his way to the only exit available may seem a very logical choice as opposed to burning to death [52].

On the other hand if an individual in a similar situation shows no stress activation this may indicate a form of *denial* and *avoidance reaction* which can decrease the perception of danger and the perception of important signs of danger. Similar reactions can take the form of inattention, memory loss and actual distortion of the warning messages which may lead to *passivity* and not being able to take actions for self-protection [24].

Other typical human reactions in an emergency situation are an emotional denial of the emergency situation that could be looked upon as a kind of general shock reaction. This can also give rise to perceptual distortions in the timing of an event, i.e. that it is perceived in slow motion.

Even when there are indications of danger (such as smoke) people may not be conscious of the severity of the situation (i.e. people may not perceive a threat from the environment as strong as to take any actions). An experimental study with a real tunnel with smoke by Boer [10] found that people, not being aware of participating in an experiment where smoke would occur, stayed in their car and just waited while the tunnel filled with smoke.



FACTEURS HUMAINS ET SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS
DU POINT DE VUE DES USAGERS

La réaction humaine ne devient mieux adaptée aux circonstances que lorsque le danger devient évident, lorsqu'il est accepté, lorsque d'autres personnes commencent à réagir ou lorsqu'un message officiel leur indique la marche à suivre et est accepté par elles. Néanmoins, la réaction continue à dépendre de l'état d'activation et/ou de stress de la personne.

HUMAN FACTORS AND ROAD TUNNEL SAFETY
REGARDING USERS

The human response only becomes more appropriate to the circumstances when the danger becomes obvious, the danger is accepted, other people start to respond or there is an official message telling them what to do and is accepted by them. Notwithstanding this, the reaction still depends upon the person's state of activation and/or stress.

