

→ J.C. Sagot, S. Gomes,
Université de Technologie
de Belfort-Montbéliard (UTBM) (1)

(1) Laboratoire Systèmes et Transports
(EA n° 3317), Equipe d'ERGonomie
et de COncption des Systèmes (ERCOS),
90010 Belfort cedex.
e-mail : jean-claude.sagot@utbm.fr

Intégration des facteurs humains dans la démarche de conception

Une approche ergonomique

INTEGRATION OF HUMAN FACTORS IN DESIGN ERGONOMICS: AN ERGONOMIC APPROACH

The development of new technologies and technical progress have accelerated man/machine substitution. Work is disappearing in its human form. This technical progress has not avoided certain catastrophes occurring (Bhopal, Chernobyl, air transports, railway, etc.). These major disasters, both for man and for the environment, took place where reliability was at its highest level. The responsibility of the operator, of the human, the weak point in these systems, is of course quickly pointed out. Human error is thus incriminated. Of course, we do not speak of the accidents that have been avoided because of the intelligence of the operators. For us, the "key to success" of technical progress lies primarily in the adequacy between the performance of the new system, of the new product, etc. and those who have to control it. Systems, products, etc. should not be reduced to their technical characteristics alone; they also have to integrate the human dimension. Ergonomics, although not being the only discipline concerned by this necessary change, can contribute greatly. In this context this paper presents an example of the contribution of ergonomics to a design project, where the ergonomist placed man at the centre of the design process. This project concerns the design of the driver's cab of the future TGV (High Speed Train). The approach requires a detailed analysis of the work activity, namely driving, which has both directed the design process and promoted the co-operation and collaboration between those involved in the design.

● design ergonomics ● product design
● simulation/design ● high-speed train
● driver's cab

Le développement des technologies nouvelles et le progrès technique ont entraîné une accélération de la substitution hommes/machines. Le travail disparaît sous sa forme humaine. Ce progrès technique, n'a pas évité pour autant, que certaines catastrophes se produisent (Bhopal, Tchernobyl, transports aériens et ferroviaires,...). Ces grandes catastrophes, pour l'homme et pour l'environnement, ont eu lieu, de surcroît, là où la sûreté de fonctionnement est à son plus haut niveau. On insiste bien sûr volontiers sur la responsabilité de l'opérateur, de l'homme, maillon faible de ces systèmes. L'erreur humaine est ainsi incriminée. On ne parle pas, bien sûr, des accidents évités du fait de l'intelligence des opérateurs. La « clé du succès » du progrès technique réside, selon nous, dans l'adéquation entre les performances du nouveau système, du nouveau produit..., et ceux qui en auront la conduite. Le système, le produit..., ne doivent pas se résumer à leurs seules caractéristiques techniques, ils doivent également intégrer la dimension humaine. Dès lors, l'ergonomie, bien que n'étant pas la seule discipline concernée par cette nécessaire évolution, peut y apporter une large contribution. C'est dans ce contexte que se situe le présent travail, qui se propose de témoigner un exemple de contribution de l'ergonomie dans un projet de conception, où l'ergonome a su placer, et ceci tout au long du processus, l'homme, au centre de la démarche. Le projet en question porte sur la conception du poste de conduite des TGV futurs. L'approche insiste sur l'analyse fine de l'activité de travail - la conduite -, qui a réellement permis d'orienter le processus de conception et qui a favorisé la coopération et la collaboration entre les acteurs-métiers.

● ergonomie de conception ● conception de produits ● simulation/conception
● train à grande vitesse ● poste de conduite

Comme le rappelle Rifkin dans son livre « la fin du travail » [1], la civilisation, depuis ses débuts, s'est largement structurée autour du *concept de travail*. Du chasseur-cueilleur paléolithique au cultivateur néolithique, de l'artisan médiéval au travailleur à la chaîne contemporain, le travail a toujours été présent dans la vie quotidienne. Aujourd'hui, pour la première fois, le travail est souvent, pour ne pas dire systématiquement, éliminé, sous sa forme humaine, du processus de la production.

Pendant trente ans, la machine à produire a tourné à plein régime, le besoin de biens matériels alimentait la consommation, qui a permis aux entreprises de se développer, créant de l'emploi, qui a servi au financement de la protection sociale, générant un sentiment de sécurité qui a dynamisé la consommation, etc.

Aujourd'hui, ce modèle, décrit par la publication « L'entreprise au XXI^e Siècle » du Centre des jeunes dirigeants d'entreprise [2], n'est, toujours selon les auteurs, plus opérant. En effet, depuis le début des années 1980, les patrons et les dirigeants d'entreprise ont choisi, pour des raisons de productivité, de compétitivité, de parier sur des machines. Ainsi, avec les avancées de l'automatisation, un découplage s'est créé entre la croissance et l'emploi. Le développement des technologies nouvelles, le progrès technique a entraîné une *accélération de la substitution hommes/machines*. Perte, donc, pour l'homme de son métier, de sa fonction, à terme de son savoir-faire, voire de son emploi, car l'écran placé entre lui et sa machine, ne permet plus d'alimenter la connaissance qu'il avait de son métier [3].

Les technologies industrielles supplantent, d'un côté, le travail humain, lorsque celui-ci est pénible, dangereux..., et on ne peut que se réjouir de cette évolution. De l'autre, l'investissement inconsidéré de modernisation à des fins de productivité, supprime le besoin d'emplois traditionnels qualifiés et crée par contre, dans des proportions non comparables en terme de demandes, de nouveaux emplois hautement qualifiés qui restent souvent vacants, par manque de personnels compétents.

Rappelons enfin, que ce progrès technique, n'a pas évité pour autant, que certaines grandes catastrophes se produisent (Bhopal, Tchernobyl, transports aériens et ferroviaires,...). Ces grandes catastrophes, pour l'homme et pour l'environnement, mais aussi pour l'économie des entreprises, voire des pays concernés, ont eu lieu, de surcroît, là où la sûreté de fonctionnement est à son plus haut niveau, là où la sécurité n'a jamais été aussi bonne, ainsi que le rappelle Amalberti [4].

Dans leurs ouvrages traitant en détail les deux accidents du domaine nucléaire qui ont le plus défrayé la chronique : Three-Miles-Island et Tchernobyl, Bourgeois et coll. [5] et Llory [6] rendent compte des avis des experts qui concluent que : « l'homme représente le maillon faible des systèmes », qui sont, selon ces derniers, maîtrisés. Le facteur humain, *l'erreur humaine* est ainsi incriminée comme étant à l'origine de certaines de ces catastrophes. Les opérateurs sont ainsi partout considérés comme limiteurs de performance et de sécurité, et de ce fait, sont plus volontiers décrits en termes négatifs que positifs [4].

Bien sûr, on ne parle pas, ou peu souvent, comme le soulignent les auteurs cités, mais aussi bien d'autres [7 à 11], des catastrophes évitées grâce à l'intelligence, au bon sens ou à la présence d'esprit des opérateurs humains, utilisant leur expérience, parfois au prix de quelques transgressions du prescrit. En effet, placé dans une situation dégradée, de dysfonctionnements, de défaillances techniques..., l'opérateur réexamine, réétudie sa tâche principale prescrite, en y mettant tout son savoir-faire, toutes ses capacités de calcul, de raisonnement et d'interprétation, pour s'adapter à cette nouvelle situation. La plupart du temps, l'opérateur « rattrape » la situation, car il sait, en tant qu'expert, utiliser des « courts-circuits » (heuristiques) qui le dispensent de la longueur des procédures imposées [12]. Ces « courts-cir-

cuits » lui permettent ainsi de décomposer alors un problème complexe en problèmes plus simples, qu'il sait souvent résoudre.

Guillermain et Mazet, traitant de la tolérance aux erreurs, insistent ainsi sur la « sur-fiabilité humaine » : l'opérateur anticipe, prévient, confirme, récupère les déviations non prévues, il fait plus que ce que l'on attend de lui [13].

Ainsi, comme souligné par de nombreux travaux, contrairement à la machine, l'homme sait interpréter, estimer, émettre des jugements, prendre des décisions en vue de fournir une réponse appropriée aux conditions spécifiques, en temps, et en lieu [14 à 16].

Plaintes, accidents, voire catastrophes, maladies professionnelles, baisse de productivité, baisse de qualité, nombre élevé de pannes..., sont souvent les conséquences d'une conception et/ou d'organisations qui ne tiennent pas compte de la place de l'homme, de son rôle en tant qu'agent de fiabilité et de sécurité. Ceci renforce, sur la base de ce qui a été dit, en accord avec les travaux de Teiger [17] et de Freyssenet [18], le statut d'objet de recherche « du travail » lui-même, et donc l'intérêt, comme nous le verrons, de l'analyse de l'activité comme méthode de décryptage, permettant non pas de déchiffrer totalement l'énigme que constitue tout travail, mais de progresser dans sa compréhension [19].

Pour nous, seule une approche interdisciplinaire, associant sciences humaines et sciences de l'ingénieur, peut être de même de donner une réponse au défi posé, d'une meilleure prise en compte des facteurs humains dans la démarche de conception. La « clé du succès » du progrès technique réside ainsi, en particulier, dans l'adéquation entre les performances du nouveau système, du nouveau produit..., et ceux qui en auront la conduite. Le produit ne doit pas se résumer à ses caractéristiques techniques, il doit également intégrer la dimension humaine. La connaissance de l'homme, de ses comportements, doit être au cœur de la démarche de conception et ceci, dès l'analyse des besoins et se poursuivre tout au long du processus de conception [20].

Dès lors, l'ergonomie, bien que n'étant pas la seule discipline concernée, peut y apporter une large contribution. C'est dans ce contexte que se situe le présent travail

qui se propose de décrire la démarche ergonomique qui a été mise en œuvre dans le cadre de la conception du poste de conduite des trains à grandes vitesses (TGV) futurs. En complément de ce que nous avons déjà écrit sur le sujet [20], l'approche décrite ici, insiste surtout sur l'analyse fine de l'activité de travail : activités de conduite actuelle et future, qui a réellement permis à l'ergonome de conseiller le concepteur sur les attentes et besoins des futurs utilisateurs. L'ergonome, à travers la démarche décrite, a joué ainsi un rôle actif dans le projet de conception, un rôle d'acteur, un vrai partenaire, un réel co-concepteur dans le processus collectif de conception.

1. Nature de la demande

L'ouverture des frontières, le succès et l'intérêt grandissants que connaît la grande vitesse à travers le monde et la volonté de maintenir son rôle de leadership dans le domaine de la grande vitesse ferroviaire..., sont autant de facteurs qui ont contribué à ce qu'Alstom propose à la SNCF et aux pouvoirs publics un programme de recherche et de développement portant sur les trains à grande vitesse.

Le XXI^e Siècle devrait en effet voir apparaître un réseau européen de trains à grande vitesse (TGV). Ces trains se déplaceront à des vitesses avoisinant 350 km/h. Pour de telles performances, puissance, aérodynamisme, confort et sécurité devront encore progresser. Mais ces objectifs passent également par une augmentation du débit des lignes, une homogénéisation des systèmes de conduite de ces trains (pupitre, dispositifs informationnels, commandes,...), ce qui exige dès lors une attention toute particulière. Il devra en effet permettre aux conducteurs de répondre aux multiples exigences de leur tâche, *dans des conditions favorables à leur santé, à leur confort, à leur sécurité et à celles des passagers.*

Une approche systémique du projet, pris en charge par la division Transport d'Alstom (Belfort), a permis la constitution d'un groupe de travail pluridisciplinaire. Ce groupe de travail, qui comptait une vingtaine de personnes, réunissait des concepteurs d'Alstom-Transport (Belfort), le groupe Délégué à la Traction de la SNCF, six conducteurs appartenant à diff-

rents dépôts régionaux, ainsi que trois ergonomes chercheurs de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). Un programme d'étude comprenant plusieurs axes de recherche complémentaires a pu ainsi démarrer rapidement, s'intéressant en particulier à l'analyse de l'activité de conduite actuelle et future, aux facteurs de charge environnementale, ainsi qu'aux aspects dimensionnels du poste de conduite et de la cabine future, sur la base de la population ciblée.

Bien que ces différents axes de recherche aient été conduits simultanément pour l'intérêt de l'étude, nous n'évoquerons ici que les résultats issus de l'analyse de l'activité, qui ont constitué un cadre de référence aux différentes phases du processus de conception étudié.

2. Déroulement du projet

Comme nous l'avions déjà proposé avec d'autres auteurs, dans ce projet, l'intervention ergonomique s'est située très en amont dans le processus de conception [20 à 24]. Ainsi, l'ergonome a pu travailler avec l'ensemble des acteurs-métiers dès les premières phases de conception – *dès l'étude de faisabilité* –, qui permet d'envisager la problématique du projet et de juger ses chances de réussite ou d'échec. L'ergonome a également joué un rôle reconnu de conseiller au cours des *études préliminaires* qui ont suivi, dédiées à la recherche de solutions et traditionnellement réservées aux seuls concepteurs. Et enfin, toujours en étroite collaboration avec le groupe projet, l'ergonome a pu accompagner les concepteurs aux cours des *études détaillées*, où il a pu effectuer, avec l'aide précieuse des conducteurs, des tests sur des dispositifs prototypes. Nous retrouvons ainsi les phases clés du processus de conception, dans lesquelles l'intervention ergonomique a pu être conduite [20].

Mais avant de traduire la demande mise en œuvre et les résultats obtenus, nous tenons à insister dans le cadre d'un travail de conception, sur la nécessité de bien définir, dès le début du projet, les objectifs de l'étude avec les responsables du projet. Ainsi, concernant notre étude, cette analyse a été conduite avant l'étude de faisabilité, dans le cadre de l'analyse de la demande, où nous avons tenu, en accord avec les travaux d'Amalberti [25], à « affi-

cher » une *philosophie générale du couplage homme-machine*. Ce couplage, sur la base de ce que nous avons écrit précédemment, laisse le conducteur « responsable aux commandes », mettant ainsi l'accent sur son rôle actif en termes de maîtrise de son travail, de compétence et de capacité d'adaptation. Cette « sorte de charte », selon les termes utilisés par Amalberti [25], a été acceptée par l'ensemble des acteurs-métiers, et a fait l'objet d'un suivi et d'une évaluation, à la grande satisfaction des conducteurs, pendant toute la durée du cycle de conception.

2.1. Etude de faisabilité : définition du champ des activités futures souhaitables

Il s'agit de la première étape d'analyse, de recherche d'informations, où l'ergonome va pouvoir, à un stade précoce du processus de conception, où tout est possible, aider le concepteur, en particulier la maîtrise d'ouvrage, à élaborer ses premières orientations de conception. Sachant que la conception d'un produit consiste rarement en la création d'un produit entièrement nouveau, mais plutôt d'une évolution plus ou moins importante d'un produit existant, notre travail, en tant qu'ergonome, a consisté à élaborer un diagnostic ergonomique complet des produits existants (TGV Paris-Sud-Est (noté TGV PSE), TGV Atlantique (TGV A)), où un regard tout particulier était porté sur l'analyse de l'activité de conduite. L'analyse de l'activité, à ce moment de la conception, était le résultat d'une coopération étroite entre les conducteurs volontaires pour cette étude et les ergonomes. Cette analyse fine de l'activité existante visait, à rendre compte au groupe projet, une *délimitation progressive des formes possibles de l'activité future*, afin de fournir, à l'ensemble des acteurs-métiers, une évaluation plus large concernant les conséquences de leur choix de conception [26].

En accord avec les travaux de Suchman [27], soulignant que l'activité d'un opérateur n'est pas prédéterminée, mais qu'elle se construit progressivement au gré des circonstances particulières, nous avons abordé l'activité de conduite en situations réelles en posant les mêmes hypothèses de travail que celles formulées par Filippi et coll. [28], à savoir :

- **les actions sont significatives pour les conducteurs** ; ils peuvent les raconter et les commenter eux-mêmes. Ainsi, les commentaires du conducteur sur

le déroulement de ses actions et communications étaient au cœur de notre analyse de l'activité ;

- **les actions sont sociales**, elles comprennent les communications car un conducteur n'est pas réellement seul ; il est en interaction avec d'autres personnes : le régulateur, le contrôleur, ... Il est donc nécessaire d'enregistrer les communications verbales si l'on veut comprendre l'interaction avec les autres opérateurs ;

- **les actions s'organisent dynamiquement**, c'est-à-dire que les actions ne sont pas isolées mais sont incluses dans des unités significatives pour le conducteur et s'enchaînent en un tout cohérent. C'est pourquoi, nous avons privilégié les observations de l'activité menée en continu ;

- **les actions s'accompagnent de phénomènes cognitifs**, elles sont liées aux raisonnements et aux prises de décisions des conducteurs. C'est pourquoi l'analyse devait englober les actions, les communications, les interprétations voire, des sentiments.

Dès lors, pour aborder l'ensemble de ces points, fondamentaux pour avoir une connaissance précise de l'activité de conduite, les méthodes et analyses suivantes ont été utilisées [29] :

- **des observations et analyses** à partir d'enregistrements vidéographiques, effectués en cabine, permettant de recueillir les actions et les communications ;

- **des verbalisations à partir de ces mêmes films et des verbalisations par scénarios et questionnaires**, où la parole du conducteur était essentielle pour bien comprendre ses actions.

Les observations ont été obtenues à partir de 12 accompagnements enregistrés sur bandes vidéos ; 6 conducteurs, qui faisaient partie du groupe projet avec d'autres (3 pour le TGV PSE et 3 pour le TGV A), ont accepté d'être enregistrés au cours de deux trajets. Au cours de ces trajets, quatre caméras furent disposées en cabine de conduite permettant l'enregistrement simultané de l'environnement extérieur (voie ferrée et signalisation), de son visage (appréciation de la direction des regards), des postures et gestuelles du conducteur (vue de profil), et enfin du tachymètre et de sa zone proche.

Le dépouillement des données concernant la description des comportements humains en situation de conduite fut facilité par la « compression » des quatre bandes vidéographiques en une seule et

par l'utilisation du logiciel informatique KRONOS®, logiciel d'aide au recueil et à l'analyse systématique de données d'observation [30].

Les résultats obtenus à partir des films ont été essentiellement de deux types :

■ ■ *La possible quantification de certaines activités* (visuelle, gestuelle, posturale,...) des conducteurs en fonction du type de lignes (ligne grande vitesse (LGV), ligne classique (LC),...) des situations de conduite et des TGV. Ainsi, l'analyse de la direction des regards a permis de relever les sources d'information importantes pour la conduite et d'approcher la stratégie exploratoire des conducteurs. Les conducteurs passent par exemple en moyenne 85 % de leur temps de conduite à regarder l'environnement extérieur, plus précisément « la voie ». Cette source d'information est l'élément central et le point de départ de toute stratégie exploratoire. Nous constatons également que ponctuellement, les conducteurs prélèvent des informations sur le pupitre essentiellement sur le tachymètre et/ou le cab-signal mais aussi sur la feuille de route, les voltmètres et ampèremètres. Chacune de ces informations peut avoir plusieurs significations, elles peuvent être interprétées de manière différente selon les objectifs des conducteurs à un instant donné. Elles leur permettent de se localiser, d'effectuer des diagnostics, de définir des stratégies et surtout, de pouvoir anticiper.

■ ■ *La mise en évidence de différences inter-individuelles importantes* dans la réalisation de la tâche principale de régulation de la vitesse concernant l'utilisation du système dit de *vitesse imposée* (VI : vitesse imposée au système par le conducteur), le mode de freinage utilisé (électrique ou électro-pneumatique). La VI est une aide à la conduite permettant de respecter la vitesse limite, elle agit comme une butée et son utilisation est plus ou moins appréciée. Ainsi, l'ensemble des conducteurs effectuant les trajets sur le TGV A n'utilisent jamais cette méthode de conduite, contrairement à ceux du TGV PSE qui l'utilisent entre 93 % et 100 % du temps sur l'ensemble du parcours. Mentionnons que cette méthode de conduite dite « automatique » engendre des actions différentes. Ainsi, les conducteurs qui n'utilisent pas le mode VI vont devoir davantage se servir du manipulateur de traction freinage. En revanche, les autres conducteurs, utilisant le mode VI, devront souvent s'occuper du réglage de

la vitesse imposée, qui change souvent tout au long du trajet. Quant au mode de freinage utilisé, ce dernier dépend également de l'utilisation au non de la VI, mais aussi du « style » de conduite que va rechercher le conducteur en fonction des situations de conduite rencontrées : travaux, retard, mauvaises conditions météorologiques,...

Concernant les verbalisations réalisées à partir des films et/ou de scénarios, elles ont réellement permis d'aborder dans les détails l'activité de régulation de la vitesse. Ainsi, à titre d'exemple et afin de mieux comprendre les résultats précédents concernant l'utilisation ou non du mode de conduite VI, les conducteurs du TGV PSE défendent ce mode de conduite car il leur permet de ne pas dépasser les vitesses autorisées notamment dans les pentes. En effet, le profil des lignes Paris-Sud-Est étant beaucoup plus accidenté (nombreuses et fortes déclivités) que celui des lignes Paris-Sud-Ouest, les conducteurs du TGV PSE reconnaissent s'aider de la VI pour respecter plus facilement les consignes de conduite. Par contre, la VI pour les conducteurs du TGV A, bien qu'ils reconnaissent l'aide apportée à la conduite, préfèrent conduire manuellement, compte tenu du profil de lignes et du plaisir recherché dans la réalisation de leur tâche. Ces derniers mentionnent toutefois l'utiliser en cas de mauvaises conditions météorologiques (brouillard, pluie,...), de fatigue, voire de moins bonnes connaissances de ligne.

Pour résumer, les verbalisations ont permis d'aborder l'activité de régulation de la vitesse sous l'angle de deux aspects importants que sont *la connaissance de lignes et les stratégies de régulation expertes*. Ainsi, l'analyse met en évidence, en accord avec les travaux de Lamonde [31], *une organisation des stratégies de régulation de la vitesse étroitement liées à l'expertise de la ligne, la connaissance de lignes faisant partie intégrante de procédures d'actions contextualisées et de schémas de raisonnement*. Sa prise en compte permet une optimisation de la conduite (planification de l'activité de régulation de la vitesse, gestion des différentes sous-tâches ponctuelles), donc une performance accrue et une réduction non négligeable de la charge mentale [32].

Le rôle fondamental des connaissances de lignes dans la régulation de la vitesse et leurs extrêmes variétés (aussi bien du point de vue de la nature que de la quan-

tité d'informations), mettent en évidence l'intérêt d'une aide à la représentation, à la mémorisation et à l'anticipation. Cette aide peut être fournie par un support permettant de structurer ce vaste champ informationnel, sous la forme de cartographies ; les verbalisations, ainsi que l'étude des différents schémas réalisés par des conducteurs novices et experts confirment l'hypothèse de l'existence d'une représentation sous forme de « carte cognitive » [32]. Les *figures 1 et 2* qui suivent, illustrent respectivement, pour deux trajets différents, un exemple de feuille de route précisant la tâche à effectuer, et un exemple de représentation, de schéma, réalisé par un conducteur pour s'aider à réaliser sa tâche.

Ce concept de « carte cognitive » traduit bien la représentation mentale que se construit un conducteur concernant en particulier, un espace donné, ainsi qu'en témoigne la figure 2, ceci nous faisant penser à la représentation spatiale que nous pouvons nous-même nous construire entre deux points que nous connaissons bien, telle que celle du trajet nous séparant de notre domicile à notre lieu de travail, par exemple.

Ainsi, *la connaissance de lignes demeure pour les conducteurs absolument indispensable* pour leurs activités de conduite. Sans ces connaissances, les conducteurs se voient dans l'obligation d'utiliser d'autres modes opératoires et d'autres stratégies de conduite qui apparaissent moins efficaces. Les conducteurs intègrent ces connaissances de lignes à la fois formelles : signalisation, vitesses limites..., et informelles : tunnels, ponts, habitations..., afin d'anticiper pour pouvoir réguler la vitesse et respecter ainsi les contraintes horaires. L'hypothèse d'une organisation des connaissances de lignes selon un format linéaire, suivant le déroulement des trajets, a été défendue et retenue par le groupe projet. Cette hypothèse constitue un support valide de présentation de l'information en cabine compatible avec les représentations des conducteurs.

D'autre part, sur la base de l'ensemble des résultats, mais aussi de verbalisations spécifiques concernant l'évolution de la tâche et de l'activité de conduite en fonction des différentes situations possibles de conduite existantes, futures et dégradées, nous avons pu également :

- **constituer une typologie et une décomposition hiérarchique** des tâches (suppression ou modification de certaines tâches en fonction des situations), >>

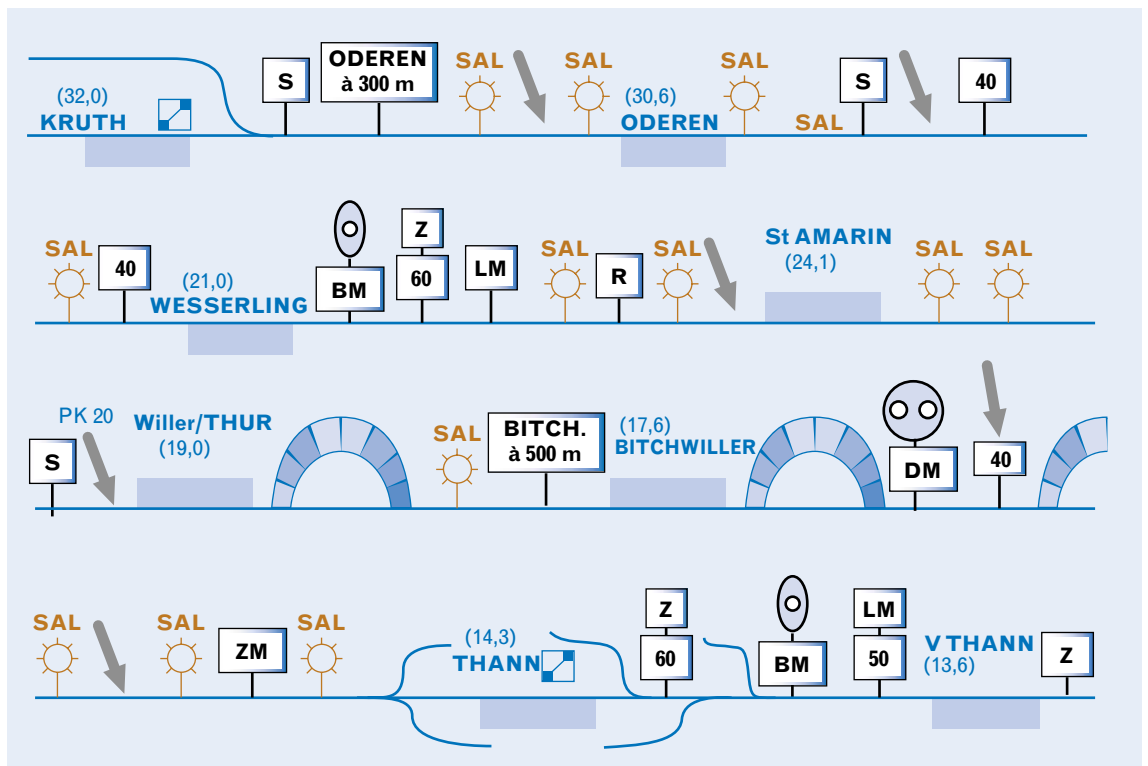
FICHE - TRAIN

Service au : 25/09/88		VOYAGEURS		TRAIN : 5253
VALABLE DU : 25/09/88		FH 5152 5155		
AU : 27/05/89		Fiche n° 1/1		
code cat. stat.	indice ou code comp	série de réf. machine	tonnage	renseign. complément
EXB	AUTOR	RGP1	1REM	
REGIME : Q(*)		De LYON PART DIEU		
		BV		
		A CHAMBERY CHALLES LES EAUX		
		BV		

Vitesse limitée	Point kilométr.	Vitesse rél.	Établissements	Horaires	M. reg pho	Canal radio
---	507,5	---	LYON PART DIEU ----- (IREM)	18:57		1
90		VL				
---	510,2	---	LYON GUILLOTIÈRE	19:00		
---	514,2	---	POSTE 1	19:01		
130		109	BIF. MOULIN A.V. D			
---	4,0	---	POSTE 4 (BIF)	19:01 +		
140						
9,2			VENISSIEUX POSTE 1 (PA) D	19:04 +		4
	21,8		HEYRIEUX PL D	19:11 +		
	30,4		LA VERPILLIÈRE PL	19:16	1	
	41,6		BOUGOIN JALLIEU	19:22 +	1	
	50,6		CESSIEU PL D	19:27 +		

Fig. 1. Extrait d'une fiche train (feuille de route) définissant la tâche du conducteur pour un trajet donné – dans cet exemple : Lyon-Part-Dieu à Chambéry-Challes-les-Eaux
- Extract of a train card defining the task of the train driver for a given journey – in this example: from "Lyon-Part-Dieu" to "Chambéry-Challes-les-Eaux" railway station

Fig. 2. Exemple de schéma réalisé par un conducteur pour s'aider à effectuer sa tâche sur une ligne classique
- Example of a diagram defined by a driver to help him carry out his task on a conventional line



- analyser les différents systèmes de transmission de l'information et de contrôle de vitesse (les besoins informationnels techniques, évolutions et modifications des stratégies de conduite),
- mieux connaître les objectifs que se fixent les conducteurs, afin de réaliser correctement leur tâche.

Ces résultats sur l'analyse fine de l'activité de conduite, articulés bien sûr avec les facteurs économiques techniques et sociaux auxquels les conducteurs sont confrontés, ont permis de bien identifier les éléments sources de variabilité et susceptibles de générer des incidents, de recenser les actions types [33], de mettre en évidence les carences théoriques [34], l'inadaptabilité de certains outils, les dysfonctionnements possibles, leurs causes et leurs conséquences.

C'est sur la base de ces connaissances qu'il a été possible, avec le groupe projet, d'approcher, ce que nous avons appelé [20], à l'appui des travaux de Daniellou [26], le « *champ des activités futures souhaitables* », souhaitables en terme de sécurité, de santé, de confort et d'efficacité. C'est en effet, autour de cette définition qu'une réflexion a pu être conduite avec le groupe projet sur l'activité de conduite future, approche qui a permis au groupe d'élaborer les premières orientations de conception du poste de conduite futur. Mentionnons, que cette notion « d'activité future souhaitable », a été préférée par le groupe projet, à celle proposée par Daniellou [26] qui parle « d'activités futures possibles ». En effet, le groupe projet a souhaité à travers cette notion, se placer dans le cadre d'une démarche constructiviste, car comme le soulignent Pomian et coll. [35], l'enjeu est bien le caractère opérationnel des solutions que la démarche ergonomique participe à élaborer, justifie et propose de mettre en place.

Cette réflexion sur les activités futures souhaitables comportait un certain nombre de points essentiels, parmi lesquels nous pouvons citer :

- ■ *La place à assigner à l'homme dans le futur système homme-machine ?* La préservation du degré d'initiative et l'accroissement des responsabilités du conducteur ont été privilégiés.
- ■ *La répartition des tâches homme-machine ?* L'allocation statique au système d'un certain nombre de sous-tâches

annexes, sources de surcharge et d'erreurs humaines, a été proposée, en accord avec les travaux de Millot [36].

■ ■ *L'aide à apporter à l'activité de conduite en terme d'assistance informationnelle* (à la connaissance de ligne, au traitement des dysfonctionnements, à la régulation de la vitesse) *et de filtrage d'informations perturbatrices* (sous forme d'un masquage temporaire, d'une mise en attente de l'information et non d'une suppression) ; cette aide prend tout son sens, compte tenu de l'allongement des étapes de conduite que connaîtront les conducteurs et dès lors, l'accroissement des connaissances de lignes qui en résultera.

■ ■ *Les modifications à apporter à l'outil principal de régulation de la vitesse* compte tenu des nouveaux matériels existants ?

Précisons que cette description des activités futures, qui a permis de fournir à l'ensemble des acteurs une évaluation plus large concernant les conséquences de leur choix de conception [26], n'a jamais cessé de s'enrichir et de se préciser au cours de l'avancement du projet, et ceci, grâce à une information progressive et continue des différents intervenants sur les états de définition successifs du futur produit. Indiquons enfin qu'à travers la définition du champ des activités futures souhaitables, tous les aspects n'ont pas été et ne devaient pas être formalisés. En effet, il fallait ainsi laisser, comme le suggère Daniellou [26], des marges de manoeuvre aux conducteurs qui doivent jouer un rôle déterminant pour la prise en compte des aspects difficiles voire impossibles à formaliser [37].

Il a découlé de ces analyses, conduites très tôt dans le processus, un ensemble de résultats particulièrement précieux, qui a aidé le concepteur à élaborer ses premières orientations de conception. Ces orientations se sont traduites par l'élaboration d'un cahier des charges où en tant qu'ergonome, nous avons pu avec le groupe projet, faire un ensemble de recommandations générales et spécifiques, concernant en particulier :

■ ■ *L'interface principale de régulation de la vitesse* (notée IHM : interface homme-machine), cette dernière regroupant, en particulier, les besoins informationnels fondamentaux de la conduite (vitesse réelle du train, vitesse imposée, vitesse maximale autorisée en fonction du type de ligne et de la signalisation,...) ;

■ ■ *La conception et l'intégration de nouveaux dispositifs de commande* nécessaires à la tâche de régulation de la vitesse.

Nous nous centrerons, dans les parties qui vont suivre, sur cette IHM de régulation de la vitesse.

2.2. Etudes préliminaires : définition de pré-concepts et choix d'un concept

Dédiée à la recherche de solutions, cette phase de conception préliminaire permet d'aboutir à différents avant-projets ou « pré-concepts » en tenant compte des spécifications du cahier des charges et de la définition du champ des activités futures souhaitables validée [20]. Elle permet de matérialiser les premières réponses aux besoins identifiés.

Durant cette étape, traditionnellement réservée aux seuls concepteurs, l'ergonome joue maintenant un rôle reconnu de conseiller, et participe à ce titre à la définition des pré-concepts en faisant part de ses analyses touchant la fonction « usage » des différents pré-concepts en cours d'étude. Son analyse repose en partie, à ce stade, sur *l'élaboration de scénarios destinés à reconstituer des situations d'activité fictives mais réalistes* [38], en accord avec la définition du champ des activités futures souhaitables. La mise en scène de scénarios à partir de la simulation, permet à l'ergonome de guider le concepteur dans ses choix techniques. *Cette simulation théorique demeure une méthode prospective très efficace* [38 à 40]. Elle permet en effet d'appréhender les situations dans lesquelles les opérateurs vont se trouver, et de préciser ainsi, les conséquences possibles sur leur sécurité, leur santé et leur confort, conséquences qui découleraient des choix techniques et organisationnels [41].

Le support de ces analyses, reste à ce stade du projet, – *le plan*, voire de plus en plus, avec l'apparition grandissante de logiciels en conception assistée par ordinateur (CAO), – *la maquette virtuelle*. Cette dernière demeure aujourd'hui la référence pour tous les membres du groupe projet, car elle permet de bien partager les informations, en respectant les « vues métiers ». Ainsi, dès l'avant-projet, des maquettes approximatives en CAO des différents pré-concepts vont pouvoir servir de plates-formes de travail communes. Grâce à la maquette virtuelle, les pré-concepts peuvent vivre et évoluer.

Elle va constituer le support qui va aider le groupe projet, en collaboration étroite avec les opérateurs ciblés, à sélectionner les meilleurs pré-concepts. C'est au cours de revues de projet que ces derniers vont être sélectionnés, souvent sur « grand écran » ; chaque acteur-métier ayant au préalable mené et confronté ses simulations, afin de valider ses choix ergonomiques, techniques, esthétiques,...

Nous recommandons, en tant qu'ergonome, que ces meilleurs pré-concepts fassent l'objet de maquettes physiques, même si les concepteurs sont souvent réticents, pour des raisons de coûts et de délais. La maquette virtuelle remplace pour partie (selon eux), à ce stade de la conception, la maquette physique, ce qui est faux (selon nous), du point de vue du facteur humain.

Cette maquette physique, même rudimentaire, est indispensable pour l'ergonome [42], pourvu qu'elle ait des formes réalistes pour les opérateurs potentiels, et qu'elle soit suffisamment interactive, de façon à réaliser par eux-mêmes, des scénarios d'activités suffisamment représentatifs des activités futures souhaitables.

Ainsi, l'ergonome va pouvoir dès lors vérifier, et ceci avec des opérateurs ciblés représentatifs, l'ensemble des hypothèses formulées et en particulier, celles portant sur *certaines conditions de réalisation des activités futures souhaitables*. L'ergonome va pouvoir réellement mettre en scène ses scénarios, qu'il avait jusqu'à présent simulé de façon théorique.

Dans le cadre du poste de conduite du TGV futur, au cours de la phase préliminaire de conception, plusieurs pré-concepts d'IHM liés à la régulation de la vitesse ont été proposés par le groupe projet, sur la base des spécifications du cahier des charges et de la définition du champ des activités futures souhaitables. Cette IHM se décompose en deux parties :

- **une partie matérielle** : la commande traction-freinage,
- **une partie logicielle**, correspondant aux informations qui lui sont associées.

Plusieurs de ces pré-concepts ont fait d'abord l'objet de maquettes virtuelles, sur lesquelles des simulations théoriques ont pu être conduites permettant de mettre en scène des scénarios reconstituant certaines conditions d'exercice des activités futures souhaitables. Ces maquettes virtuelles ont réellement facilité le dialogue entre les dif-



Photo UTEBM

Fig. 3. Plate-forme d'évaluation en vue d'étudier et de valider les différents pré-concepts d'IHM retenus (d'après [20])

- Assessment system to study and validate the different MMI preconcepts retained (according to bibliographical ref. [20])

férents acteurs, et en particulier avec les conducteurs. Deux pré-concepts d'IHM ont été retenus par le groupe projet, validés par les conducteurs. Ces pré-concepts ont fait l'objet par la suite de maquettes physiques interactives, grâce à des logiciels de prototypage rapide, dont le logiciel VAPS® (logiciel de prototypage rapide d'interfaces) dont un des points forts est qu'une fois l'interface réalisée dans l'environnement, il est possible d'engendrer le prototype opérationnel correspondant, sur n'importe quel type de machine.

Nous avons pu ainsi réaliser une « *plate-forme d'évaluation* » qui regroupait l'ensemble des dispositifs relatifs à la régulation de la vitesse (commande traction freinage associée à l'interface visuelle d'aide à la conduite, alarmes sonores,...), l'environnement visuel de la voie (vidéodisque), l'environnement sonore cabine,... Cette

plate-forme d'évaluation (*fig. 3*) était équipée de plusieurs calculateurs permettant de reproduire le comportement réel d'une rame TGV, ce qui nous permettait de réaliser, en présence de conducteurs, des simulations en vue d'évaluer, de valider les deux pré-concepts d'IHM proposés [20].

Les six conducteurs, déjà étudiés sur le terrain, experts en conduite TGV, ont participé à ces tests d'évaluation. Au cours de ces tests, nous simulations :

- **des scénarios de conduite imposée,**
- complétés par **des scénarios reproduisant certaines conditions d'exercice des activités futures souhaitables**. Les scénarios de conduite imposée devaient permettre d'évaluer les pré-concepts dans des cas extrêmes d'utilisation (arrêt d'urgence, très forte accélération,...). Grâce à la simulation, nous avons pu, au fur et à mesure des résultats obtenus, proposer

des modifications aux pré-concepts testés. Nous avons pu valider par étapes successives la faisabilité et le niveau d'intégration des solutions selon leurs aspects fonctionnel et opérationnel [39].

Une place privilégiée a été accordée aux conducteurs, permettant ainsi d'aboutir à la définition d'un concept d'IHM liée, à la régulation de la vitesse, *représentant non pas la solution unique, mais la solution acceptable pour le groupe projet*, qu'il convenait d'étudier de façon détaillée lors de la phase de conception qui suivait.

2.3. Etudes détaillées : validation du produit prototype

Il s'agit au cours de cette phase de conception de passer d'une maquette, souvent interactive, qui démontre la faisabilité, à un *produit prototype*. Ce produit prototype valide les attentes du cahier des charges, en particulier pour l'ergonome, l'ensemble des recommandations ergonomiques : générales et spécifiques.

Le groupe projet, au cours de cette phase de conception, s'intéresse maintenant à *l'optimisation du concept retenu* en vue de pouvoir réaliser un prototype qui intégrera l'ensemble des critères liés à sa réalisation (principes techniques, choix des matériaux, fabrication, assemblage,...) [40].

Du point de vue méthodologique, le protocole que nous avons mis en œuvre pour répondre à ces différentes questions s'appuie sur deux approches complémentaires :

■ ■ *l'évaluation analytique*. De manière générale, cette première approche, basée pour l'essentiel sur les techniques d'entretien et de verbalisation, permettait d'apprécier la satisfaction du besoin informationnel, la validité des principes fonctionnels retenus et les préférences des conducteurs.

■ ■ *l'évaluation empirique*. Cette seconde approche permettait quant à elle d'évaluer de manière objective, un ensemble de critères tels que : l'efficacité, l'utilisabilité, la performance, l'adaptabilité, etc.

Enfin, rappelons que l'évaluation empirique que nous nous sommes proposés de faire, s'appuyait sur la mise en œuvre d'une « plate-forme de simulation », plus performante que celle évoquée au cours des études préliminaires et réalisée au sein de l'équipe d'ERgonomie et de CONception des Systèmes (SeT-ERCOS), pour permettre le relevé des traces des

simulations ainsi que des observations systématiques (caméras vidéographiques).

Douze conducteurs au total : les six conducteurs du groupe projet complétés par six conducteurs moins experts de la conduite grande vitesse, sont venus effectuer sur la plate-forme de simulation, qualifiée de « simulateur d'étude et de conception », des évaluations qui se sont déroulées en trois parties :

■ ■ *Pré-expérimentation*, qui a servi de phase de familiarisation et qui nous a permis d'effectuer les ajustements de l'outil de simulation.

■ ■ *Vérification de l'adéquation tâche/moyens de réalisation de la tâche*, au cours de laquelle les conducteurs devaient effectuer des scénarios de type imposés.

■ ■ *Évaluation globale en contexte de conduite simulée*, où cette fois les conducteurs devaient réaliser des scénarios dits « de conduite libre », en respectant les consignes qui leur sont habituellement données sur le terrain.

Rappelons, en accord avec Theureau [43], que les études sur de tels simulateurs ont pour objectif surtout d'approfondir et de mieux valider les phénomènes cognitifs présents en situation naturelle. La pertinence et la validité de ces études sur simulateur dépendent donc directement de celles réalisées sur le terrain. Il est bien sûr évident que l'étude des situations simulées n'a de sens que si :

- elles sont faites en relation avec des analyses en situation réelle et non à partir d'une représentation symbolique de la tâche et des considérations générales issues de la psychologie expérimentale,
- elles ont un objectif modeste, tant du point de vue théorique que pratique.

L'originalité du concept retenu, concernant l'IHM de régulation de la vitesse, réside dans sa philosophie de conception cherchant à fournir, sur la base de l'étude terrain, trois types d'informations aux conducteurs à savoir :

- **ce qu'il doit faire**, par exemple, vitesse limite en fonction du lieu géographique (« le prescrit »),
- **ce qu'il fait**, c'est-à-dire ce qu'il demande à la machine (« le demandé »), et
- **ce que la machine réalise** en fonction de son état fonctionnel (« le réalisé »).

Ainsi, le conducteur peut détecter à tout moment un écart entre ce qu'il doit faire,

ce qu'il demande et ce qui est réalisé, rechercher les causes de ces écarts et réagir en conséquence. Ces causes peuvent être d'origines multiples :

- soit dues à des pannes, dans ce cas la zone centrale de l'IHM, fournira le complément d'informations nécessaires,
- soit dues à des causes externes (patinage du fait de mauvaises conditions climatiques,...),
- soit dues à des causes spécifiques liées au conducteur (fatigue, inattention...).
- etc.

L'objectif visé avec la conception de cette interface était la nécessité de fournir au conducteur, sur la base de l'étude de l'activité de conduite existante, un *système d'aide à l'anticipation*. En effet, nous avons souligné qu'une part importante de l'activité de conduite consistait à anticiper les actions à entreprendre en fonction des informations prélevées sur la voie et de la connaissance de ligne.

Grâce à la présentation des écarts entre « le prescrit », « le demandé » et « le réalisé » fournie par l'interface, les conducteurs disposent d'indicateurs qui jouent le rôle de prédicteur, permettant une prise de décision précoce, rendue indispensable par les temps d'inertie des réactions des matériels roulants.

Les *figures 4 et 5* montrent, à titre indicatif, les écarts observés entre vitesse prescrite et vitesse réelle, chez deux conducteurs (un novice et un expert de la grande vitesse) lors d'un scénario de type imposé, réalisé sur simulateur.

Tous conducteurs et tous scénarios confondus, il ressort, ainsi qu'en témoignent les figures 4 et 5, que les conducteurs étudiés respectent bien « le prescrit » et que les écarts obtenus entre vitesse prescrite et vitesse réelle sont très faibles, de l'avis des experts de la conduite, compte tenu :

- de la sévérité des scénarios de conduite imposée,
- des performances même des matériels roulants : inertie de la rame...,
- et des objectifs recherchés par les conducteurs eux-mêmes (confort des passagers, préservation du matériel,...).

Ces résultats, obtenus dans des conditions particulières, pour ne pas dire exceptionnelles, puisque les conducteurs testés ne connaissaient pas les lignes et les matériels roulants qu'ils allaient utiliser, ont confirmé la pertinence de l'IHM déve-

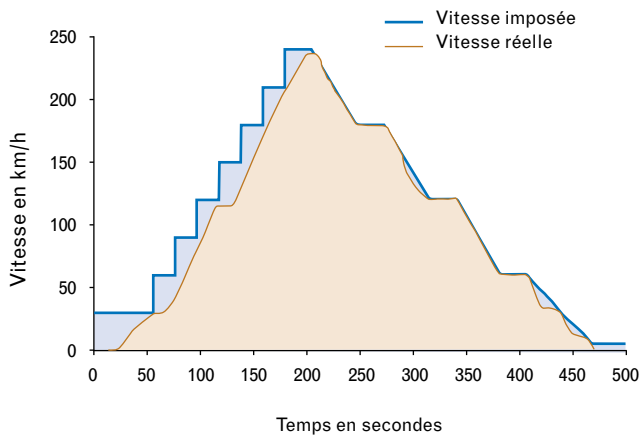


Fig. 4. Courbes de vitesse réelle et imposée obtenues chez un conducteur novice lors d'un scénario de type imposé (d'après [39])

- Curves showing the real and compulsory speed of the train obtained with a novice driver during an imposed type scenario (according to ref. [39])

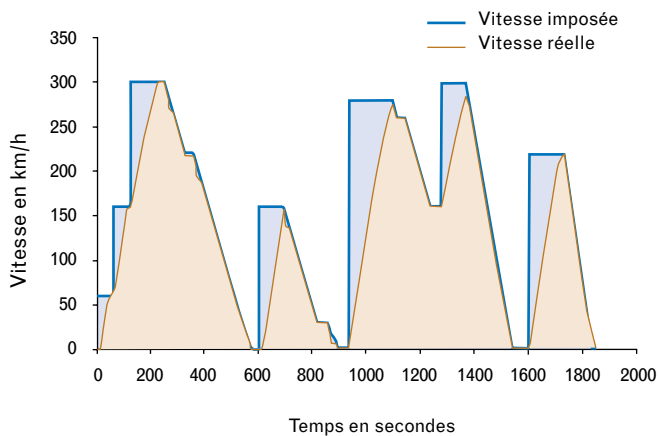


Fig. 5. Courbes de vitesse réelle et imposée obtenues chez un conducteur expert lors d'un scénario de type imposé (d'après [39])

- Curves showing the real and compulsory speed of the train obtained with an expert driver during an imposed type scenario (according to ref. [39])

loppée, et confirmé ainsi l'intérêt de disposer d'une aide à la conduite. Rappelons que de façon générale, tous secteurs d'activité confondus, la nécessité de concevoir des aides à l'anticipation est maintes fois mise en avant, notamment dans les situations de contrôle de processus [44].

De nombreux travaux s'accordent pour dire que les capacités de traitement de l'information de l'opérateur humain sont limitées. Depuis la théorie du canal unique, partant de l'hypothèse que les informations perçues sont traitées en série par un seul canal, certains auteurs comme

Wickens [45] ont introduit l'idée d'un système de traitement de l'information à ressources multiples, dirigé par une sorte de superviseur, qui répartirait ces ressources sur telle ou telle tâche en fonction des objectifs du sujet.

Cette approche des capacités attentionnelles nous semble bien adaptée à la situation de conduite de train. Le conducteur est amené, en effet, à hiérarchiser le traitement des informations (qui proviennent de sources diverses : voie, cabine), en adéquation avec des buts et des sous-but qui évoluent en fonction du moment de

réalisation de la tâche et de l'évolution des conditions de réalisation.

Ceci implique que l'activité de conduite de train nécessite pour les conducteurs de partager leur attention et que la conception des nouveaux dispositifs doit tenir compte des capacités de traitement de l'opérateur.

Néanmoins, on sait par ailleurs [46] qu'il existe deux types de processus de traitements différents dont les exigences au niveau des astreintes sont très différentes. Les processus automatiques, peu consom-

mateurs de capacité attentionnelle, sont opposés aux processus contrôlés, qui nécessitent un plus grand investissement de la part du sujet. L'utilisation de l'un ou l'autre de ces processus dépend en grande partie de l'expérience du sujet.

Il est évident que les conducteurs effectuent un certain nombre d'actions sans un investissement important de l'attention, ce qui leur permet de répartir la part d'attention disponible sur les informations nécessaires pour mener à bien leur mission, en fonction des sous-butts qu'ils se fixent et qu'ils hiérarchisent grâce à leur expérience.

On notera d'ailleurs que cela peut être un avantage, mais également dans certains cas, un préjudice pour la sécurité. C'est le cas par exemple de la commande VACMA, couramment appelée « homme-mort », que le conducteur peut très bien contrôler sans pour autant être réellement « à sa tâche ».

Il s'agira pour nous de vérifier que l'introduction des nouveaux dispositifs n'entraînent pas de surcharge attentionnelle.

En s'appuyant sur cette connaissance de l'activité de conduite réelle, nous avons donc pu, avec le groupe projet, prototyper une IHM liée à la régulation de la vitesse, la tester en *simulant certaines conditions d'exercice des activités futures souhaitables* sur une plate-forme de simulation, la valider et l'optimiser, de manière à concevoir la solution acceptable sur un plan technique, ergonomique, économique, etc.

Sur la base de l'ensemble des résultats des tests sur simulateur et des discussions qui en ont découlé au sein du groupe projet, plusieurs modifications ont été apportées à l'IHM prototype. Ces tests de validation menés sur le produit prototype, grâce à l'utilisation d'un outil d'investigation, dont l'objectif était de pouvoir réaliser avec le groupe projet, des *boucles de conception – évaluation – validation itératives*, ont réellement permis de vérifier certaines prévisions avec l'ensemble des personnes du groupe projet. Certains problèmes qui n'étaient pas apparus lors des phases précédentes, ont bien été identifiés et corrigés, en intégrant les « vues métiers ».

Pour terminer, il est nécessaire que nous insistions sur le fait que dans les études de détail, les « conditions réalistes » de tests d'ergonomie que nous venons d'évoquer, ne peuvent en aucun cas se substituer aux conditions réelles, où de nouvelles difficultés, de nouveaux besoins fonctionnels

des conducteurs peuvent apparaître. Ainsi, il est indispensable, concernant l'IHM prototype que nous venons d'étudier, qu'elle soit mise à l'épreuve de situations réelles, afin d'effectuer les dernières validations, chose qui a été acceptée par le chef de projet qui a validé le principe que soit conduite une évaluation ergonomique sur le poste de conduite prototype, poste qui devrait être installé sur une rame d'essais.

CONCLUSION

Le travail proposé a présenté un exemple de contribution de l'ergonomie dans un projet de conception de produits nouveaux, concernant la conception du poste de conduite des TGV futurs. Dans le cadre de cette contribution, l'ergonome intègre le groupe projet et tient une place privilégiée au sein du processus collectif de conception. Il est décrit comme un vrai partenaire, un réel acteur, un co-concepteur, qui en plaçant les conducteurs au centre de la démarche, a permis que la spécificité du « facteur humain » s'intègre bien dans la démarche de conception.

L'approche a montré comment les résultats de l'analyse de l'activité de conduite ont été essentiels pour orienter le processus de conception et pour favoriser la coopération des acteurs-métiers. Ainsi, à travers l'analyse de l'activité, l'ergonome a pu fédérer l'ensemble des acteurs, non pas autour de la performance technique du produit en cours de développement, mais autour des conducteurs, en tant que futurs opérateurs.

Grâce à la mise en place d'outils d'investigation, plate-forme d'essai lors des études préliminaires, simulateur d'étude et de conception lors des études détaillées, l'ergonome a pu conseiller le concepteur, en lui donnant réellement les moyens de prendre en compte l'analyse de l'activité de conduite actuelle et future, dans les décisions de conception.

Les conducteurs ont joué ainsi un rôle central dans la compréhension et la formalisation de leur activité par l'ergonome. Leur participation aux différents tests d'évaluation, pendant lesquels l'ergonome mettait en scène des scénarios de conduite imposée et des scénarios de certaines conditions d'exercice des activités futures

souhaitables, a été particulièrement précieuse. Cette participation a permis d'intégrer leur point de vue à la conception des futurs systèmes techniques, afin que ces derniers puissent représenter, en particulier, une véritable aide à l'activité de conduite.

Concernant la contribution décrite de l'ergonome dans la démarche de conception, il convient de préciser que cette contribution, demeure complémentaire de celle, défendue par de nombreux auteurs [26, 47 à 49], qui situe plutôt l'ergonome comme *accompagnateur du processus de conception*. Dans ce cas, l'ergonome se positionne comme *révéléateur des synergies* nécessaires à développer et, médiateur entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre. Dans les deux cas, quelle que soit l'approche mise en œuvre, qui dépend souvent des formations dont sont issus les intervenants (psychologie cognitive, physiologie du travail, médecine du travail, ingénierie, etc.), l'ergonomie est facteur de sécurité, de santé, d'efficacité par la mise en œuvre de toutes les capacités de l'homme, et d'innovation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à faire état de la précieuse collaboration de Mme Valérie Gouin et de M. Gérard Touvenot, de l'équipe d'ERgonomie et de CONception des Systèmes (ERCOS) du laboratoire Systèmes et Transports de l'UTBM, sans laquelle les expérimentations n'auraient pu être conduites. Nous tenons également à remercier les personnes de la Délégation à la Traction de la SNCF, en particulier MM. Christian Raimond et Jean-Pierre Lorinquer; sans oublier les conducteurs, et le service Recherche et Développement d'Alstom-Transport de Belfort, en particulier MM. Philippe Chappet et Didier Garret, qui se sont investis sans compter dans le présent projet.

Article reçu en octobre 2002,
accepté en janvier 2003.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RIFKIN J. - La fin du travail. Paris, Editions la Découverte, 1996, 435 p.
- [2] CENTRE DES JEUNES DIRIGEANTS D'ENTREPRISE - L'entreprise au XXI^e siècle. Paris, Flammarion, 1996, 158 p.
- [3] LADET P. - Le Progrès technologique est-il compatible avec le progrès de l'homme ? In : *Impact et Conséquence de la Technologie sur l'Homme et l'Entreprise. Actes du colloque IRCO (Grenoble, 14 oct. 1994)*. Éd. IRCO, 1996., pp. 111-114.
- [4] AMALBERTI R. - Paradoxes de la sécurité des grands systèmes à risques, le cas de l'aéronautique. *Performances Humaines et Techniques*, 1995, 78, pp. 45-55.
- [5] BOURGEOIS J., TAANGUY P., COGNE F., PETIT J. - Sécurité nucléaire en France et dans le monde. Paris, Editions Polytechnica, 1996, 304 p.
- [6] LLORY M. - Accidents industriels : le coût du silence. Paris, L'harmattan, 1996, 364 p.
- [7] LEPLAT J. - Erreur Humaine, Fiabilité Humaine dans le Travail. Paris, Armand Colin, Coll. U, 1985, 189 p.
- [8] REASON J. - L'erreur humaine. Paris, Presses Universitaire de France, 1990, 366 p.
- [9] SPERANDIO J.C. - L'ergonomie du travail mental. Paris, Masson, 1988, 140 p.
- [10] SPERANDIO J.C. - L'Homme face aux changements du travail contemporain. Réflexion sur le rôle des ergonomes. In : *L'ergonomie face aux changements technologiques et organisationnels du travail humain - Sélection des communications présentées au XXX^e congrès de la SELF (Biarritz, sept. 1995)*. Toulouse, Octarès Editions, 1996, 436 p., pp. 3-8.
- [11] AMALBERTI R. - La conduite de systèmes à risques. Paris, PUF, 1996.
- [12] PIERAULT-LE BONNIEC G. - Vocabulaire de l'ergonomie. In : de Montmollin M. (éd.). Toulouse, Octarès, 1995.
- [13] GUILLERMAIN H., MAZET C. - Tolérances aux erreurs, sur-fiabilité humaine et sûreté de fonctionnement des systèmes socio-techniques. *Performances Humaines et Techniques*, 1993, 66, pp. 15-20.
- [14] WOODSON W.E., CONOVER D.W. - Guide d'ergonomie, adaptation de la machine à l'Homme. Paris, Les Editions d'Organisation, 1978.
- [15] MILLOT P. - Supervision des procédés automatisés et ergonomie. Paris, Editions Hermès, 1988, 237 p.
- [16] KOLSKI C. - Interfaces Homme-machine : application aux systèmes industriels complexes. Paris, Editions Hermès, 1997, 477 p.
- [17] TEIGER C. - L'approche ergonomique : du travail humain à l'activité des hommes et des femmes. *Education Permanente*, 1993, 116, pp. 71-96.
- [18] FREYSSENET M. - L'invention du travail, et les énigmes du travail, quelques pistes nouvelles de conceptualisation. In : *Actes du Colloque Interdisciplinaire Travail, Recherche et Prospection (Paris, déc. 1992)*. Paris, PIRT-TEM-CNRS, 1992.
- [19] DANIELLOU F. - Questions épistémologiques soulevées par l'ergonomie de conception. In : Daniellou F. (éd.) - *L'ergonomie en quête de ses principes*. Toulouse, Octarès, 1996, 241 p., pp. 183-200.
- [20] SAGOT J.C., GOUIN V., GOMES S. - Ergonomics in product design : safety factor. *Safety Science Journal (special issue : Safety in design)*, 2003, 41, 2-3, pp. 137-154.
- [21] DUCHAMP R. - La conception de produits nouveaux. Paris, Editions Hermès, 1988, 60p.
- [22] FADIER E. - L'intégration des facteurs humains à la conception. *Pheobus*, 1997, pp. 59-78.
- [23] GROSJEAN J.C., NEBOIT M. - Ergonomie et prévention en conception des situations de travail. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 2000, 179, NSD 2127, p. 31-48.
- [24] DANIELLOU F., NAEL M. - Ergonomie. *Les Techniques de l'Ingénieur, Cole, Génie industriel*, 1995, doc. I3100.
- [25] AMALBERTI R. - L'ergonomie : facteur de sécurité et d'innovation. *REE*, 1997, 2, pp. 69-75.
- [26] DANIELLOU F. - Le statut de la pratique et des connaissances en ergonomie. Toulouse, Université le Mirail, 1992, Document pour l'Habilitation à diriger des recherches, 100 p.
- [27] SUCHMAN L. - What is a Human-Machine Interaction ? Cognition, Computing and Cooperation. New Jersey, Ablex Publishing Corporation, 1990.
- [28] FILIPPI G., HARADJI Y., VILLAME T. - Analyse de l'activité de coopération des acteurs de la conception. *Relat. Ind.*, 1995, 50, 4, pp. 789-810.
- [29] SAGOT J.C., GOUIN V., LORINQUER J.P., CHAPPEL P. - The high speed train : an ergonomic approach for the driving cab design. In : *WCRR'97 Congress (World Congress on Railway Research, Florence (Italie), 16-19 nov. 1997)*. Vol. A, 1997, pp. 843-851.
- [30] KERGUENEA A. - L'observation systématique en ergonomie : élaboration d'un logiciel d'aide au recueil et à l'analyse des données. Paris, CNAM, Mémoire présenté en vue d'obtenir le Diplôme d'ergonomiste, 1986, 64 p.
- [31] LAMONDE F. - La détermination progressive de l'activité des conducteurs de train : contribution à l'analyse de la fiabilité d'un système ferroviaire. *Le Travail Humain*, 1994, 57, pp. 195-200.
- [32] BOLLON T., SAGOT J.C., BENCHEKROUN M. - Conception ergonomique du poste de conduite du TGV nouvelle génération : analyse de la tâche et étude du comportement de conduite du mécanicien. *Rapport de fin de contrat PERSEE-GEC ALSTHOM, convention n° 92114*, 1992, 130 p.
- [33] PINSKY L., THEUREAU J. - Signification et action dans la conduite de systèmes automatisés de production séquentielle. Paris, CNAM, Laboratoire d'Ergonomie et de Neurophysiologie du Travail, Rapport n°83, 1985.
- [34] DE KEYSER V. - De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. *Le Travail Humain*, 1987, 51, pp. 1-18.
- [35] POMIAN J.L., PRADERE T., GAILLARD I. - Ingénierie et ergonomie. Eléments d'ergonomie à l'usage des projets industriels. Toulouse, Cepaduès Editions, 1997, 260p.
- [36] MILLOT P. - Coopération Homme-machine dans les tâches de suppression des procédés automatisés. Université de Valenciennes, Thèse d'état, 1987, 225 p.
- [37] HUGUET M.J., DE TERSSAC G., ERSCHLER J., LOMPRES N. - De la réalité à la modélisation de la coopération en gestion de production. In : de Terssac G., Friedberg E. (éds) - *Coopération et Conception*. Toulouse, Octarès, 1996, pp. 149-170.
- [38] MALINE J. - Simuler le travail : une aide à la conduite de projet. Paris, ANACT, 1994, 156 p.
- [39] ZWOLINSKI P., SAGOT J.C., GOUIN V. - La simulation de l'activité comme outil d'aide à la conception et à l'innovation. Application à la conception de la commande de régulation de vitesse des TGV futurs. In : 2^{es} Journées Recherche et Ergonomie, organisées par la Société d'Ergonomie de Langue Française (Toulouse, 9-11 févr. 1998). SELF, 1998, pp. 71-75.
- [40] SAGOT J.C. - Ergonomie et conception anthropocentrée. Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), Document pour l'Habilitation à diriger des Recherches, 21 mai 1999, 267 p.
- [41] MALINE J. - Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail : la gestion d'un paradoxe. In : Béguin P., Weill-Fassina A. (éds) - *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*. Toulouse, Octarès, 1997, pp. 97-111.
- [42] NAEL M. - Les utilisateurs devront-ils devenir aussi "intelligents" que les produits qui leur sont proposés ? In : *Actes du XXV^e Congrès de la SELF*. Lyon, Editions SELF, 1989, pp. 373-379.
- [43] THEUREAU J. - L'utilisation des simulateurs de salle de contrôle de réacteur nucléaire et de cockpit d'avion à des fins autres que la formation : présentation et discussions des tendances actuelles. In : *op. cit.* [41], pp. 113-136.
- [44] CROSSMAN E.R., COOKE J.E., BEISHON R.J. - Visual attention and the sampling of displayed information in process control. In : Edwards E., Lees F.P. (éds) - *The human operator in process control*. Londres, Taylor & Francis, 1974, pp. 25-50.
- [45] WICKENS C.D. - Processing resources in attention. In : Parasuraman R., Davies D.R. (éds) - *Varieties of attention*. Londres, Academic Press, 1984, pp. 63-98.
- [46] SCHNEIDER W., SHIFFRIN R. - Controlled and automatic human processing : Decision, search and attention. *Psychological Review*, 1977, pp. 1-66.
- [47] THEUREAU J., PINSKY L. - Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique. *Revue des Conditions de Travail*, 1984, 9, pp. 25-31.
- [48] FALZON P. - Médecin, pompier, concepteur : l'activité cognitive de l'ergonome. *Performances Humaines et Techniques*, 1993, 66, pp. 35-45.
- [49] BEGUIN P. - L'activité de travail : facteur d'intégration durant les processus de conception. In : Bossard P., Chanchevier C., Leclair P. (éds) - *Ingénierie concurrente : de la technique au social*. Paris, Editions Economica, 1997, pp. 101-113.

© INRS, 2003.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause, est illicite.

Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du Code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de deux ans et d'une amende de 150 000 euros (article L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle).

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part de *Cahiers des notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 2^e trimestre 2003, n° 191 - ND 2192 - 1 000 ex.
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-1151-X

Imprimerie de Montligeon - 61400 La Chapelle Montligeon