

# Prise en compte du Facteur Humain dans les études Sûreté de Fonctionnement des systèmes militaires terrestres

## Human factors in reliability and safety studies of land military systems

Anne-Sophie SMOUTS-Valérie CASTEL

Société Nexter Systems

11 allée des Maronniers 78022 Versailles Cedex

as.smouts@nexter-group.fr

01 39 49 30 28

v.castel@nexter-group.fr

01 39 49 81 30

### Résumé

Afin de répondre aux enjeux de la professionnalisation et de la modernisation de l'armée de terre française, la société Nexter Systems s'investit, depuis de nombreuses années, dans la fiabilité ou fiabilisation opérationnelle des systèmes militaires terrestres qu'elle conçoit ou modernise. L'approche théorique menée en 2005 faisait émerger deux méthodologies : THEA et ACIH. L'application de l'une d'elles (THEA) à la modernisation d'un véhicule blindé de reconnaissance à roues constitue l'objet de la présente communication. Il s'agit ici de restituer les premiers retours d'expérience sur la mise en place d'une ingénierie concourante entre deux disciplines transverses et critiques que sont : la sûreté de fonctionnement et l'ergonomie.

### Summary

Since many years, Nexter Systems CIE optimizes the safety of the land-based military systems developed and renovated by itself. A methodological reflection was initiated : how improve the contribution of the system, ergonomics and reliability activities in the global process of Man -Machine systems design. This paper presents the main results.

### 1) Introduction

L'évolution des Technologies de l'Information et de la Communication remet en cause la conception des systèmes sociotechniques militaires terrestres, et par la même, leur doctrine d'emploi. Ces systèmes, de plus en plus sophistiqués, confèrent à l'opérateur humain une position critique et stratégique. A ce titre il constitue l'un des facteurs de réussite qu'il convient de considérer à sa juste "valeur".

Les évolutions pressenties renvoient toutes à une problématique Facteur Humain, en lien direct avec les capacités cognitives, physiologiques, psychologiques ... d'un individu. Ces évolutions se traduisent le plus souvent par une remise en cause de l'organisation classique des fonctions où le partage des rôles entre la composante technique et la composante humaine était jusqu'alors clairement défini. On aboutit aujourd'hui à une nouvelle répartition des tâches entre le binôme « Système d'arme x Opérateur(s) », qui n'est pas sans influencer sur la nature même de certaines tâches [introduction de tâches de supervision, de consultation ...]. Ces systèmes, toujours plus performants, intègrent des technologies de pointe coûteuses, dont la destruction est dommageable. Leur neutralisation (ou destruction) peut être causée par une défaillance du système (problème de fiabilité intrinsèque du système) mais elle peut aussi être due à une "dérive" du servant lors de la mise en œuvre et de la gestion du système dont il est responsable (action erronée, monotonie, pénibilité, fatigue, baisse de vigilance, incompréhension ...). On constate une évolution de la contribution des opérateurs vers des tâches à dominante cognitive. En effet, il s'agit prioritairement d'acquiescer l'Information tactique (information permettant de disposer et de faire mouvoir les troupes au combat), de la traiter, de prendre une décision appropriée sous de fortes contraintes temporelles et de l'appliquer. La "qualité" de cette décision est étroitement liée aux aspects psychoaffectifs. C'est dans un contexte de fortes tensions émotionnelles que l'opérateur a ou peut avoir une appréciation erronée de la situation. Le stress peut ainsi conduire à des erreurs humaines dans la gestion de situations « incidentelles » et contribuer à dégrader ces mêmes situations jusqu'à les transformer en situations « accidentelles ». Face au stress, les mécanismes de défense ainsi que le(s) comportement(s) en réponse, fluctuent d'un individu à l'autre. Mal géré, celui-ci peut être lourd de conséquence et engendrer des erreurs dans l'utilisation de ces systèmes.

Désormais le principe de "tolérance 0" exige de traiter à même hauteur la composante humaine et matérielle du système sociotechnique militaire terrestre. L'industriel se doit de garantir Sécurité, Efficacité et Confort d'utilisation lors de la mise en œuvre et de l'emploi de ces systèmes, et ce tant en situation de paix, de crise que de conflit.

Les différentes démarches de conception répertoriées soulignent leurs limites en matière de "prévisibilité" des risques [variabilités des situations de travail ; variabilités intra et inter individuelles ; évolutions techniques des systèmes en cours de conception entre les phases de conception et d'exploitation opérationnelle ...]. Or, il devient *inacceptable* d'intégrer l'homme comme facteur limitant de conception.

Des études de sécurité, réalisées sur des véhicules blindés, proposaient jusqu'alors une approche quantitative du facteur humain. Si la pertinence de ces méthodes n'est pas remise en cause, il apparaît une incohérence entre les conclusions de ces dites études et le retour d'exploitation de certains de ces systèmes.

L'étude théorique [R1] menée en 2005, soulignait l'absence d'une Ingénierie concourante entre deux disciplines transverses : le Facteur Humain et la Sûreté de Fonctionnement. Une telle ingénierie se doit d'intégrer, à même hauteur, dans la démarche de conception globale : la fiabilité du système, les propriétés de comportement et le Facteur Humain.

### 2) Méthodologie adoptée

Fort des constats ci avant énoncés et des conclusions de l'étude préliminaire [R1], deux méthodes proposant une approche du Facteur Humain dans les études de Sûreté de Fonctionnement ont plus particulièrement été identifiées : Technique for Human Error Assessment (THEA) et Analyse des Conséquences de l'Infiabilité Humaine (ACIH).

Afin d'évaluer leur applicabilité, il a été proposé de considérer l'une de ces méthodes dans le cadre de la rénovation d'une plate forme militaire terrestre existante (un véhicule blindé de reconnaissance à roues) et de proposer un nouvel éclairage à l'étude de sécurité du système ciblé.

Pour atteindre cet objectif, la démarche adoptée s'articule autour des tâches suivantes :

Tâche 1 : Analyse des faits techniques du système impliquant la composante humaine

Il s'agit de réaliser une étude de traces permettant de qualifier et de caractériser le fait technique, d'identifier les traitements opérés et comportements des opérateurs mis en place pour détourner et/ou compenser ce fait technique.

Cette analyse partielle porte principalement sur les fonctions revalorisées.

### Tâche 2 : Analyse complémentaire de l'activité

Cette étape vise à enrichir le retour d'expérience technique opérationnel existant sur les fonctions systèmes rénovées (fonctions : Mobilité, Feu, Survivabilité, Aide au commandement). L'analyse réalisée considère les tâches dédiées à la mise en œuvre et à l'emploi opérationnel du système par les quatre membres d'équipage. Sont exclues les interventions de maintenance menées par des opérateurs spécifiques.

### Tâche 3 : THEA ou ACIH ? : Sélection de la méthode SdF intégrant le FH.

Il s'agit, au regard du contour technique de l'intervention, d'identifier les avantages et limites de ces deux méthodes afin de n'en retenir qu'une et d'appliquer celle-ci à la plate forme militaire objet de l'étude.

### Tâche 4 : Application de la méthode FH/SdF retenue : THEA

Suite aux caractéristiques très spécifiques des systèmes militaires terrestres développés par NEXTER Systems, cette tâche a consisté à dérouler la méthodologie retenue. Au regard des contraintes industrielles, l'intervention limitait le périmètre technique aux fonctions systèmes impliquant directement l'opérateur humain en charge de l'utilisation opérationnelle de la plate forme, excluant par la même les activités de maintenance.

## **3) Approche préliminaire**

La compréhension de la présente communication ne peut s'affranchir d'un bref retour sur les conclusions de l'étude théorique menée en 2005, étude dont l'objectif était de dresser un bilan aussi factuel que possible sur les méthodes Sûreté de Fonctionnement proposant, dans leur analyse, une approche pertinente du Facteur Humain. Avant tout chose, quelques précisions terminologiques s'imposent. Celles-ci permettront aux lecteurs de disposer d'un même cadre de référence, qui espérons-le, facilitera sa compréhension.

### **3.1) Précisions terminologiques**

Les définitions proposées, bien qu'arbitraires et donc discutables, permettent néanmoins de préciser certaines notions pouvant être perçues, pour les non-spécialistes en Facteur Humain, comme obscures.

En premier lieu, l'Association Internationale d'Ergonomie (IAE) définit l'**Ergonomie (ou l'étude du Facteur Humain)** comme "la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les êtres humains et les autres composantes d'un système, et la mise en œuvre dans la conception de théories, de principes, de méthodes et de données pertinentes afin d'améliorer le bien être des hommes et l'efficacité globale des systèmes. L'ergonomie, de par son interaction avec les sciences de l'Homme tient compte de facteurs physiques, physiologiques, cognitifs, sociaux, organisationnels, environnementaux et autres".

De même, il est entendu par **opérateur** "le personnel militaire ou civil amené à exploiter le système. Plus largement, il s'agit de tout être humain réalisant une tâche, le plus souvent en interaction avec un système technique dans une situation de travail. Le sujet se caractérisant en général par *son savoir* (ce qui permet de mener à bien la tâche) ; *sa tâche effective* (représentation que se fait l'opérateur de ce qu'il doit faire) ; *sa tâche prescrite* (ensemble des buts, procédures et moyens donnés par la hiérarchie de façon formelle)".

L'**utilisabilité**, concept clef et central en ergonomie, identifie le degré selon lequel un produit peut être utilisé par des utilisateurs identifiés pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction dans un contexte d'utilisation spécifié (ISO 9241-11 :1998). Ce terme renvoie aux notions suivantes : facilité d'apprentissage et d'utilisation, facilité de mémorisation, efficacité d'utilisation, utilisation sans erreur, satisfaction.

Enfin, l'**erreur humaine**, est ici appréhendée comme un écart par rapport à une action, une séquence d'actions ou une stratégie servant de référence. Elle constitue, pour le spécialiste Facteur Humain un indice dimensionnant d'inadéquation, d'incompatibilité partielle ou totale entre les caractéristiques techniques, organisationnelles, fonctionnelles ..., de la situation de travail et des caractéristiques physiques mentales, psychosociales ... de l'opérateur humain. Il s'agit alors d'une "déviation" du processus cognitif susceptible d'entraîner une défaillance. Dans le langage courant, on réserve généralement le terme d'erreur aux comportements humains et le terme d'incidents aux autres composantes du système.

### **3.2) Etat des lieux sur les méthodes intégrant le Facteur Humain dans les études Sûreté de Fonctionnement [R1]**

Les constats majeurs ci-après restitués justifient les orientations à ce jour retenues par NEXTER Systems.

#### **3.2.1) Rappel historique**

La prise en compte du Facteur Humain dans la conception et l'exploitation de systèmes a un impact fort sur le niveau de confiance global atteint par le système et plus particulièrement sur la tenue des objectifs SdF. L'automatisation des systèmes va de pair avec une répartition du contrôle entre le système lui-même et l'homme. Si bien qu'il faut rendre compte au niveau du système global de la contribution de l'opérateur dans le comportement du système.

Un système est dit sûr quand « il fournit un service conforme à sa spécification, avec un niveau de confiance démontré ».

Pour les systèmes matériels, la démonstration du niveau de confiance repose essentiellement sur des techniques d'analyse et d'évaluation prévisionnelle des grandeurs de la sûreté de fonctionnement.

Toutefois, la part croissante des erreurs de conception qu'il s'agisse d'erreurs du matériel ou d'erreurs du logiciel a mené à définir dans les référentiels la notion d'**intégrité**, qui traduit le niveau de probabilité qu'un composant exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité qui lui sont allouées. Cette notion a apporté également celle de schéma de démonstration du niveau de confiance atteint en utilisant des objectifs « hétérogènes » en fonction des classes d'erreurs prises en compte :

- Évaluation prévisionnelle pour les erreurs aléatoires
- Démonstration du niveau d'intégrité pour la couverture des erreurs de conception.

Lorsqu'on prend en compte le facteur humain dans le système, il faut considérer sa contribution au fonctionnement du système (l'opérateur peut améliorer le fonctionnement en anticipant ou en traitant des situations avant occurrence d'une situation à risque), mais également les erreurs humaines.

La possibilité de prendre en compte les erreurs humaines a été étudiée selon deux axes distincts :

- l'évaluation quantitative (« Human Reliability Assessment ») qui consiste à quantifier la probabilité de non réalisation ou de réalisation erronée des actions ou des tâches selon un modèle d'erreurs de réalisation,
- l'analyse des erreurs humaines et de leurs conséquences (Human Error Assessment, Analyse et Contrôle de l'Infiabilité Humaine) qui d'une part prend en compte des erreurs de nature cognitive et d'autre part permet de spécifier les barrières propres à contrôler les conséquences des erreurs.

L'état de l'art mené, a souligné la difficulté voire même l'impraticabilité des méthodes reposant sur une approche quantitative.

Les méthodes proposant une approche qualitative, permettent quant à elles de faire des propositions pour la prise en compte des erreurs humaines dans le processus de conception Etude & Développement.

### 3.2.2) Tour d'horizon des méthodes existantes

L'importance critique accordée à la fiabilité humaine se traduit par le développement de nombreuses méthodes de qualification et de quantification du Facteur Humain. Hollnagel en 1998 avançait le chiffre de 35 à 40 méthodes.

Cependant, un certain consensus semble s'établir sur le fait qu'aucune des méthodes actuelles n'atteint un niveau de fiabilité suffisant pour être unanimement reconnue. Ceci est d'autant plus difficile que la pertinence de chaque approche ne peut être appréhendée que localement. Selon Lassagne (2004), il n'y a pas aujourd'hui d'approche générique.

Les méthodes recensées peuvent être arbitrairement classées en deux générations dont la frontière se situe au tournant des années 90.

Les méthodes dites de première génération reposent sur une vision behavioriste du Facteur Humain. Pour celles-ci on s'intéresse d'avantage aux actions et résultats des actions des opérateurs et assez peu à « la boîte noire ». Parmi ces méthodes, la plus connue et la plus utilisée est la méthode THERP. Mais d'autres méthodes ont également un certain développement ou un "certain succès" comme TESEO, HEART ou SLIM-MAUD.

A contrario, les méthodes dites de seconde génération mettent l'accent sur les aspects cognitifs des opérateurs. Parmi ces méthodes, les plus connues sont CREAM, ATHEANA, COGENT. Ces méthodes qui s'appuient sur une taxonomie des erreurs visent l'analyse des causalités entre origine et manifestations des erreurs humaines.

Il existe d'autres types de méthodes reposant sur des courants d'analyse mettant en avant par exemple « la culture de la sécurité » ou l'influence du management. Ce dernier courant est caractérisé par la prise en compte des facteurs organisationnels et managériaux dans l'évaluation des risques en étudiant par exemple les facteurs qui font que certaines organisations s'illustrent par leur haute fiabilité.

Au-delà de ces méthodes ayant pour objectif une quantification de la fiabilité humaine, il existe diverses méthodes fortement axées sur l'aspect qualitatif de la fiabilité humaine. Ces méthodes se positionnent comme des outils d'aide à la conception.

Une de ces méthodes semble particulièrement intéressante par son approche, à savoir la méthode MAFERGO. Celle-ci basée sur l'analyse des dysfonctionnements du système, se focalise sur les incidents ou événements redoutés et détermine les parades préventives ou correctives.

Enfin, d'autres méthodes s'intéressent non pas à la probabilité pour un opérateur de réaliser correctement les tâches prescrites mais à l'étude des conséquences des erreurs humaines et aux probabilités de contrôler ces conséquences. Cette approche est doublement intéressante :

- La démarche d'analyse des erreurs et de spécification de moyens de contrôles des erreurs est une démarche très utilisée en sûreté de fonctionnement (FMEA, AEEL,...),
- les moyens de contrôle sont souvent techniques ou bien sont basés sur des barrières organisationnelles qui sont plus faciles à chiffrer en terme de risque résiduel que les probabilités de bonne ou de mauvaise réalisation.

Parmi ces méthodes, deux méthodes récentes ont été sélectionnées :

- « **THEA** », développée par l'Université de York pour l'aide à la conception de systèmes homme-machine,
- « **ACIH** », développée par le Laboratoire d'automatique, de mécanique et d'informatique industrielle et humaine de Valenciennes.

## **4) Application de la méthode intégrant le FH dans les études SdF**

### **4.1) Précision sur le contexte**

Dans le cadre d'un projet spécifique de rénovation d'un système militaire terrestre existant, la problématique d'intégration du Facteur Humain dans les études Sûreté de Fonctionnement a été étudiée. Bien que le système soit considéré dans sa globalité, le périmètre de l'étude se trouve limité par l'application a posteriori de la démarche et la rénovation technique partielle du système. Par conséquent, la méthode FH/SdF a considéré exclusivement les fonctions systèmes impliquant la composante humaine lors de la mise en œuvre et de l'emploi opérationnel du véhicule, excluant de ce fait certaines activités comme la maintenance. Les aspects fiabilité/disponibilité sont aussi identifiés comme hors périmètre du présent projet.

### **4.2) Choix de la méthode**

A partir des conclusions de l'état de l'art identifiant plus particulièrement deux méthodes : THEA et ACIH, une analyse fine de chacune d'elle a été menée afin de considérer leur degré d'applicabilité au(x) système(s) développé par Nexter Systems.

#### 4.2.1) Disponibilité des données d'entrée

Ce paramètre est un critère déterminant dans le choix de la méthode. Le premier examen de la méthode ACIH soulignait la nécessité de disposer de données d'entrée exhaustives et précises sur l'analyse des faits techniques impliquant la composante humaine et l'analyse de l'activité afin de pouvoir établir le lien entre les modes et les situations. Au regard des lacunes constatées, des contraintes projet (technique, calendaire et budgétaire) et des informations recueillies lors de l'étude opérationnelle menée dans les Forces, il s'est avéré que les données techniques disponibles étaient insuffisantes et incompatibles avec le niveau exigé par la méthode ACIH ([R2]).

#### 4.2.2) Mise en œuvre de la méthode retenue

La disponibilité mais aussi et surtout la qualité des données d'entrée conditionnent l'analyse du lien entre les modes et les situations. Ce lien entre les modes et les situations garantit l'exhaustivité de l'analyse, ce lien est complexe à réaliser et est impossible à définir correctement sans un niveau de détails très fin. Outre la contrainte ci dessus, ACIH présente d'autres limites qui ont justifié notre choix. En effet, cette méthode :

- requiert un nombre d'analystes important et une démarche de sensibilisation, voire même de formation, appuyée par un guide d'exploitation afin de rendre accessible la méthode à des non spécialistes ou contributeurs experts
- requiert une formation ainsi qu'un temps d'appropriation dimensionnant afin de permettre aux analystes de manipuler correctement la méthode,
- exige des compétences transverses variées pour pouvoir correctement manipuler la méthode,
- présente une moins grande souplesse d'utilisation,
- requiert une analyse fine ce qui implique un nombre exponentiel de modes et de situations en fonction de la complexité du système étudié,
- nécessite des cycles d'itérations,
- exige une analyse très poussée du terrain pour obtenir les données d'entrée avec le niveau de détail qu'exige la méthode et des moyens de modélisation pour avoir une approche rigoureuse et gérer l'ensemble des informations, situations à disposition des analystes.

Au regard des critères ci-avant exposés, il a été retenu de s'orienter vers la méthode THEA.

#### 4.3) Application de la méthode retenue THEA

Il ne sera pas ici présenté les principes méthodologiques caractérisant THEA en l'occurrence les tableaux servant de support à l'analyse. Le lecteur pourra, s'il le souhaite, se reporter à la bibliographie [R3] pour compléter son information. En revanche, les aménagements apportés pour optimiser l'applicabilité de la méthode au système spécifique de Nexter Systems sont développés dans les paragraphes suivants, les aménagements concernant l'adaptation générale de la méthode et l'adaptation des supports.

##### 4.3.1) Adaptation générale de la méthode

Afin de rendre compatible les objectifs projet et l'application de la méthode THEA, un ajustement méthodologique s'est avéré nécessaire. Celui-ci a consisté en premier lieu en un élargissement du panel des contributeurs :

- au niveau de l'équipe industriel : un architecte système,
- au niveau des utilisateurs : des opérationnels maîtrisant la mise en œuvre, l'emploi et le soutien du système considéré.

Les préconisations découlant de l'analyse ont été validées par l'équipe de développement et présentées aux opérationnels afin de valider la pertinence des préconisations formulées.

Ces préconisations ont été classées selon leur impact industriel au niveau du système global à savoir :

- orientation conception : préconisations identifiées comme applicables lors du développement d'un nouveau véhicule,
- orientation rénovation : préconisations identifiées comme pouvant être appliquées dans le cadre d'une modernisation d'un véhicule existant.

Ces préconisations se déclinent en deux catégories :

- les préconisations impactant directement la sécurité,
- les préconisations contribuant à la réduction des facteurs de risques de défaillance humaine (environnement physique de travail de l'opérateur et adéquation des postes, caractéristiques cognitives de l'activité et des tâches qui la compose : vigilance, charge de travail...).

##### 4.3.2) Adaptation des supports

La méthode s'est appuyée sur un ensemble d'outils tels que :

- l'analyse préliminaire des risques : cette analyse permet d'identifier l'ensemble des événements redoutés du système étudié et la gravité qui leur est associée. Les événements redoutés constituent une donnée d'entrée dimensionnante permettant la hiérarchisation des scénarios et l'orientation de l'étude sur la sécurité,
- L'analyse de l'activité : analyse menée à partir des actes élémentaires définis dans les manuels d'emploi de l'armée de terre, les guides techniques et la confrontation avec l'utilisation réelle du système sur terrain opérationnel. Elle permet d'identifier aussi finement que possible, la contribution assignée à chacun des opérateurs (membres d'équipage) en soulignant le séquençage et les moyens techniques (équipements, informations...) et humain utilisés. La matrice de simultanéité des actes élémentaires établie et validée par les opérateurs, a permis, par la réponse aux questions : Qui fait Quoi ? Quand ? Comment ? Avec Qui ? Pourquoi et Pour qui ? d'identifier les phases opérationnelles critiques.

##### 4.3.2.1) Formalisme initial

Le formalisme proposé par la méthode THEA se présente sous forme de tableaux d'analyse à renseigner systématiquement [R3].

Ce formalisme s'est avéré très contraignant à mettre en œuvre, en raison même des très nombreuses redondances, au demeurant pas toujours pertinentes. De plus, au regard de la spécificité du système considéré, certains points stratégiques n'étaient que partiellement appréhendés. Citons là à titre d'exemple, la caractérisation de l'activité :

- sa nature (physique/mentale), (individuel/collaboratif)
- ses contraintes temporelles de réalisation (séquentielle/parallèle, en temps contrôlé)

L'approche proposée par la méthode rendait difficile :

- l'appréciation globale de la charge de travail,
- la hiérarchisation des scénarios retenus,
- l'élaboration d'une grille de criticité intégrée ensuite dans le livret des points critiques.

Après ces constats, les spécialistes FH et SdF ont formalisé leurs propres tableaux en s'appuyant sur le formalisme initial de la méthode et en enrichissant le recueil au regard de la spécificité du système étudié.

##### 4.3.2.2) Formalisme évolué

| Caractéristiques du scénario   |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Titre:</b></li><li>▪ <b>Contexte</b></li><li>▪ <b>Actes élémentaires concernés :</b></li><li>▪ <b>Événements redoutés rattachés :</b></li><li>▪ <b>Statut du scénario dans "la prise en compte ou la gestion des erreurs humaines" :</b></li></ul>  |
| Caractéristiques des opérateurs  |
| <b>Description de leurs fonctions et de leurs missions :</b><br><b>Opérateurs impliqués dans le scénario:</b><br><b>Contribution dans le scénario :</b>  |
| Caractéristiques de la tâche   |
| <b>Nature de la tâche impliquée dans le scénario</b><br><b>Mode de réalisation :</b><br><b>Chronologie entre tâches (lien dynamique, interaction et criticité de l'interaction)</b><br><b>Avant la mission :</b><br><b>Pendant la mission :</b><br><b>Contributeurs à la réalisation de la tâche :</b><br><b>Déviance potentielle (RETEX) et circonstances</b> |

| Caractéristiques du système  |
|--|
| <b>Equipements sollicités et interactions homme système:</b><br><b>Existence de modes dégradés et/ou de mode secours :</b><br><b>Poids de la composante humaine :</b><br><b>Problème d'utilisabilité rencontré :</b> |
| Recommandations de conception  |
|  |
| Synthèse   |
|  |

Tableau 1 : Formalisme évolué

#### 4.3.2.3) Adaptation des fiches de point critique au regard de la problématique FH dans les études SdF

Les fiches de points critiques sont répertoriées dans le livret des points critiques (LPC). Ce document de synthèse qui est un livrable du métier SdF est un outil de gestion ; élaboré en phase de conception, il évolue durant tout le cycle de vie du produit.

Le LPC comporte une fiche pour chaque point critique identifié.

Chacune de ces fiches :

- définit et analyse le point critique : le scénario, la cause d'apparition du point critique et les effets sur le système (lien avec les événements redoutés),
- évalue le niveau de criticité,
- détaille les actions de réduction des risques avec les décisions prises,
- stipule le niveau de criticité résiduel après application des actions en réductions de risques.

Ce formalisme trop orienté SdF n'a pu être exploité tel quel car les fiches de points critiques :

- sont trop orientées "matériel" (fonction, situation, élément...),
- présente un scénario insuffisamment détaillé,
- identifient des moyens de détection ce qui n'est pas approprié pour le facteur humain. En effet les moyens utilisés pour pallier les erreurs humaines sont des barrières organisationnelles (par exemple vérification du travail fait par un membre d'équipage) et / ou des barrières matérielles (le système attend une validation avant d'exécuter la commande),
- sont tracées par événement redouté : cette classification n'est pas adaptée pour le facteur humain car un événement redouté s'inscrit dans un ensemble de tâches qui ne peuvent pas être scindées. En effet, la notion de charge de travail est fondamentale pour évaluer le risque d'erreurs humaines et cette notion n'a de sens que si et seulement si elle s'intègre dans une approche globale. La classification par événement redouté n'est pas possible sans de multiples répétitions qui alourdissent l'analyse,
- ont des critères pour déterminer la criticité du point critique qui ne sont pas adaptés au facteur humain (la criticité d'un point critique est évaluée par la gravité, la probabilité d'apparition et la détectabilité du point critique). La probabilité d'une erreur humaine n'est pas pertinente et la détectabilité n'est pas un critère approprié (il est lié aux moyens de détection, comment évalue-t-on la capacité de détection de l'homme ?), finalement la criticité du point critique est déterminée de façon cartésienne ce qui n'est pas une représentation adaptée au facteur humain,
- stipulent le niveau de criticité résiduelle après application des actions de réduction des risques. Cette criticité est évaluée de façon cartésienne par exemple la fiabilité de l'équipement a été améliorée, un moyen de détection a été mise en place... Cette évaluation est adaptée au matériel mais ne convient pas au facteur humain : certaines actions de réduction des risques proposées ne sont applicables que lors de la conception d'un nouveau véhicule (reconception des postes d'équipage) et concernent parfois le confort de l'opérateur , dans ce cas il n'est pas aisé d'évaluer l'impact de la modification sur la criticité du point critique.

Suite à cette analyse, une adaptation et un enrichissement du formalisme ont été proposés. Ils se présentent sous le formalisme suivant :

| FICHE DE POINT CRITIQUE   |   | N° : FH |
|---|---|---------|
| <b>IDENTIFICATION</b>   |   |         |
| Source :  | Intégration du facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement |         |
| Scénario  |   |         |
| Actes élémentaires:   |   |         |
| Opérateurs :  |   |         |
| Evénements redoutés identifiés :  |   |         |
| Gravité :   |   |         |
| <b>ANALYSE</b>  |   |         |
| Tâche analysée :  |   |         |
| Statut du scénario dans "la prise en compte ou la gestion des erreurs humaines" : |   |         |
| Critique :  |   |         |
| Déviance potentielle :  |   |         |
| <b>ACTION EN REDUCTION DU RISQUE</b>  |   |         |
| Mesures envisagées ou envisageables :   |   |         |

| SUIVI DU POINT CRITIQUE |  |             |      |    |                    |
|-------------------------|--|-------------|------|----|--------------------|
| Etat :                  |  | Responsable | RFMS | RD | RS (et/ou)<br>RAPS |
| ● Ouvert                |  |             |      |    |                    |
| ● Confirmé              |  | Nom         |      |    |                    |
| ● Atténué               |  | Sigle       |      |    |                    |
| ● Accepté               |  | Date        |      |    |                    |
| ● Clos                  |  | Visa        |      |    |                    |

Tableau 2 : Formalisme adapté d'une fiche de point critique

#### 4.3.3) Définition du statut du scénario

Le statut du scénario se définit selon les critères suivants:

- nombre d'acte(s) élémentaire(s) mené(s) en parallèle,
- profil de la tâche (cognitive, mentale, physique),
- complexité de la tâche : tâche à la fois cognitive, mentale... et utilisant plusieurs canaux sensoriels,
- nombre d'informations et commandes manipulées,
- assistance et aide à la réalisation de la tâche,
- tâches répétitives ou tâches très ponctuelles.

La charge de travail ne constitue pas un critère en tant que tel, mais découle du cumul de l'ensemble de ces critères.

La définition du statut du scénario est synthétisée de la façon suivante :

| Statut du scénario | Définitions   |
|--------------------|---|
| Primordial         | Scénario impliquant tous les membres de l'équipage avec une charge de travail importante (plusieurs actes élémentaires sont menés en parallèle) avec une contrainte temporelle générant un stress   |
| Important          | Scénario impliquant un ou deux membres de l'équipage avec une charge de travail importante (plusieurs actes élémentaires sont menés en parallèle) avec une contrainte temporelle générant un stress |
| Mineur             | Scénario avec une charge de travail assez faible (réalisation d'un seul acte élémentaire à la fois) avec une contrainte temporelle générant peu de stress   |

Tableau 3 Définition des statuts du scénario

#### 4.3.4) Identification des actions en réduction de risques dites "facteur humain"

Pour chaque fiche de points critiques, un ensemble d'actions de réduction des risques a été identifié. Ces actions permettent par exemple d'améliorer le confort de l'opérateur ou de redéfinir la charge de travail des opérateurs (nouvelles répartitions entre les opérateurs, assistance...), elles agissent sur la sécurité à court et à long terme de l'équipage.

## 5) Conclusion

Le retour d'expérience restitué dans la littérature met bien en évidence l'absence d'une ingénierie concourante qui intégrerait dans la démarche de conception globale : la fiabilité du système, les propriétés de comportement et le facteur humain.

Concernant la prise en compte du FH dans les études SdF, cela nécessite d'adopter une approche plus pertinente. En effet, réduire la composante humaine du système à une donnée numérique est désormais reconnu comme réducteur, peu crédible et hasardeux.

Cette première application souligne la nécessité d'investiguer certains axes d'évolution méthodologique tels que :

- l'approfondissement des méthodes d'analyse des erreurs humaines,
- la recherche de moyens d'évaluation quantitatifs de l'apport des mesures architecturales et des barrières permettant de tolérer les erreurs humaines,
- la conception d'une démarche coordonnée "Système, Facteurs Humains, SdF" fondée sur un fil conducteur SdF qui permettrait d'affiner les objectifs systèmes en exigences spécifiques pour le matériel, le logiciel et le Facteur Humain.

Cette première approche, menée a posteriori (c'est-à-dire après conception, rénovation) demande à être validée dans une démarche de conception (a priori), et ce afin de juger de sa pertinence.

La méthode THEA, déployée dans les secteurs du Transport ferroviaire et du Contrôle aérien d'une part et d'autre part dans la conception de rotatives industrielles, imposait un nécessaire aménagement :

- l'adaptation et l'enrichissement des supports permettant le recueil des données dimensionnantes pour la suite de l'analyse et prenant en compte la spécificité des systèmes étudiés à Nexter Systems,
- l'élargissement et la modularité du panel de contributeurs,
- l'amélioration de la lisibilité de la méthode afin de la rendre plus accessible.

## 6) Glossaire

**ACIH** : Analyse des Conséquences de l'Infiabilité Humaine,

**AMDEC** Analyse des Modes de Défaillance de leur effet et de leur criticité,

**APR** : Analyse Préliminaire des Risques

**CREAM** : Cognitive Reliability and Error Analysis Method,

**FH** : Facteur Humain

**MAFERGO** : Méthodologie d'Analyse de la Fiabilité et de l'ERGonomie Opérationnelle

**LPC** : Livret des Points Critiques

**SdF** : Sûreté de Fonctionnement

**THEA** : Technique for Human Error Assessment  
**THERP** : Technique for Human Error Rate Prediction  
**ATHEANA** : A Technique for Human Error Analysis  
**COGENT** : Cognitive Event Tree System  
**HEART** : Human Error Assessment Reduction Technique  
**SLIM/MAUD** : Success Likelihood Index Method/Multi Attribute Utility Decomposition  
**TESEO** : Technica Empirica Stima Errori Operatori

## **7) Références**

- [1] Castel V., Smouts A.S., Colombar F., Delebarre V., " Prise en compte du Facteur Humain dans les études de Sûreté de Fonctionnement des systèmes militaires terrestres" *ERGO'IA 2006*
- [2] Vanderhaegen F., *Analyse et contrôle de l'erreur humaine*, Editions Lavoisier, 2003.
- [3] Harrison *et al.*, THEA, a reference guide, Technical report N°YCS 2001-336, University of York, Dept. of Computer Science, 2001.

# **Prise en compte du Facteur Humain dans les études Sûreté de Fonctionnement des systèmes militaires terrestres**

## **Human factors in reliability and safety studies of land militaries systems**

Anne-Sophie SMOUTS.Valérie CASTEL

Société Nexter Systems

11 allée des Maronniers 78022 Versailles Cedex

as.smouts@nexter-group.fr

01 39 49 30 28

v.castel@nexter-group.fr

01 39 49 81 30

### **Résumé**

Afin de répondre aux enjeux de la professionnalisation et de la modernisation de l'armée de terre française, la société Nexter Systems s'investit, depuis de nombreuses années, dans la fiabilité ou fiabilisation opérationnelle des systèmes militaires terrestres qu'elle conçoit ou modernise. L'approche théorique menée en 2005 faisait émerger deux méthodologies : THEA et ACIH. L'application de l'une d'elles (THEA) à la modernisation d'un véhicule blindé de reconnaissance à roues constitue l'objet de la présente communication. Il s'agit ici de restituer les premiers retours d'expérience sur la mise en place d'une ingénierie concourante entre deux disciplines transverses et critiques que sont : la sûreté de fonctionnement et l'ergonomie.

### **Summary**

Since many years, Nexter Systems CIE optimizes the safety of the land-based militaries or systems developed and renovated by itself. A methodological reflection was initiated : how improve the contribution of the system, ergonomics and reliability activities in the global process of Man -Machine systems design. This paper presents the main results.

### **1)Contexte**

Afin de répondre aux enjeux de la professionnalisation et de la modernisation de l'armée de terre française, Nexter Systems s'investit, depuis de nombreuses années dans la fiabilité opérationnelle des véhicules militaires terrestres qu'elle développe ou modernise. L'évolution des technologies de l'information et de la communication remet en cause la conception des systèmes sociotechniques militaires et par la même leur doctrine d'emploi (coopération interarmes et interarmées). Ces systèmes sont aussi de plus en plus complexes par conséquent leur mise en œuvre et leur emploi peuvent rapidement s'avérer difficiles à gérer pour un opérateur humain. Fort de ce constat, il n'est plus possible d'envisager la fiabilité opérationnelle en se limitant qu'aux défaillances matérielles et en considérant l'homme comme un facteur limitant de conception. Etudier la fiabilité opérationnelle d'un système militaire c'est définir les scénarios conduisant à sa destruction ou à sa dégradation. Cette destruction ou dégradation peut être causée par une défaillance du système (problème de fiabilité) mais elle peut aussi être due à une "déviance" du servant lors de la mise en œuvre et de la gestion du système d'arme dont il a la charge. Les "déviances" peuvent avoir différentes origines (charge de travail, pénibilité de la tâche, vigilance, fatigue...) Un facteur supplémentaire est le contexte dans lequel évolue l'opérateur : dans un contexte de fortes tensions émotionnelles, l'opérateur a ou peut avoir une appréciation erronée de la situation. Le stress peut ainsi conduire à des erreurs humaines dans la gestion des situations "incidentelles" et contribuer à dégrader ces mêmes situations et les transformer en "accidentelles". Cette réflexion souligne la nécessité de renforcer les aspects "fiabilisation" des systèmes en considérant les modalités de prise en compte du risque humain dans la démarche de conception dès les phases amont et de ne plus se focaliser uniquement sur la fiabilité des composantes matérielles. Suite à ce constat, les études de sûreté de fonctionnement proposaient jusqu'alors une approche quantitative du facteur humain. Si la pertinence des méthodes utilisées n'était pas remise en cause, il apparaissait une incohérence entre les conclusions de ces études et le retour d'exploitation de ces systèmes militaires terrestres. Il fallait entièrement repenser la prise en compte du facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement en s'appuyant sur d'autres méthodes plus appropriées aux systèmes militaires terrestres, en étudiant les documents réalisés par le métier sûreté de fonctionnement et par le métier facteur humain et en remettant en cause "les habitudes".

### **2)Objectifs**

L'objectif est d'intégrer le facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement car la prise en compte du facteur humain dans la conception et l'exploitation de systèmes a un impact fort sur le niveau de confiance global atteint par le système et plus particulièrement sur la tenue des objectifs FMDS. Lorsqu'on intègre le facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement, il faut prendre en compte les erreurs humaines mais aussi la contribution de l'humain au fonctionnement du système (l'opérateur peut améliorer le fonctionnement en anticipant ou en traitant des situations avant occurrence d'une situation à risque). Le but aussi est de créer une synergie entre la sûreté de fonctionnement et le facteur humain en apprenant à connaître le métier de l'autre et en s'enrichissant des différents points de vue car ces deux métiers interviennent sur le même objet de conception mais leur préoccupation diffère : la sûreté de fonctionnement se focalise sur la composante matérielle l'ergonomie se concentre sur la composante humaine.

### **3)Démarche**

La présente étude répond à cette préoccupation (l'intégration du facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement) en proposant la mise en place d'une ingénierie concourante entre la sûreté de fonctionnement et l'ergonomie. Comment intégrer au regard des spécificités des systèmes sociotechniques, le facteur humain dans les études de sûreté de fonctionnement ? Quelles sont les méthodes d'analyse les plus pertinentes c'est-à-dire compréhensibles et acceptables pour ces deux métiers ? Un état de l'art a été réalisé montrant que les erreurs humaines ont été étudiées selon deux axes distincts : une approche quantitative, et une approche qualitative. Cet état de l'art s'est aussi appuyé sur le retour d'expérience des études de sûreté de fonctionnement intégrant le facteur humain (problèmes rencontrés). Parmi les méthodes identifiées par l'état de l'art, deux émergent : THEA (Technique for Human error Assessment) et ACIH (Analyse et Contrôle de l'Infiabilité Humaine).

### **5) Conclusion**

La pertinence de THEA et ACIH pour le domaine militaire terrestre a été évaluée par Nexter Systems dans le cadre de la modernisation d'un véhicule à roues : une des deux méthodes a été choisie en s'appuyant sur des critères précis, évaluée et aménagée pour répondre plus particulièrement aux spécificités des systèmes développés par NEXTER Systems. Le retour d'expérience restitué dans la littérature met bien en évidence l'absence d'une ingénierie concourante qui intégrerait dans la démarche de conception globale : la fiabilité du système, les propriétés de comportement et le facteur humain. Concernant la prise en compte du FH dans les études SDF, cela nécessite d'adopter une approche plus pertinente. En effet, réduire la composante humaine du système à une donnée numérique est désormais reconnu comme réducteur, peu crédible et hasardeux.