

# Intégration du facteur humain dans l'ingénierie système, approche de l'IEC 63187

## Integrating human factor inside systems engineering, IEC 63187 approach

SMOUTS Anne-Sophie  
KNDS France  
Versailles  
anne-sophie.smouts@knds.fr

POTIRON Katia  
KNDS France  
Bourges  
katia.potiron@knds.fr

**Résumé** — L'industrie de défense, comme beaucoup d'autres industries, fait face à une forte complexification de ses systèmes et systèmes de systèmes intégrant l'humain. En outre, l'humain, qui a toujours eu un rôle central dans la *safety* de ces systèmes, voit sa perception de l'environnement et son rôle évoluer fortement (la perception de l'environnement par l'humain est remise en question par les Technologies Emergentes Disruptives).

En tenant compte de ces évolutions, la *safety* ne peut plus être pertinente si elle se limite à prendre en compte l'humain et le facteur humain uniquement par le prisme d'un contrôleur potentiellement défaillant et externe au système. La *safety* doit considérer l'humain comme un élément à part entière du système et intégrer dans ses analyses l'impact de l'humain sur les activités réalisées par le système.

Face à ces constats, l'IEC 63187 intègre la prise en compte du facteur humain dans ses exigences ainsi qu'au travers d'une annexe explicative de manière à permettre la prise en compte de l'humain et du facteur humain comme un élément à part entière du système et à pointer vers les études et méthodologies permettant de le faire. Le but de l'article est de développer la manière dont l'humain et le facteur humain sont pris en compte dans l'IEC 63187 et quels en sont les résultats attendus par rapport à la *safety* du système.

**Mots-clefs** — *Facteur humain, IEC 63187, risques, mesures d'importance, safety*

**Abstract** — The defence industry, like many other industries, is facing a major increase in the complexity of its systems and systems of systems integrating human beings. On the other hand, humans, who have always played a central role in the safety of these systems, are seeing their role and their perception of the environment evolve significantly (human perception of the environment is questioned by Emerging Disruptive Technologies; perception is no longer direct).

Given these developments, safety can no longer be representative if consider the human and the human factor solely through the prism of a potentially faulty controller external to the system. Safety must consider the human being as an integral part of the system and integrate the human factor into its analyses.

In response to these findings, IEC 63187 includes consideration of the human factor in its requirements and in an explanatory appendix, so as to enable the human factor to be considered as a fully-fledged element of the system and to point to studies and methodologies enabling this to be done. The aim of the article is to develop the way in which the human and the human factor are considered in IEC 63187 and what the expected results are in terms of system safety.

**Keywords** — *Human Factor, IEC 63187, risk, measure of importance, safety*

### I. INTRODUCTION

Cette publication présente la prise en compte du facteur humain dans l'IEC 63187-1 (IEC, 2022), future norme pour les systèmes et les systèmes de systèmes intégrant les activités de *safety* dans les processus d'ingénierie système de l'ISO/IEC/IEEE 15288 (ISO et al., 2023).

L'industrie de Défense, comme beaucoup d'autres industries (par exemple l'industrie automobile pour la conduite autonome), fait face à une forte complexification de ses systèmes et systèmes de systèmes intégrant l'humain. De plus, l'humain, qui a toujours eu un rôle central dans la *safety* de ces systèmes, voit sa perception de l'environnement et son rôle évoluer fortement (la perception de l'environnement par l'humain est remise en question par les Technologies Emergentes Disruptives, la perception n'étant plus directe).

34 Etant donné ces évolutions, la *safety* ne peut plus être représentative si elle se limite à prendre en compte l'humain et le  
35 facteur humain uniquement par le prisme d'un contrôleur potentiellement défaillant et externe au système. La *safety* doit  
36 considérer l'humain comme un élément à part entière du système et doit l'analyser comme tel. L'erreur humaine est alors  
37 considérée comme un symptôme intrinsèque au système et à sa conception et non limitée à être une cause externe de la  
38 défaillance du système.

39 Face à ces constats, l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) propose la prise en compte du facteur humain dans les exigences qu'elle  
40 définit au sein de sa partie I mais aussi au travers d'une annexe explicative dans l'IEC TR 63187-2 (IEC, 2024) de manière à  
41 permettre la prise en compte de l'humain et du facteur humain comme un élément à part entière du système et à pointer vers les  
42 études et méthodologies permettant de le faire.

43 Note 1 : Définition des facteurs humains pris en compte par la norme IEC 63187-1 et cet article :

44 Facteurs humains : discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les  
45 autres composants d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le  
46 bien-être des personnes et la performance globale des systèmes (IEC 63187-1 (IEC, 2022) définition issue de ISO 26800:2011  
47 (ISO, 2011), il s'agit d'une approche pluridisciplinaire.

48 Note 2 : Le terme *safety* sera utilisé pour regrouper la sécurité liée à l'absence de risque inacceptable induit par un système  
49 fonctionnant suivant sa spécification et la sécurité fonctionnelle.

## 50 II. L'APPROCHE DE L'IEC 63187-1 : LES EXIGENCES

### 51 A. Considération de l'humain dans l'ISO/IEC/IEEE 15288

52 Comme mentionné rapidement en introduction l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) est basée sur l'ISO/IEC/IEEE/15288 (ISO et al.,  
53 2023), nous commencerons donc par présenter rapidement la considération que cette dernière norme fait de l'humain et en  
54 particulier du facteur humain. On notera que le périmètre de définition d'un système par l'ISO/IEC/IEEE/15288 est le suivant  
55 dans la définition de son périmètre :

56 *This International Standard concerns those systems that are man-made and may be configured with one*  
57 *or more of the following system elements: hardware, software, data, humans, processes (e.g., processes*  
58 *for providing service to users), procedures (e.g., operator instructions), facilities, materials and*  
59 *naturally occurring entities.*

60 Dans les concepts clés :

61 *e) humans can be viewed as both users external to a system and as system elements (i.e., operators)*  
62 *within a system;*

63 L'humain est effectivement intégré dans les systèmes pris en compte par la norme aussi en tant qu'élément d'un système  
64 dans sa définition même. L'humain est ainsi mentionné comme devant être pris en compte dans plusieurs processus soit  
65 directement au travers du facteur humain soit en tant que système, soit dans la définition des interfaces. On retrouve ainsi le  
66 facteur humain dans le processus de gestion de l'infrastructure par exemple :

67 *Physical factors (e.g., facilities), logistics needs, and human factors (including health and safety*  
68 *aspects) are also considered.*

69 Ou dans le processus de définition des exigences du système :

70 *For systems intended for human interaction, human factors engineering (ergonomics) specifications are*  
71 *considered.*

72 La vision de l'ISO/IEC/IEEE 15288 (ISO et al., 2023) de l'humain et du facteur humain n'a cependant pas vocation à être  
73 exhaustive comme l'indique la norme car elle voit le facteur humain comme une ingénierie de spécialité (« process view » tel  
74 que défini au paragraphe 5.8.3 de l'ISO/IEC/IEEE 15288). Il est donc naturel, étant donné l'impact fort des facteurs humains  
75 sur la *safety*, que l'IEC 63187-1 (IEC, 2022), intègre les facteurs humains dans ses exigences.

76 L'IEC 63187-1 ne propose pas une vision complète du facteur humain par rapport à l'ingénierie système mais par rapport  
77 aux impacts des facteurs humains sur la *safety*. Ceci débute dès les principes sous-jacents à la norme comme nous allons le voir  
78 dans la suite.

### 79 B. Considération du facteur humain dans l'IEC 63187-1

80 Concernant la place de l'humain dans le système, l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) reprend la définition de « système » de  
81 l'ISO/IEC/IEEE/15288 (ISO et al. 2023), l'humain est donc intégré dans le système en tant qu'un sous-système.

82 En effet, les principes de l'IEC 63187-1 tels qu'ils ont aussi été discutés dans (Ricque B. et al., 2022) intègrent la prise en  
83 compte de l'humain et du facteur humain.

84 Au travers du principe D ‘intégration de la *safety* à l’ingénierie système’, l’IEC 63187-1 traite l’ingénierie de *safety* comme  
85 une partie intégrante de l’ingénierie système, qui cherche donc à satisfaire parmi les objectifs du système, ceux relatifs à la *safety*.  
86 En particulier, les activités liées à la prise en compte du facteur humain sont déclinées durant tout le cycle de vie du système y  
87 compris la maintenance. Le facteur humain est considéré comme une partie intégrante du système et doit être analysé dans  
88 l’environnement. L’humain est considéré comme pouvant modifier la cause racine d’un danger : il peut avoir un rôle de  
89 supervision ou un rôle de rattrapage de situations potentiellement dangereuses grâce à ses capacités d’analyse, de créativité.

90 L’approche retenue par la norme consiste à définir les objectifs de *safety* au sein des objectifs plus généraux du système,  
91 apportant ainsi la souplesse nécessaire pour mettre en place les meilleurs compromis entre les différents objectifs, notamment  
92 vis-à-vis des objectifs de mission du système.

93 Le second aspect de ce principe par rapport à la place de l’humain et du facteur humain, est qu’il implique d’appréhender les  
94 interactions de la *safety* avec les autres domaines d’ingénierie. Et donc notamment d’appréhender la prise en compte des  
95 différents opérateurs humains, avec leurs limites mais aussi leurs capacités d’adaptation, c’est à dire à la fois comme :

- 96 • Partie prenante d’un mécanisme de contrôle d’un danger (ou d’une action inappropriée pouvant engendrer un danger),
- 97 • Mais aussi au travers de sa capacité à récupérer les situations dangereuses grâce à un comportement non prévu lors de  
98 l’analyse de l’activité théorique.

99 C’est cette capacité de créativité qui fait tout l’intérêt d’analyser les comportements par un autre prisme que l’erreur humaine.  
100 Aussi, au regard de ces perspectives, il est réducteur d’intégrer l’homme comme facteur limitant de conception. Il est aussi source  
101 d’innovation : par exemple l’atterrissage sur l’Hudson du commandant Sully (NTSB, 2010).

102 Pour le principe E ‘démarche appropriée aux attendus’, l’IEC 63187-1 a retenu une approche adaptée aux différentes sources  
103 de situations dangereuses. La norme prend donc en compte des situations dangereuses résultantes de pannes dites aléatoires,  
104 pannes ou défaillances systématiques, exigences inappropriées ou incomplètes, vulnérabilités cyber, facteurs humains, non-  
105 conformités à la définition attendue, comportements inappropriés résultant d’interactions prévues ou non.

106 Tous les domaines de la physique, avec des sources de danger de nature très diverses, des dispositifs de contrôle des sources  
107 de danger de nature très variée, qui ne sont pas limités à l’électronique et au logiciel, mais aussi mécanique, hydraulique,  
108 thermodynamique, pyrotechnique, aérodynamique, ... De même, tous les environnements thermiques, mécaniques,  
109 radioélectriques, ... sont adressables dans le cadre de la norme même si elle n’aborde pas directement les techniques et mesures  
110 qui leur sont applicables.

111 Dans le domaine de la Défense, l’emploi des systèmes, tant en termes de conditions que d’environnement est vaste et  
112 susceptible d’évoluer au cours de la vie du système.

### 113 C. La couverture de la prise en compte de l’humain et du facteur humain dans l’IEC 63187-1

114 L’IEC 63187-1 (IEC, 2022) intègre plusieurs exigences traitant de la prise en compte de l’humain et des facteurs humains  
115 pour leurs impacts sur la *safety* du système.

116 Dès le processus d’acquisition, l’accent est mis sur une définition claire entre fournisseur et acquéreur de l’étendue de la prise  
117 en compte du facteur humain dans les analyses futures du système. Le rôle de l’humain se retrouve ensuite intégré dans les  
118 exigences de l’IEC 63187-1 concernant le facteur humain au sein des processus d’ingénierie système comme illustré par les  
119 ovales verts sur la Figure 1.

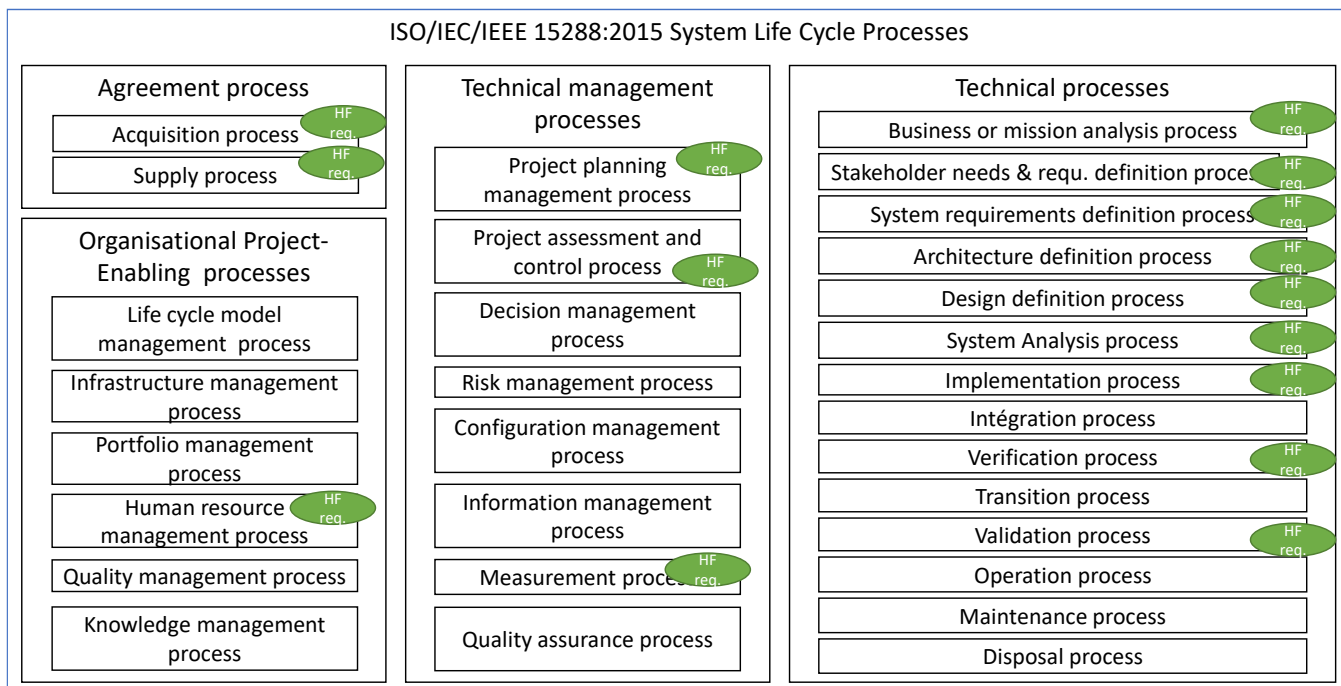


Figure 1: Répartition des exigences de l'IEC 63187 intégrant le facteur humain par rapport aux processus de l'ingénierie système

Les éléments clé de prise en compte de l'humain dans les exigences de l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) sont :

- La prise en compte de la mission et du profil d'emploi et donc de l'activité de l'humain au cours de la mission.
- L'identification du rôle des facteurs humains dans les boucles de contrôle à mettre en place.
- La réalisation des analyses de l'impact de l'humain dans le système.
- Le rôle de l'humain dans la stratégie de *safety*.
- Le rôle de l'humain au sein de l'architecture choisie pour le système.

Cela passe par la définition des responsabilités, des comportements et de toutes les hypothèses liées aux facteurs humains en lien avec les objectifs de *safety* tels que définis par la norme.

L'humain est un des facteurs à prendre en compte pour le choix de l'architecture, en particulier, concernant la contrôlabilité des événements dangereux du système et la complexité de son activité.

#### D. La stratégie de prise en compte de l'humain et du facteur humain dans l'IEC 63187-1

Le dernier principe de l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) que nous citerons est le principe C 'Théorie des systèmes et théorie du contrôle' (Ricque B. et al., 2022) car en effet la théorie du contrôle s'appuie sur l'analyse des comportements émergents ce qui inclut de facto les facteurs humains.

Tous les comportements émergents dépendent du contexte dans lequel ils surviennent, pour comprendre l'erreur humaine il faut analyser le système, certaines conceptions rendent l'erreur humaine inévitable. Il faut aussi prendre en compte l'émergence des situations nécessitant des arbitrages et définir la place de l'humain dans ce cas de figure. Le facteur humain est un élément du système qui peut contribuer :

- A l'émergence d'enjeux / de pertes qui nécessitent d'être analysés,
- A la définition d'objectifs ou d'exigences de *safety* afin de contrôler de façon appropriée les situations dangereuses dans toutes les phases de vie, toutes les conditions d'emploi et tout au long du cycle de vie.

La Figure 2 présente les objets sur lesquels l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) base la décomposition et recombinaison de la stratégie de *safety*. La norme distingue les objectifs de *safety* des exigences de *safety* afin de dissocier les contraintes vis-à-vis du système et les solutions retenues pour y répondre ; d'identifier des comportements émergents au niveau des différents niveaux de décomposition, de les décliner et de les consolider par la suite. Elle inclut un ensemble d'exigences normatives pour bâtir à la demande un ensemble de mesures d'importance applicables aux événements dangereux, aux objectifs de *safety* et aux exigences de *safety*.

Les comportements émergents peuvent avoir différentes origines : un pic de charge de travail, la pénibilité et la répétitivité d'une tâche, une baisse de vigilance, une fatigue ... le contexte dans lequel évolue l'opérateur. Sous de fortes tensions émotionnelles, l'opérateur a ou peut avoir une appréciation erronée de la situation. Un stress mal géré peut conduire à des erreurs humaines dans la régulation des situations "incidentelles" et contribuer à dégrader ces mêmes situations en les transformant en

153 "accidentelles" et contribuer à l'apparition de pertes ou enjeux selon l'IEC 63187-1. L'intégration du facteur humain dans  
154 l'ingénierie système, demande de prendre en compte les erreurs humaines, mais aussi la contribution de l'humain au  
155 fonctionnement du système.

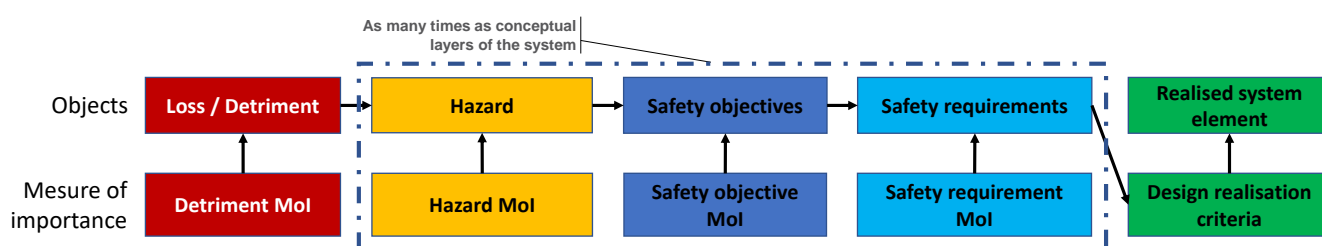
156 La Figure 2 présente les objets *safety* de l'IEC 63187-1 avec leur Mesure d'Importance associée (pour plus d'informations  
157 voir (Ricque et al. 2022)), les deux principes les plus importants par rapport aux facteurs humains sont :

158 • La récursivité : le schéma de décomposition identifié en pointillés sur la Figure 2 est répété par les parties prenantes  
159 autant de fois que nécessaire pour permettre la réalisation d'un système, l'humain est partie intégrante du système considéré à  
160 chaque fois, ainsi les analyses de facteurs humains peuvent être réalisées à chaque niveau d'abstraction et débiter avec les phases  
161 amont d'analyse du système (à partir des fonctions et des boucles de contrôle mentionnées précédemment dans le principe C de  
162 la norme) ;

163 • Les Mesures d'Importance :

164 o A chaque objet de la norme est associé une mesure de l'importance accordée à l'objet par rapport à un schéma  
165 défini et agréé entre les parties, ce schéma pourra prendre en compte les métriques d'importance liées aux  
166 études de facteurs humains,

167 o Les Mesures d'Importance sont définies pour chaque objet dans le cadre des scénarios d'usage, ces scénarios  
168 d'usage seront un lien entre les analyses de facteurs humains et les objets *safety* de la norme.



169  
170 Figure 2: Approche récursive et objets safety de l'IEC 63187-1

### 171 III. L'APPROCHE DE L'IEC TR 63187-2 : LES METHODES

172 L'IEC TR 63187-2 (IEC, 2024) intègre une annexe complète dédiée à la prise en compte des facteurs humains. L'objectif de  
173 cette annexe est de donner des clés pour pouvoir appréhender le facteur humain.

#### 174 A. Les méthodes

##### 175 1) Tour d'horizon des méthodes existantes

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

178 Cependant, un certain consensus semble s'établir sur le fait qu'aucune des méthodes actuelles n'atteint un niveau de fiabilité  
179 suffisant pour être unanimement reconnue. Ceci est d'autant plus difficile que la pertinence de chaque approche ne peut être  
180 appréhendée que localement.

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

183 Les méthodes dites de première génération reposent sur une vision behavioriste du Facteurs Humain. Pour celles-ci on  
184 s'intéresse d'avantage aux actions et résultats des actions des opérateurs et assez peu à « la boîte noire ». Parmi ces méthodes, la  
185 plus connue et la plus utilisée est la méthode THERP (Wikipedia contributors, 2023b) (Technique for Human Error Rate  
186 Prediction). Mais d'autres méthodes ont également un certain développement ou un "certain succès" comme TESEO (Wikipedia  
187 contributors, 2021) (Technica Empirica Stima Errori Operatori), HEART (Wikipedia contributors, 2023) (Human Error  
188 Assessment and Reduction Technique) ou SLIM-MAUD (Wikipedia contributors, 2023a) (Success Likelihood Index Method  
189 using Multi-Attribute Utility Decomposition). Le problème de ces méthodes quantitatives est que l'Homme est plus vu comme  
190 un facteur limitant du système et peuvent être appliquer sans connaissance de l'analyse de l'activité humaine. Si on se contente  
191 de cette analyse, on pourrait en déduire que plus le système est automatisé plus il est sûr. En effet, l'Homme n'est analysé que  
192 par le prisme de l'erreur humaine et toute la partie créativité, prise de décision dans une situation complexe et/ inédite n'est pas  
193 prise en compte. Or c'est dans ce contexte que l'Homme se démarque de la machine. L'IEC 63187-1 (IEC, 2022) ne préconise  
194 pas le quantitatif et préfère des méthodes qualitatives qui peuvent être complétées par des analyse quantitatives car elle se place  
195 au niveau système, avec l'idée que l'humain fait partie du système et est complètement intégré dans celui-ci. L'IEC TR 63187-  
196 2 (IEC, 2024) intègre une annexe complète dédiée à la prise en compte des facteurs humains dont l'objectif est de donner des  
197 clés et de proposer une méthodologie qui permet d'appréhender le facteur humain.

198 Il existe d'autres types de méthodes reposant sur des courants d'analyse mettant en avant par exemple « la culture de la  
199 sécurité » ou l'influence du management. Ce dernier courant est caractérisé par la prise en compte des facteurs organisationnels

200 et managériaux dans l'évaluation des risques en étudiant par exemple les facteurs qui font que certaines organisations s'illustrent  
201 par leur haute fiabilité.

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

- 205 • La démarche d'analyse des erreurs et de spécification de moyens de contrôles des erreurs est une démarche très utilisée  
206 en sûreté de fonctionnement (AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets), AEEL (Analyse des Effets des  
207 Erreurs du Logiciel, ...),
- 208 • Les moyens de contrôle sont souvent techniques ou bien sont basés sur des barrières organisationnelles.

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

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

215 Le souci des évaluations quantitatives est qu'elles entraînent un biais de raisonnement : l'humain doit être remplacé au  
216 maximum car « son taux de défaillance » est au maximum de 1.10<sup>-3</sup> (THERP (Wikipedia contributors, 2023b)). Le raisonnement  
217 est biaisé car il ne tient pas compte de la complexité et de la variabilité de l'Humain.

218 Quant aux méthodes proposant une approche qualitative, elles permettent de faire des propositions pour la prise en compte  
219 des erreurs humaines dans le processus de conception. C'est cet aspect qui est développé sur la suite de l'article.

220 Parmi ces méthodes, deux méthodes ont été sélectionnées :

- 221 • « THEA » (Harrison et al. 2001), développée par l'Université de York pour l'aide à la conception de systèmes Homme-  
222 machine,
- 223 • « ACIH » (Vanderhaegen F., Telle B., Gauthier J. 1998), développée par le Laboratoire d'automatique, de mécanique  
224 et d'informatique industrielle et humaine de Valenciennes.

225 2) *ACIH (Analyse des Conséquences de l'Infiabilité Humaine)*

226 Plusieurs facteurs ont amené à mettre de côté la méthode ACIH (Vanderhaegen F., Telle B., Gauthier J. 1998) :

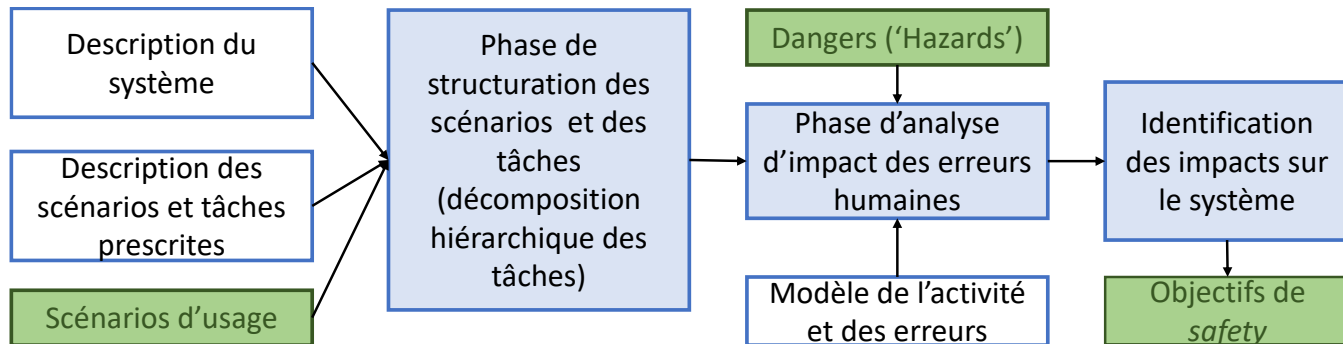
- 227 • La disponibilité des données est un critère déterminant dans le choix de la méthode. Le premier examen de la méthode  
228 ACIH souligne la nécessité de disposer de données d'entrée exhaustives et précises sur l'analyse des faits techniques  
229 impliquant la composante humaine et l'analyse de l'activité afin de pouvoir établir le lien entre les modes et les situations. Au  
230 regard des lacunes constatées, des contraintes projet (technique, calendaire et budgétaire) et des informations recueillies lors  
231 de l'étude opérationnelle menée dans les Forces, il s'est avéré que les données techniques disponibles étaient insuffisantes et  
232 incompatibles avec le niveau exigé par la méthode ACIH.
- 233 • La mise en œuvre de la méthode : la qualité des données d'entrée conditionne l'analyse du lien entre les modes et les  
234 situations. Ce lien entre les modes et les situations garantit l'exhaustivité de l'analyse, ce lien est complexe à réaliser et est  
235 impossible à définir correctement sans un niveau de détails très fin.
- 236 • La prise en main de la méthode :
  - 237 ○ Requiert un nombre d'analystes important et une démarche de sensibilisation appuyée par un guide  
238 d'exploitation afin de rendre accessible la méthode à des non spécialistes ou contributeurs experts,
  - 239 ○ Requiert une formation ainsi qu'un temps d'appropriation dimensionnant afin de permettre aux analystes de  
240 manipuler correctement la méthode,
  - 241 ○ Exige des compétences transverses variées pour pouvoir correctement manipuler la méthode,
  - 242 ○ Présente une moins grande souplesse d'utilisation,
  - 243 ○ Requiert une analyse fine ce qui implique un nombre exponentiel de modes et de situations en fonction de la  
244 complexité du système étudié,
  - 245 ○ Nécessite des cycles d'itérations,
  - 246 ○ Exige une analyse très poussée du terrain pour obtenir les données d'entrée avec le niveau de détail qu'exige la  
247 méthode et des moyens de modélisation pour avoir une approche rigoureuse et gérer l'ensemble des  
248 informations, situations à disposition des analystes.

249 Au regard des critères ci- avant exposés, il a été retenu de s'orienter vers la méthode THEA qui est plus pragmatique et  
250 convient mieux au contexte Défense.

251 *B. Description de la méthode THEA*

252 La méthodologie mise en avant dans l'IEC TR 63187-2 (IEC, 2024) s'appuie sur l'identification de la contribution de  
253 l'humain dans les différentes situations dangereuses conduisant à des pertes ou enjeux par la mise en place de tableaux d'analyse  
254 qui s'appuient sur la méthodologie THEA (Harrison et al. 2001), la prise en compte des risques particuliers liés au facteur humain  
255 permet de gérer les dangers et d'identifier les actions en réductions de risques à mettre en place. IEC TR 63187-2 n'identifie pas  
256 de livrables mais ces éléments doivent être tracés, mis à jour de la phase conception à l'utilisation et sans oublier la phase  
257 maintenance.

258 L'application de la méthode THEA est représentée sur la *Figure 3* en représentant en bleu les éléments liés à la méthode  
259 THEA et en vert un vision d'intégration et de lien avec l'IEC 63187-1.



260

261 *Figure 3: Etapes clé de la méthode THEA et interface avec les objets safety de l'IEC 63187*

262 *1) Phase de structuration des scénarios et des tâches*

263 Le formalisme de description des tâches et des scénarios est prédéfini par la méthode. L'objectif est donc de collecter  
264 suffisamment de scénarios afin de couvrir l'ensemble des phases d'utilisation y compris la maintenance.

265 Les champs clé de cette description sont :

- 266 • Le contexte de réalisation des tâches (Task context),
- 267 • Le contexte système,
- 268 • Le champ action.

269 Pour chacun d'eux, la démarche préconise des méthodes d'analyse qui permettent de structurer le scénario. En particulier, la  
270 description des tâches ('Task context') est fondée sur une technique de décomposition hiérarchique des tâches qui consiste à  
271 décomposer le but principal d'une tâche en sous buts et en sous tâches. La décomposition hiérarchique doit être complétée par  
272 une analyse temporelle appelée "Plan" dans la démarche. Cette phase permet d'indiquer les règles d'activation, de parallélisme,  
273 de séquençement... entre tâches « feuille » de la description hiérarchique.

274 On constate que cette approche est très similaire à un travail de spécification du comportement système, certains travaux de  
275 recherche utilisent un langage de type automate à états finis pour décrire les tâches.

276 L'analyse du contexte système permet en particulier de décrire la répartition des tâches sur les opérateurs et leurs interactions.

277 *2) Phase d'analyse d'impact des erreurs humaines*

278 *a) Modèles d'erreurs humaines*

279 Le modèle d'erreurs utilisé par la méthode THEA (Harrison et al. 2001) est un modèle de défaillances dans le traitement de  
280 l'information.

281 Les sources d'erreur relevées sont :

- 282 • Les erreurs de déclenchement ou d'activation : déclenchement d'une action erronée ou dans une mauvaise fenêtre  
283 temporelle,
- 284 • Les erreurs de conception : but inaccessible, perdu ou conflictuel avec un autre but,
- 285 • Les erreurs de planification (il s'agit en fait d'erreurs de logique temporelle affectant la réalisation des tâches),
- 286 • Les erreurs d'exécution des tâches,
- 287 • Les erreurs de perception d'un événement ou de l'effet d'une action,
- 288 • Les erreurs d'interprétation et d'évaluation.

289 Ces erreurs peuvent être regroupées en 4 ensembles :

- 290 • Les erreurs sur les buts,

- 291 • Les erreurs de planification et temporelles,  
292 • Les erreurs de réalisation des actions,  
293 • Les erreurs de perception et d'évaluation.

294 Les deux premiers ensembles peuvent se manifester en conception, en exploitation et en maintenance.

#### 295 *b) Analyse des erreurs humaines*

296 La méthode THEA consiste à faire une analyse critique des scénarios et des tâches de manière à identifier les causes possibles  
297 d'une erreur d'interaction entre l'Homme et le système.

298 Pour chaque cause, on évalue l'ensemble des conséquences sur le système et sur l'environnement. Cette démarche est  
299 strictement analogue à une analyse des modes de défaillances et de leurs effets.

300 Le processus THEA guide l'identification des modes de défaillances sur la base de questions qui portent sur :

- 301 • Les buts,  
302 • La planification des actions,  
303 • La réalisation des actions,  
304 • Les conditions de perception, d'interprétation et d'évaluation des événements ou des effets d'une action.

#### 305 *3) Identification des impacts sur le système*

306 L'analyse des erreurs a plusieurs buts :

- 307 • Elle permet de vérifier la cohérence et la complétude des tâches allouées aux agents et utilisateurs,  
308 • Elle permet de vérifier la cohérence mutuelle entre le comportement spécifié du système et celui des agents et  
309 utilisateurs,  
310 • Elle sert de point d'entrée pour proposer des mécanismes d'évitement ou de récupération des modes de défaillance (ou  
311 de dérive) dans les actions humaines.

312 En sortie, on a donc une liste des événements de couverture des erreurs humaines et une liste des risques résiduels liés aux  
313 erreurs humaines.

314 De cette analyse des erreurs humaines découlent :

- 315 • Des préconisations impactant directement la sécurité et / ou la fiabilité et / ou la disponibilité.  
316 • Des préconisations contribuant à la réduction des facteurs de risques de défaillance humaine (environnement physique  
317 de travail de l'opérateur et adéquation des postes, caractéristiques cognitives de l'activité et des tâches qui la compose : vigilance,  
318 charge de travail...).

#### 319 *C. Adaptation de la méthode THEA*

320 Le formalisme proposé par la méthode THEA (Harrison et al. 2001) s'est avéré assez rapidement fastidieux et contraignant  
321 car il engendrait un nombre important de répétitions apportant peu de plus-value à l'analyse. De plus, il ne permettait pas de  
322 traiter correctement la complexité des tâches, leur profil, leur niveau de simultanéité, ni même d'avoir des précisions sur la nature  
323 du travail (travail individuel / travail collaboratif).

324 L'approche proposée par la méthode rendait difficile :

- 325 • L'appréciation globale de la charge de travail,  
326 • La hiérarchisation des scénarii retenus,  
327 • L'élaboration d'une grille de criticité intégrée ensuite dans le livret des points critiques,  
328 • La traçabilité.

329 Après ces constats, les spécialistes facteurs humains et sûreté de fonctionnement ont formalisé leurs propres tableaux et se  
330 sont affranchis de la méthode THEA. Pour créer ces tableaux, ils se sont servis du retour d'expérience des tableaux THEA ci-  
331 dessus et ont gardé la même philosophie avec comme objectif :

- 332 • L'enrichissement de la méthode THEA avec les éléments manquants et nécessaires pour la suite de l'analyse,  
333 • L'amélioration de la lisibilité de la méthode afin de la rendre plus accessible aux non "initiés" en réduisant notablement  
334 les répétitions,  
335 • La prise en compte de la spécificité des systèmes étudiés propres au secteur de la Défense.

#### 336 *1) Exemple de tableau de suivi de la méthode*



Les résultats d'étude sont formalisés sous forme de tableaux, chaque tableau correspondant à un scénario. Le formalisme des tableaux a été retravaillé afin de tenir compte de la complexité de la tâche et des scénarios étudiés (voir Table 1).

Table 1: Proposition de formalisme d'analyse instancié sur un exemple

Caractéristiques du scénario		
<b>Titre</b>	Mise à feu	
<b>Contexte</b>	La mise à feu s'effectue en emploi opérationnel	
<b>Actes élémentaires concernés</b>	Utiliser l'arme, se poster, communiquer	
<b>Evénements redoutés rattachés</b>	Mouvement intempestif Lésions auditives	
<b>Statut du scénario dans "la prise en compte ou la gestion des erreurs humaines"</b>	Primordial	
Caractéristiques des opérateurs		
<b>Description de leurs fonctions et de leurs missions :</b> Le chef : il intervient dans toutes les fonctions à chaque fois qu'il y a une prise de décision. Son activité peut être décrite comme suit : commander l'équipe de pièce, assurer les liaisons avec le niveau hiérarchique supérieur, et décider de l'engagement. Le chargeur : il est responsable de l'approvisionnement en munition de l'arme.		
<b>Opérateurs impliqués dans le scénario</b>	Tous les opérateurs	
<b>Contribution dans le scénario</b>	Le chargeur approvisionne l'arme et le chef prend les décisions	
Caractéristiques de la tâche		
<b>Nature de la tâche impliquée dans le scénario</b>	Pour le chargeur la tâche est physique : port des munitions Pour le chef la tâche est à dominante mentale (tâches de surveillance) et cognitive : prises de décision, saisies d'information et diagnostics.	
<b>Mode de réalisation</b>	La tâche est réalisée en équipe (travail collaboratif)	
<b>Chronologie entre tâches (lien dynamique, interaction et criticité de l'interaction)</b>	Données confidentielles	
<b>Tâches préparatoires</b>	Données confidentielles	
<b>Pendant l'activité</b>	Données confidentielles	
<b>Contributeurs à la réalisation de la tâche</b>	Données confidentielles	
<b>Déviante potentielle (RETEX) et circonstances</b>	Difficultés à entendre les messages radio Les munitions sont lourdes, le chargement des munitions est pénible Difficultés de visibilité des écrans Bruit lors du tir	
Caractéristiques du système		
<b>Equipements sollicités et interactions Homme-système</b>	Données confidentielles	
<b>Existence de modes dégradés et/ou de mode secours</b>	Données confidentielles	
<b>Poids de la composante humaine</b>	Le chargement est une tâche non automatisée, beaucoup de tâches permettant le tir reposent uniquement sur l'humain et plus particulièrement sur le travail collaboratif	
<b>Problème d'utilisabilité rencontré</b>	Les éléments ne peuvent pas être renseignés car les données sont confidentielles	
Recommandations		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avoir une assistance lors du chargement des munitions</li> <li>2. Prévoir des protections auditives adaptées</li> <li>3. Prévoir des écrans dont l'éclairage peut évoluer en fonction de la lumière environnante</li> <li>4. Avoir un système qui permet d'isoler l'opérateur lors de la réception des messages radio</li> <li>5. ...</li> </ol>		
Synthèse		
Déviante	Recommandations	Risques
Bruit lors du tir	Prévoir des protections auditives adaptées	Lésions auditives

Difficultés de visibilité des écrans	Prévoir des écrans dont l'éclairage peut évoluer en fonction de la lumière environnante	Un tir en dehors de la zone de tir
--------------------------------------	---	------------------------------------

340

341 Certaines rubriques et leurs déclinaisons se suffisent à elles seules, d'autres nécessitent une introduction, elles sont détaillées  
342 dans la suite de l'article.

343 Les caractéristiques de la tâche se déclinent en :

- 344 • Tâche physique,
- 345 • Tâche mentale,
- 346 • Tâche cognitive.

347 Toute activité humaine comporte toujours plus ou moins les quatre composantes suivantes :

- 348 • Une composante motrice,
- 349 • Une composante informationnelle,
- 350 • Une composante régulatrice,
- 351 • Une composante intellectuelle.

352 Le travail mental se décline quelque peu différemment. On y identifie toutes les activités ayant un lien avec le traitement de  
353 l'information qu'effectue un opérateur humain lors de la mise en œuvre des processus suivants :

- 354 • La prise d'information sur le monde extérieur (perception),
- 355 • L'analyse de l'information, c'est-à-dire les raisonnements portant sur l'information externe (issue de la perception) ou  
356 portant sur l'information interne (issue de la mémoire),
- 357 • La mémoire,
- 358 • La représentation mentale.

359 Sont identifiées comme tâches mentales : les tâches de contrôle, de surveillance et de régulation, de guet ou de vigilance, de  
360 pilotage, de poursuite (tracking), de commande à distance, de diagnostic, de conception.

361 La tâche est dite cognitive lorsque l'activité demande un traitement de l'Information, afin de prendre une décision appropriée  
362 (résolution de problème ...). Ceci renvoie à :

- 363 • La prise d'information (perception),
- 364 • L'analyse de l'information c'est à dire les raisonnements sous toutes leurs formes, portant sur l'information externe  
365 (provenant de la perception) ou sur l'information interne (provenant de la mémoire)
- 366 • La mémoire à plus ou moins long terme,
- 367 • La représentation mentale.

## 368 2) *Eléments détaillés sur le statut du scénario*

369 Le statut du scénario se définit selon les critères suivants :

- 370 • Nombre d'actes élémentaires menés en parallèle,
- 371 • Profil de la tâche (cognitive, mentale, physique),
- 372 • Complexité de la tâche : tâche à la fois cognitive, mentale... et utilisant plusieurs canaux sensoriels,
- 373 • Nombre d'informations et commandes manipulées,
- 374 • Assistance et aide à la réalisation de la tâche,
- 375 • Tâches répétitives ou tâches très ponctuelles.

376 La charge de travail découle du cumul de l'ensemble de ces critères et la définition du scénario est synthétisée par la



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

## 380 3) Liens entre les recommandations de conception et les risques : notion de criticité

381 Les recommandations sont listées dans la table 1 et sont reliées aux risques identifiés lors de l'analyse *safety*. A partir des  
 382 risques et du statut du scénario, une criticité peut être déterminée et permet de hiérarchiser les recommandations à prendre en  
 383 compte afin de d'améliorer la *safety* du système étudié.

384 Un exemple de matrice de criticité s'appuyant sur la norme MIL-STD-882 E (DOD, 2012) est présenté ci-dessous :

385 Table 3: Exemple de matrice de criticité pour les points critiques facteur humain

Gravité Statut du scénario	Catastrophique	Grave	Marginal	Négligeable
Primordial	Haut	Haut	Majeur	Moyen
Important	Majeur	Majeur	Moyen	Bas
Mineur	Moyen	Moyen	Bas	Bas

- 386 • Catastrophique : risque de mort d'hommes  
 387 • Grave : risque de blessures graves causant un handicap permanent  
 388 • Marginal : risque de blessures légères  
 389 • Négligeable : aucun impact

390 Les recommandations identifiées doivent être tracées et suivies afin de s'assurer de leur bonne prise en compte dans la  
 391 conception du système. La norme IEC 63187-1 (IEC, 2022) n'impose aucun formalisme de document pour tracer ces  
 392 recommandations et leur prise en compte.

## 393 IV. CONCLUSION

394 L'article a présenté la démarche de prise en compte de l'humain et du facteur humain dans l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) et  
 395 quels en sont les résultats et apports attendus par rapport à la *safety* du système.

396 L'approche de l'IEC 63187-1 est de permettre une prise en compte du facteur humain tout au long du cycle de vie du système  
 397 y compris en phase de maintenance dans la démarche ingénierie système par le biais d'exigences spécifiques. Dans une annexe  
 398 spécifique de l'IEC TR 63187-2 (IEC, 2024), il est expliqué comment introduire les facteurs humains dans l'analyse et la méthode  
 399 THEA (Harrison et al. 2001) est proposée afin de mener cette analyse.

400 Les résultats de cette démarche sont une prise en compte du facteur humain dès la conception, une diminution du risque de  
 401 déviations pouvant conduire à une situation dangereuse et l'identification de mesures d'importance pertinentes, applicables au  
 402 système étudié.

403 In fine, l'application de la norme doit conduire à appliquer un effort accru d'ingénierie consenti au titre de la sûreté du système  
 404 considéré, de façon focalisée et proportionnée sur les activités permettant d'assurer le contrôle adéquat des dangers avec le niveau  
 405 de confiance recherché. Bien entendu, la norme et ses annexes ne peuvent en aucun cas être un substitut à un défaut de  
 406 compétences et de connaissances. La compréhension du fonctionnement du système reste nécessaire pour que soient implémentés  
 407 les contrôles adéquats des situations dangereuses, et pour assurer la confiance recherchée dans ces systèmes.

408 L'IEC 63187-1 a été conçue pour pouvoir également être appliquée à de nombreux autres domaines. En effet, un système de  
 409 Défense est bien souvent l'agrégation de fonctions existant dans d'autres secteurs industriels.

## 410 REMERCIEMENTS

411 Les auteurs remercient spécialement Bertrand Ricque, disparu en août 2023 et sans qui la réalisation de l'IEC 63187  
 412 regroupant des représentants de nombreuses industries et autorités du domaine de la Défense n'aurait pas vu le jour.

413 Le travail sur la synergie entre le facteur humain et la *safety* n'aurait pas vu le jour sans la collaboration de Valérie Castel,  
 414 experte en facteur humain et disparue prématurément, qui a fortement contribué par ses compétences et son pragmatisme au  
 415 choix et à la mise en œuvre de la méthode THEA.

416 L'article décrit certaines des orientations de l'IEC 63187-1 (IEC, 2022) et de l'IEC TR 63187-2 (IEC, 2024), jugées  
 417 essentielles ou notables par les auteurs, sans engagements sur les possibles évolutions à venir lors du processus de maturation et  
 418 d'acceptation de la norme.

## REFERENCES

- 419  
420 DEPARTMENT OF DEFENSE. UNITED STATES OF AMERICA. (2012). MIL-STD-882E SYSTEM SAFETY. DOD USA.
- 421 HARRISON ET AL. (2001), THEA, A REFERENCE GUIDE, TECHNICAL REPORT N° YCS2001-336, UNIVERSITY OF YORK, DEPT.  
422 OF COMPUTER SCIENCE
- 423 HOLLNAGEL, E. (1998). COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD (CREAM). DANS ELSEVIER eBooks.  
424 [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/B978-0-08-042848-2.X5000-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042848-2.X5000-3)
- 425 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). (2022). IEC 63187-1: SYSTEMS ENGINEERING – SYSTEM SAFETY –  
426 COMPLEX SYSTEMS AND DEFENCE APPLICATIONS [IEC COMMITTEE DRAFT]. IEC.
- 427 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). (2024). IEC TR 63187-2 [DOCUMENT NON PUBLIÉ]. IEC.
- 428 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC),  
429 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). (2023). ISO/IEC/IEEE 15288:2023 : INGÉNIERIE DES  
430 SYSTÈMES ET DU LOGICIEL – PROCESSUS DU CYCLE DE VIE DU SYSTÈME. ISO/IEC/IEEE.
- 431 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). (2011). ISO 26800:2011 ERGONOMIE — APPROCHE  
432 GÉNÉRALE, PRINCIPES ET CONCEPTS. ISO.
- 433 LASSAGNE (2004)
- 434 NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. (2010). AIRCRAFT ACCIDENT REPORT - LOSS OF THRUST IN BOTH ENGINES  
435 AFTER ENCOUNTERING A FLOCK OF BIRDS AND SUBSEQUENT DITCHING ON THE HUDSON RIVER - US AIRWAYS FLIGHT 1549
- 436 RICQUE, B., JOGUET, B., BRINDEJONC, V., SEMENERI, N., & POTIRON, K. (2022). IEC 63187 : INTÉGRER LA SÛRETÉ DE  
437 FONCTIONNEMENT AU SEIN DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME. HAL (LE CENTRE POUR LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE DIRECTE).  
438 [HTTPS://HAL.ARCHIVES-OUVERTES.FR/HAL-03878071](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03878071)
- 439 VANDERHAEGEN F., TELLE B., GAUTHIER J. (1998) TOWARD A METHOD TO ANALYSE CONSEQUENCES OF HUMAN  
440 UNRELIABILITY – APPLICATION TO RAILWAY SYSTEM (p.203-208), PROCEEDINGS OF THE 7TH IFAC/IFIP/IFORS/IEA SYMPOSIUM  
441 ON ANALYSIS, DESIGN AND EVALUATION OF MAN-MACHINE SYSTEMS.
- 442 WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. (2021, AOÛT 31). TESEO. WIKIPEDIA. [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/TESEO](https://en.wikipedia.org/wiki/TESEO)
- 443 WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. (2023, FÉVRIER 23). HUMAN ERROR ASSESSMENT AND REDUCTION TECHNIQUE. WIKIPEDIA.  
444 [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/HUMAN\\_ERROR\\_ASSESSMENT\\_AND\\_REDUCION\\_TECHNIQUE](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_error_assessment_and_reduction_technique)
- 445 WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. (2023A, DÉCEMBRE 18). SUCCESS LIKELIHOOD INDEX METHOD. WIKIPEDIA.  
446 [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/SUCCESS\\_LIKELIHOOD\\_INDEX\\_METHOD](https://en.wikipedia.org/wiki/Success_likelihood_index_method)
- 447 WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. (2023B, 28 DÉCEMBRE). TECHNIQUE FOR HUMAN ERROR-RATE PREDICTION. WIKIPEDIA.  
448 [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/TECHNIQUE\\_FOR\\_HUMAN\\_ERROR-RATE\\_PREDICTION](https://en.wikipedia.org/wiki/Technique_for_human_error-rate_prediction)